

REHABILITACIÓN FRENTE AL RADÓN

guía

Fichas incluidas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE
AGENDA URBANA Y VIVIENDA

DIRECCIÓN GENERAL DE
AGENDA URBANA Y ARQUITECTURA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Este documento ha sido elaborado por el Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja (IETcc) bajo la supervisión de la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA).

El IETcc, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), es el centro de investigación en edificación de referencia en España. La Unidad de Calidad en la Construcción del IETcc asesora al MITMA en la elaboración del Código Técnico de la Edificación que, desde el año 2019, cuenta con la sección HS6 Protección frente a la exposición al radón.

Dirección y Coordinación:

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Isabel Marcos Anasagasti

Raquel Lara Campos

Eduardo González de Prado

Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja CSIC

Pilar Linares Alemparte

Autoras:

Pilar Linares Alemparte

Sonia García Ortega

Colaboradoras:

Virginia Sánchez Ramos

Karina Angélica García Pardo

Edita:

Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana©

Entidad colaboradora:

Consejo Superior de Investigaciones Científicas · CSIC

Ministerio de Ciencia e Innovación

 Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado: publicacionesoficiales.boe.es

 Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana: www.mitma.gob.es

 Página web del Código Técnico de la Edificación: www.codigotecnico.org

Maquetación y diseño gráfico:

Lapizmente. Estrategia · Diseño Gráfico

Fotografía portada:

Sonia García Ortega

Los contenidos o ideas recogidas en este documento pertenecen a sus autores. Este documento está basado en el conocimiento disponible en el momento de su publicación. No se aceptará por las instituciones ni los autores implicados responsabilidad de ningún tipo por el uso de estas recomendaciones. Las figuras tienen carácter ilustrativo y no deben interpretarse como detalles constructivos.



Se permite la reproducción total o parcial del contenido de este documento siempre y cuando se cite la fuente original y a sus autores.

Esta publicación está formada por una serie de documentos cuyo objetivo es constituir una herramienta de ayuda para el diseño de soluciones de protección frente al radón:

- Guía de rehabilitación frente al radón

Fichas de soluciones:

A: De aislamiento del edificio

-  Solución A1. Barrera frente al radón
-  Solución A1-1. Barrera frente al radón. Encuentros
-  Solución A2. Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas
-  Solución A3. Puertas estancas
-  Solución A4. Creación de sobrepresión

B: De reducción del radón antes de que penetre en los locales a proteger

-  Solución B1. Ventilación del espacio de contención: cámara de aire
-  Solución B2. Ventilación del espacio de contención: locales no habitables
-  Solución B3. Despresurización del terreno

C: De reducción del radón tras penetrar en los locales a proteger

-  Solución C1. Ventilación de los locales habitables

Fichas de ejemplos:

-  Ejemplo A1+B3. Barrera frente al radón + despresurización con red de tubos
-  Ejemplo A2+B1. Sellado + ventilación de la cámara sanitaria
-  Ejemplo A2+B3. Sellado + despresurización con red de tubos
-  Ejemplo A2+C1. Sellado + ventilación mecánica de los locales habitables

ISBN: 978-84-498-1045-9

NIPO: 796-20-136-5

1ª edición: septiembre 2020

Edición actual: septiembre 2020

Otras colaboraciones:

M^a Teresa Carrascal García · M^a Belén Casla Herguedas ·
Elena Frías López · Virginia Gallego Guinea ·
Daniel Jiménez González · Enrique Larrumbide
Gómez-Rubiera · Mariana Llinares Cervera ·
Juan Queipo de Llano Moya · Amelia Romero Fernández ·
Marta Sorribes Gil · Carlos Villagrà Fernández ·
Rafael Villar Burke

Solución B1 y Solución B3:

Autora adicional:

Virginia Sanchez Ramos

Ejemplo A1+B3:

Diagnóstico y diseño de la solución:

Ángel Sánchez Malo · Geomnía Natural Resources SLNE

Ejecución material de la obra:

Geomnía Natural Resources SLNE

Ejemplo A2+B1:

Diagnóstico y diseño de la solución:

Tania Zapata Viñuelas · CIEMAT

Jesús Díaz García · CIEMAT

Asesoría técnica:

Pilar Linares Alemparte

Ejecución material de la obra:

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y
Tecnológicas · CIEMAT

Ejemplo A2+B3:

Autores adicionales:

Carmen Alonso Ruiz de Rivas

Borja Frutos Vázquez

Diagnóstico y diseño de la solución:

Borja Frutos Vázquez

Eduardo Muñoz Lorenzo

Ángel Sánchez Malo · Geomnía Natural Resources SLNE

Ejecución material de la obra:

Geomnía Natural Resources SLNE

Ejemplo A2+C1:

Diagnóstico y diseño de la solución:

Sonia García Ortega

Pilar Linares Alemparte

Ejecución material de la obra:

Ayuntamiento de Torreldones

Agradecimientos:

Subcomisión Administrativa para la Calidad de la Edificación,
Grupo de trabajo de apoyo a la Guía:

Francisco Javier Jubera Pérez · Gobierno de Canarias

Enrique Antonio Alonso Moreno · Gobierno de Cantabria

Verónica Díaz Valle · Gobierno de Cantabria

María del Mar Domínguez Sierra · Junta de Castilla y León

Joan Teixidó Vidal · Generalitat de Catalunya

Eva María París Sánchez · Generalitat de Catalunya

José Ángel Rena Sánchez · Junta de Extremadura

María José Paniagua Mateos · Xunta de Galicia

Ricardo Valencia Hetschel · Xunta de Galicia

Salud García López · Comunidad de Madrid.

Índice

P	Prólogo	5
I	Introducción	6
O	Objetivo y contenido de la Guía.....	7
1	El radón en el interior de los edificios	8
1.1	¿Qué es el radón?.....	8
1.2	¿Cómo llega el radón a los edificios?	8
1.3	¿Cuáles son los principales factores influyentes en la entrada y acumulación de radón proveniente del terreno?	10
2	Diagnóstico de la existencia de radón	13
2.1	Introducción.....	13
2.2	Consideraciones previas a la medición.....	13
2.3	Medición de la concentración de radón	13
3	Soluciones de protección más habituales	16
3.1	Mecanismos de entrada del radón procedente del terreno en los edificios.....	16
3.2	Objetivo de las soluciones de protección	16
3.3	Clasificación de las soluciones según su forma de actuación	16
4	Guía de elección	19
B	Bibliografía	24

Prólogo

P

La publicación de esta Guía de Rehabilitación frente al radón tiene como objetivo contribuir a que los edificios que habitamos sean más saludables. Este objetivo ha adquirido una especial trascendencia en este año 2020, en el que hemos pasado más tiempo que nunca en el interior de nuestras viviendas, y en el que la salud ha pasado al primer puesto de nuestras preocupaciones. Hemos sido más conscientes de la importancia que tiene la arquitectura y el entorno construido en nuestro desarrollo social y bienestar. El objeto de esta Guía, la divulgación de soluciones en edificios existentes para la protección frente al gas radón, un peligro invisible pero cierto, es una constatación directa de la influencia que tiene la calidad de la edificación sobre la salud de las personas.

Es necesario recordar que ya en Ley de Ordenación de la Edificación se recogía, en el año 99, la constatación de que "la sociedad demandaba cada vez mayor calidad a los edificios" así mismo, se señalaba que "el proceso de la edificación, por su directa incidencia en la configuración de los espacios, implicaba siempre un compromiso de funcionalidad, economía, armonía y equilibrio medioambiental." Desde aquel año hasta hoy, la sociedad ha evolucionado, pidiendo cada vez mayores prestaciones a los edificios, de forma que la reglamentación técnica, concretamente el Código Técnico de la Edificación (CTE) ha tenido que adaptarse a estas demandas y, responder, al mismo tiempo, a los objetivos que desde la Comisión Europea se han ido marcando con incidencia directa en la edificación, como son la lucha contra el cambio climático que busca, en última instancia, la seguridad y la salud de todos los europeos. Así en diciembre de 2019 se incorporó en el CTE una nueva exigencia básica de calidad en los edificios relativa a la protección frente al gas radón, con la que además se transponía la normativa europea en la materia.

Además, desde la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura, queremos aportar al sector de la edificación herramientas que les permitan tanto conocer la normativa técnica de aplicación como ir más allá de las obligaciones impuestas en la norma y las situaciones tasadas por ésta. En relación con el problema del radón en el interior de las edificaciones no se nos puede escapar el hecho de que el mayor peligro de exposición se puede encontrar en la edificación existente, y hallarse fuera del ámbito de aplicación de las obligaciones impuestas por el CTE a las nuevas edificaciones y ciertas intervenciones. Por ello, este documento Guía que ahora se publica no es un desarrollo reglamentario de la nueva exigencia del CTE, sino que el objetivo que persigue es contribuir a ampliar el conocimiento de los técnicos a la hora de enfrentarse a este problema con incidencia sobre la salud de la población.

Deseo que este documento cumpla con el objetivo con el que se redactó y sirva para facilitar el trabajo de los distintos agentes de la edificación, un sector en constante evolución y que cada día se enfrenta a nuevos retos para mejorar la calidad de los edificios en que vivimos y contribuir con ello a la mejor calidad de vida de las personas que los habitamos.

Iñaki Carnicero Alonso-Colmenares
Director General de Agenda Urbana y Arquitectura
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Introducción

Son numerosos los organismos relacionados con la protección de la salud de las personas que consideran probada la relación entre la exposición prolongada al gas radón y el cáncer de pulmón. Bajo determinadas circunstancias pueden producirse concentraciones elevadas de radón en el interior de los edificios, siendo esta constatación lo que motiva la redacción de esta Guía. Este documento de carácter orientativo está enfocado especialmente hacia la rehabilitación de aquellos edificios en los que se ha detectado la existencia de concentraciones elevadas de gas radón, buscando facilitar la comprensión del comportamiento del mismo y su manera de penetrar en los edificios, para así ayudar en la realización de un correcto diagnóstico de cada caso y en la elección de las soluciones de remedio a implantar frente a este problema.

El radón es un gas que procede de la desintegración radiactiva del uranio presente de forma natural en determinados suelos y rocas. Este gas procedente del terreno puede emanar a través del mismo, en mayor o menor medida, en función de distintos factores, pudiendo llegar a penetrar en las edificaciones. Su entrada en el interior de las edificaciones dependerá, en gran parte, de las características constructivas de los elementos de separación entre la edificación y el terreno. En el supuesto de que este gas llegue a acumularse en los espacios interiores de los edificios puede suponer un riesgo para las personas que se encuentren en los mismos durante periodos prolongados de tiempo, por los efectos nocivos que presenta para la salud.

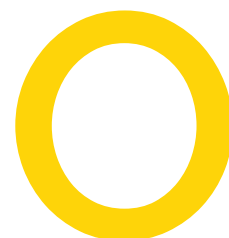
Dentro del marco normativo de la edificación, debemos indicar que el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre por el que se modifica el Código Técnico de Edificación (CTE) introduce una nueva exigencia sobre protección frente a la exposición al radón y, consecuentemente, incorpora en el documento básico de salubridad una nueva sección HS6: Protección frente a

la exposición al radón. En esta sección se establecen los requisitos que deberán cumplir los edificios para la protección de las personas frente a la exposición al radón, un nivel de referencia del promedio anual de concentración de radón de 300 Bq/m³⁰, y se recoge un listado de municipios en los que se considera que hay una probabilidad significativa de que los edificios allí construidos sin soluciones específicas presenten concentraciones de radón superiores al nivel de referencia. En la nueva exigencia del CTE, el ámbito de aplicación se refiere a edificios de nueva construcción y a determinados casos de rehabilitación. Tal y como ya se ha mencionado el gas radón es un problema de salud, por lo que habrá edificios en los que, aun encontrándose fuera del ámbito de aplicación del CTE, los propios usuarios estarán interesados en conocer, primero, cuál es su situación y, posteriormente, posibles soluciones de remedio, debiendo estar asesorados en todo el proceso por un técnico con conocimiento en la materia.

Por lo tanto, esta Guía de rehabilitación tiene como objetivo el de constituir una herramienta práctica de ayuda enfocada tanto al usuario de la vivienda como a los agentes que puedan participar en el proceso técnico de protección frente al radón de edificios existentes. La Guía se complementa con una serie de fichas independientes que profundizan en las intervenciones concretas que se pueden llevar a cabo o ilustran casos reales.

(i) Bq/m³ unidad de la concentración de radón en el aire. Se cuantifica en becquerel por metro cúbico, que corresponde con el número de desintegraciones por segundo por metro cúbico de aire

Objetivo y contenido de la Guía



Esta Guía, junto con las fichas que la acompañan, proporciona los conceptos fundamentales necesarios que apoyan el correcto diagnóstico de las vías de entrada del radón, ilustra el proceso de realización de las mediciones de radón, así como presenta las soluciones de protección y proporciona criterios para la elección de las soluciones más adecuadas a cada caso.

Sin embargo, debe hacerse hincapié en que ni la Guía ni las fichas sustituyen en ningún caso la experiencia y el conocimiento de los técnicos expertos en construcción y en protección frente al radón de los edificios.

Es necesario señalar que no se consideran objeto de esta Guía ni de las fichas otro tipo de radiaciones que puedan incidir en el ambiente interior de los edificios.

La **Guía** se articula en torno a cuatro capítulos.

El capítulo **primero** presenta qué es el gas radón, cuál es su origen, dónde se encuentra, qué riesgo conlleva para la salud, cómo llega hasta el interior de los edificios y qué factores influyen en su entrada y acumulación.

El capítulo **segundo** establece las pautas generales para determinar el promedio anual de concentración de radón en el aire en lo relativo a las condiciones de realización de la medición, qué tipos de detectores se pueden utilizar, qué duración debe tener la medición, dónde colocar los detectores, etc.

El capítulo **tercero** introduce las soluciones más habituales agrupadas según su forma de funcionamiento.

El capítulo **cuarto** se presenta como una ayuda para la elección de la solución más adecuada incluyendo una serie de criterios para la toma de decisión sobre las soluciones a elegir en cada caso y cuándo, en líneas generales, resultarían convenientes.

En la **Bibliografía** se incluyen las referencias que se han tenido en cuenta para la redacción de la Guía, así como referencias a otra documentación de utilidad.

Las **fichas** son de dos tipos: de soluciones y de ejemplos; y están concebidas de forma que se pueda ampliar su número según se progrese en el conocimiento de esta problemática y en la implementación de sus soluciones.

Las fichas de soluciones describen cada una de las soluciones de protección frente al radón presentadas en la Guía, detallando su adecuado diseño y ejecución para la obtención de un resultado efectivo. Se clasifican según la forma de actuación de las soluciones e ilustran con figuras aclaratorias los conceptos transmitidos.

Las fichas de ejemplos describen distintas intervenciones de protección frente al radón en casos reales en los que se ha logrado reducir los niveles de radón de partida a valores menos significativos.

La **Guía** y las **fichas** pretenden ser, por un lado, una herramienta fundamental para los proyectistas ante el reto de diseñar soluciones de protección frente al radón y, por otro, una fuente de información para los usuarios de edificios afectados, para que conozcan de forma aproximada el alcance de las soluciones posibles así como las distintas vías de entrada del radón en el edificio y la influencia que puede llegar a tener el comportamiento de los propios usuarios en la concentración de este gas.

Capítulo

El radón en el interior de los edificios

1

1.1 ¿Qué es el radón?

El radón es un gas noble, incoloro, inodoro e insípido que se genera en la cadena de desintegración radiactiva del radio que, a su vez, procede del uranio que de forma natural está presente en la corteza terrestre en cantidades variables, dependiendo de la composición de rocas y suelo. Por su parte, el radón en su proceso de desintegración también produce partículas radioactivas.

Al ser gaseoso (a diferencia de sus predecesores sólidos) puede moverse por la corteza terrestre e incluso diluirse en agua. Debido a esta capacidad de movimiento puede llegar a los edificios procedente del subsuelo y acumularse en sus espacios interiores. En el interior del edificio el radón puede ser inhalado por las personas y, de esta forma, las partículas radioactivas producto de su desintegración, ionizar la materia celular de los epitelios pulmonares y causar cáncer.

Son numerosos los organismos relacionados con la protección o el estudio de la salud de las personas que consideran probada la influencia del radón en el cáncer de pulmón. Existe acuerdo científico sobre el riesgo para la salud de las personas que supone la exposición durante grandes periodos de tiempo a altas concentraciones de actividad de radón. El radón se identifica como la primera causa de cáncer de pulmón entre los no fumadores.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que no existe un nivel seguro de concentración de radón (excepto la ausencia de radón) por debajo del cual no corramos ningún tipo de riesgo.

Las situaciones más problemáticas se presentan en espacios cerrados, debido a la acumulación en los edificios de radón procedente fundamentalmente del

terreno. En los espacios abiertos se considera que el riesgo es despreciable al diluirse el radón rápidamente en el ambiente. Los edificios considerados con mayor riesgo son las viviendas y los lugares de trabajo, por ser en ellos el tiempo de exposición más alto.

1.2 ¿Cómo llega el radón a los edificios?

Cuando el radón llega al ambiente exterior se diluye rápidamente en el aire, pero cuando lo hace a un espacio cerrado y poco ventilado, como puede ser el interior de un edificio, tiende a acumularse convirtiéndose entonces en un problema. El radón presente en el interior de los edificios puede proceder directamente del terreno, de los materiales de construcción realizados con materias primas que contengan alguno de sus precursores, o del agua de consumo en el que previamente se haya diluido.

Radón procedente del terreno

El radón puede penetrar al interior de los edificios por convección a través de las grietas o zonas de la envolvente del edificio en contacto con el terreno (muros de sótano, soleras, etc.) que presentan una discontinuidad, y por difusión a través de la masa de los materiales porosos que forman la envolvente (Figura 1). Los principales puntos que pueden presentar una discontinuidad son las juntas o los encuentros no sellados (juntas perimetrales, encuentros con elementos pasantes como conductos de evacuación de aguas, etc.)

Habitualmente el terreno es la principal fuente de radón, por lo que las mayores concentraciones de radón en un edificio se localizan en las plantas inferiores en contacto con el terreno, como son los sótanos y las plantas bajas, ya que, además, la densidad del radón es

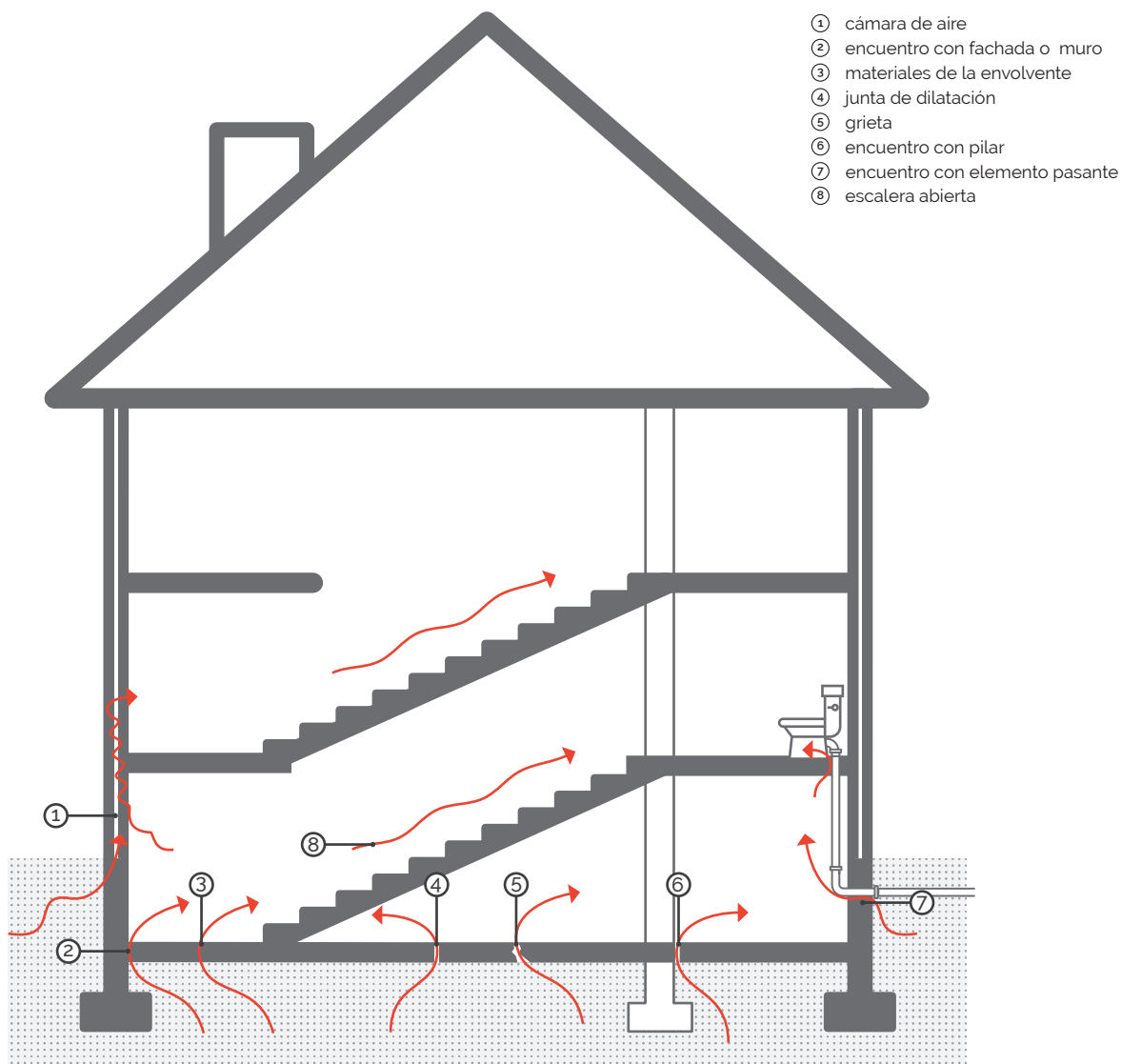


Figura 1 - Vías más usuales de entrada de radón procedente del terreno y de comunicación con otras plantas

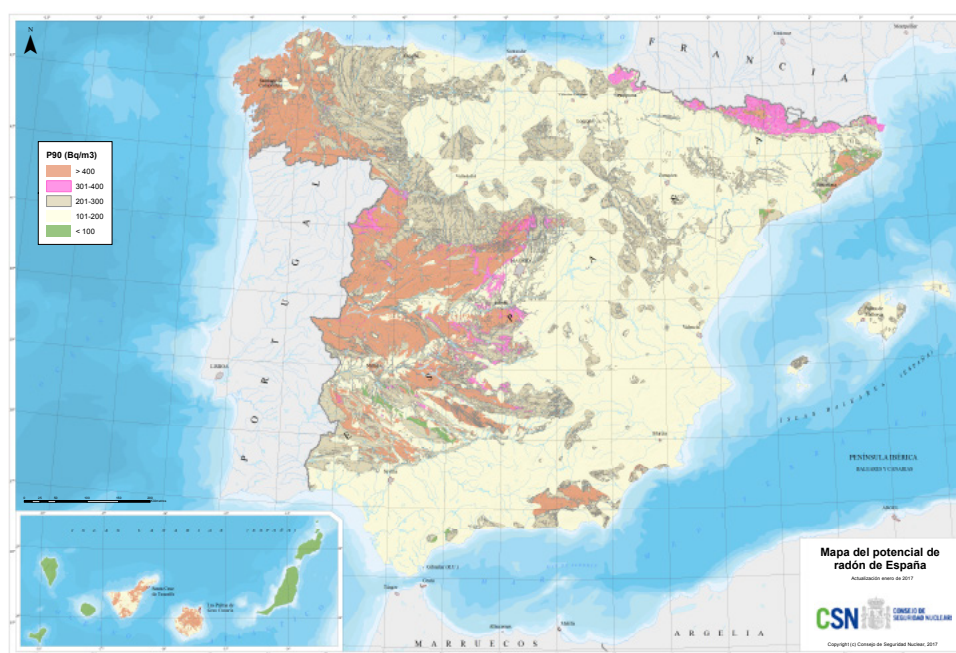


Figura 2 - Mapa del potencial de radón de España (CSN)

superior a la del aire. En algunos casos, se pueden dar valores altos de concentración de radón en zonas más elevadas del edificio cuando existe una comunicación entre las plantas bajas y estas zonas más elevadas de forma que el aire puede ascender fácilmente por procesos convectivos y de tiro térmico. Esto puede darse, por ejemplo, cuando los cerramientos de la fachada estén compuestos por una cámara de aire o cuando las distintas plantas estén comunicadas por escaleras abiertas (Figura 1).

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha plasmado en el Mapa del potencial de radón en España (Figura 2) las zonas que presentan un porcentaje significativo de edificios, mayor del 10%, en los que la concentración de radón puede superar determinados valores. Para elaborar este mapa, el CSN ha empleado, entre otros datos, medidas de radón tomadas en la planta baja de los edificios o, cuando ésta no está habitada, en la primera planta. Por tanto, no representa directamente la exposición de la población. En general, el riesgo asociado a las plantas subterráneas es mayor que el que refleja el mapa, mientras que es inferior en las plantas altas. La información que proporciona debe considerarse orientativa.

El HS6 del CTE fija un nivel de referencia del promedio anual de concentración de radón de 300 Bq/m³ a nivel nacional en el ya mencionado Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre en el CTE, en concordancia con la Directiva 2013/59/EURATOM, y que será establecido también por el Real Decreto sobre protección frente a radiaciones ionizantes que prepara el Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico.

Así mismo, el CTE recoge un listado de municipios clasificados en función del potencial de radón en los que se considera que hay una probabilidad significativa de que los edificios allí construidos, sin soluciones específicas de protección, presenten concentraciones superiores al nivel de referencia. Sin embargo, para conocer la concentración de radón real en un edificio es necesario realizar mediciones de radón, tal y como se describen en el capítulo 2.

Radón procedente de los materiales de construcción

En general, se estima que los materiales de construcción contribuyen a la concentración media de radón en el interior de las viviendas con un valor de entre 10 y 20 Bq/m³ que, si no existieran aportaciones de radón provenientes del terreno, estaría muy alejada del nivel de referencia de 300 Bq/m³. Por este motivo, el radón procedente de los materiales de construcción no se considera en esta Guía.

Radón proveniente del agua

La presencia de radón en el agua se debe a que las rocas que contienen uranio natural liberan radón al agua subterránea con la que entran en contacto. Como el radón se disipa rápidamente en contacto con el aire, si se utilizan aguas superficiales para el consumo no hay riesgo de que contengan radón ni de que lo liberen en el interior de las edificaciones. Sin embargo, si se utilizan para el consumo aguas subterráneas (de manantiales o pozos) sin que se aireen y el terreno tiene una elevada concentración de radón, sí existe riesgo de que se libere el radón contenido en el agua al ambiente interior hasta alcanzar concentraciones significativas.

En los sistemas públicos de abastecimiento de agua procedente de aguas superficiales la concentración media de radón suele ser menor que 0,4 Bq/l y si el agua procede de fuentes subterráneas el valor ronda los 20 Bq/l. El valor máximo recomendado por la OMS y la Comisión Europea por debajo del cual no es necesario realizar controles en abastecimientos públicos es de 100 Bq/l. Por este motivo, el radón procedente del agua de consumo no se considera en esta Guía.

1.3 ¿Cuáles son los principales factores influyentes en la entrada y acumulación de radón proveniente del terreno?

La cantidad de radón que se acumula en el interior de los edificios depende de numerosos factores, entre los que se pueden destacar los relacionados con el terreno, las características constructivas del edificio, la climatología y el comportamiento de los usuarios.

El terreno

El terreno es un factor fundamental, al ser la fuente de radón. La exhalación de radón del terreno depende:

- por un lado, de su **composición geológica**. Hay tipos de terreno que producen una gran cantidad de radón, por ejemplo, los terrenos con alto contenido en uranio como son los procedentes de rocas ígneas (granito) y metamórficas (pizarras y esquistos); y,
- por otro, al ser el radón gaseoso, de la **capacidad de movimiento del radón en el terreno**. Cuando se genera el radón en el terreno no permanece en el punto en el que se forma, sino que puede moverse. Este movimiento se ve influido por factores como:

- la permeabilidad al aire del terreno: a mayor permeabilidad, mayor facilidad de movimiento (Figura 3). Así, por ejemplo, en macizos rocosos sin fracturar, aunque la concentración de radón sea alta, será difícil que escape de la roca, mientras que en terrenos fracturados el radón se moverá más rápidamente alcanzando el exterior o la envolvente de los edificios con mayor facilidad;

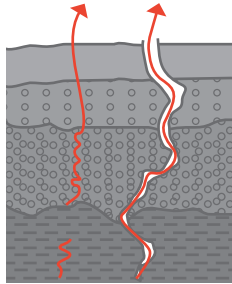


Figura 3 – Permeabilidad al aire según el terreno

- el grado de saturación de agua del terreno: a mayor saturación, menor facilidad de movimiento pues el agua contenida en el terreno presenta un coeficiente de difusión inferior al del aire y retiene los gases (Figura 4). Si todo el terreno debajo de un edificio tiene un grado de saturación de agua similar, el efecto es favorable para la protección frente al radón. Sin embargo, si el grado de saturación es heterogéneo, por ejemplo, cuando la capa superficial del terreno circundante de un edificio está saturada de agua por la lluvia, pero debajo de la edificación el terreno permanece seco, el efecto es desfavorable al dificultarse la salida de radón al exterior por lo que tiende a aumentar su entrada al edificio.

Las características constructivas del edificio

Las características constructivas del edificio son otro factor importante, puesto que pueden ser determinantes en el nivel de concentración de radón, incluso para tipos de terrenos desfavorables. Entre las características del edificio que afectan al contenido de radón de su interior proveniente del terreno destacan:

- **la proporción de la envolvente del edificio en contacto con el terreno:** cuanto mayor sea la superficie en contacto con el terreno mayor será la posibilidad de que el radón penetre en el interior (Figura 5). Por ejemplo, un edificio con la planta baja abierta situado sobre pilotes no tiene casi contacto con el terreno, sólo en los puntos de acceso, por lo que el riesgo sería muy bajo, y uno que cuente con sótano estaría en el caso opuesto con una mayor superficie de contacto con el terreno.
- **la permeabilidad a los gases de la envolvente:** cuanto más permeable sea el cerramiento, por ejemplo, por encontrarse deteriorado con fisuras o grietas o porque esté constituido por un forjado de madera, más sencillo será para el gas radón atravesarlo y penetrar en el edificio;
- **el tipo de solución constructiva** de las distintas componentes de la envolvente: cuantos más obstáculos haya en el camino de entrada del gas, más difícil será que penetre en el edificio (Figura 6). Por ejemplo, si el edificio cuenta con una cámara sanitaria, supondrá un obstáculo al paso del gas;
- **las instalaciones u otros elementos que pasen a través de la envolvente** y rompan su homogeneidad permitiendo así el paso del gas en estos puntos, por ejemplo, la presencia de una bajante que atraviese la solera;
- **la comunicación entre los sótanos y las plantas habitables** pueden posibilitar el desplazamiento del gas de las zonas bajas por donde penetra y su acumulación en las zonas altas habitables. En estos casos, por ejemplo, la existencia de puertas estancas dificultará el paso del gas;
- **el sistema de ventilación**, que puede tener un efecto beneficioso o perjudicial. En la mayoría de casos

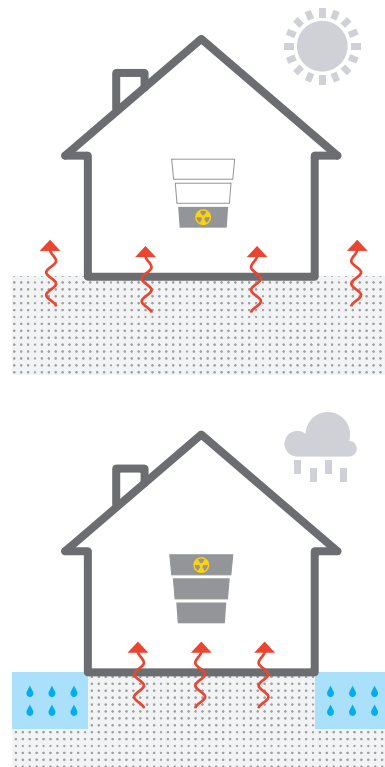


Figura 4 - Influencia del grado de saturación de agua del terreno

puede contribuir a la dilución del radón permitiendo que baje su concentración, pero en otros puede producir una depresión en el interior del edificio que arrastre el radón del terreno hacia el interior.

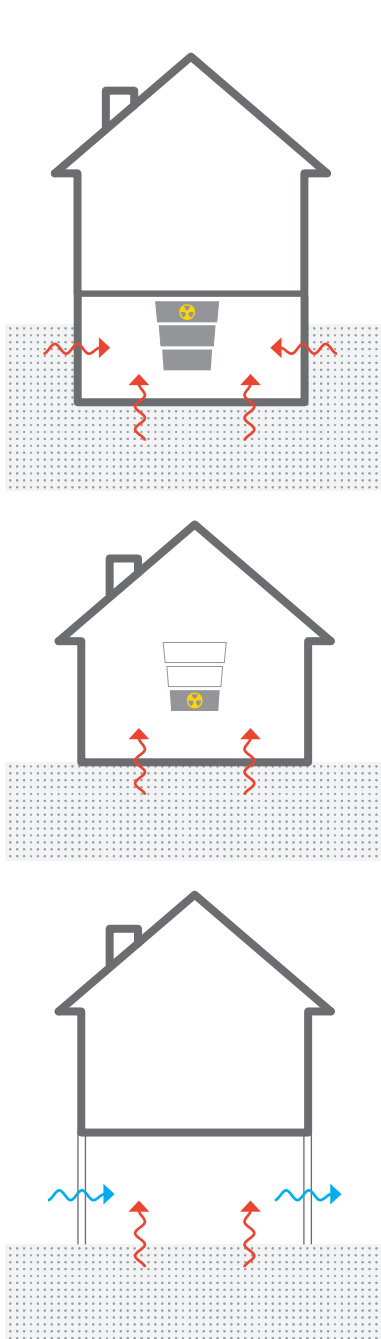


Figura 5 - Influencia de la proporción de envoltura en contacto con el terreno

La climatología

Resulta complejo prever la influencia de la climatología y formular reglas generales, pero se puede afirmar que las bajas presiones atmosféricas (a grandes rasgos más habituales del invierno) favorecen la salida del gas radón del terreno, y las altas lo dificultan. Además, como se ha indicado anteriormente, las precipitaciones

modifican la saturación de agua del terreno circundante al edificio, pudiendo facilitarse así la entrada de radón en los edificios.

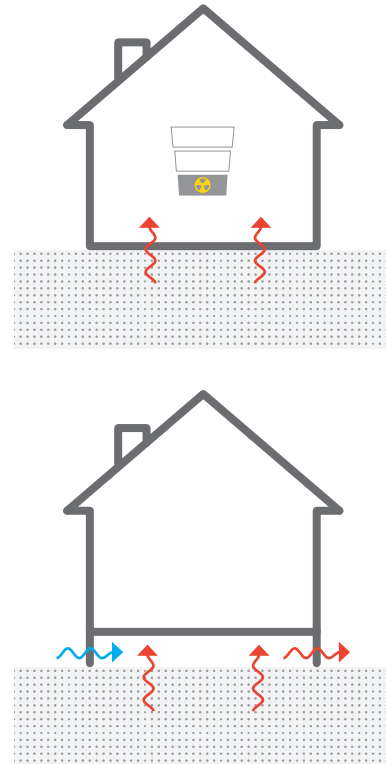


Figura 6 - Influencia del tipo de solución constructiva de la envoltura

El comportamiento de los usuarios

Los usuarios pueden influir en la entrada y acumulación de radón en los locales habitables, por ejemplo con sus hábitos de ventilación. Por regla general, la ventilación de los locales habitables disminuirá su concentración de radón por dilución.

Capítulo

Diagnóstico de la existencia de radón

2

2.1 Introducción

El primer paso para la elección de la solución de protección más adecuada para un edificio concreto es la realización de mediciones de la concentración de radón, para obtener un diagnóstico de la existencia de concentraciones elevadas de radón.

Si el promedio anual de la concentración de radón es superior a 300 Bq/m^3 , será conveniente emplear soluciones de protección, incluso cuando el municipio en el que se localice nuestro edificio no se encuentre en el listado de la sección HS6 Protección frente a la exposición al radón del CTE.

Si, en caso contrario, el promedio anual de la concentración de radón es inferior a 300 Bq/m^3 , no se considerará imprescindible introducir soluciones de protección, incluso cuando el municipio en el que se localice nuestro edificio se encuentre en el listado citado anteriormente.

En cualquier caso, se podrán implementar soluciones para reducir la concentración de radón aunque los valores sean inferiores a 300 Bq/m^3 .

Es conveniente realizar una medición después de haber implementado las soluciones de protección para comprobar la efectividad de las mismas.

En este capítulo se establecen las pautas generales para determinar el promedio anual de concentración de radón. Asimismo, la Sección HS6 del CTE, en su Apéndice C "Determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire de los locales habitables de un edificio" recoge una serie de especificaciones básicas a tener en cuenta.

2.2 Consideraciones previas a la medición

Previamente a realizar las mediciones deberá procederse a una toma de datos de todos aquellos elementos y circunstancias que puedan ofrecer un adecuado conocimiento del edificio y su interacción con el radón procedente del terreno, al menos de:

- la distribución del edificio y sus plantas (es muy importante conocer la existencia de sótano);
- los cerramientos que constituyen la envolvente en contacto con el terreno (solera, forjado sanitario, muro de sótano) y su estado de conservación (si presentan grietas, fisuras, estado de las juntas, etc.);
- el paso de instalaciones y su encuentro con la envolvente (su sellado);
- la existencia de sistemas de ventilación y su régimen de funcionamiento;
- si el edificio está en uso o deshabitado.

2.3 Medición de la concentración de radón

Las condiciones de medición antes y después de la intervención de protección deberán ser las mismas o lo más similares posible, para que sean comparables. Estas condiciones, así como los tipos de detectores que se pueden utilizar, se describen a continuación.

¿Qué tipos de detectores se pueden utilizar?

En el mercado existen distintos tipos de detectores que pueden ser empleados (Figura 7). La elección del tipo de detector dependerá del objetivo de la medición.

Para obtener el promedio anual de concentración de radón los más adecuados son los que emplean un método de medición:

- integrada (de trazas, carbón activo y electretes) que proporcionan el promedio; o
- en continuo (aparatos electrónicos) que además del promedio proporcionan la evolución de la concentración de radón a lo largo del tiempo, permitiendo de esta forma observar las alteraciones en la concentración de radón producidas por los cambios climatológicos y otras variables.

Los detectores más comúnmente utilizados para determinar el promedio anual son los que siguen el método de medición integrada, debido a su bajo coste. Habitualmente el laboratorio envía el detector por correo a los usuarios y estos lo devuelven por correo al laboratorio que obtendrá el resultado de la medida.

El uso de los detectores que siguen el método de medición en continuo no está tan extendido por motivos económicos, aunque tiene la ventaja frente a los que siguen el método integrado que, al ofrecer una visión de la evolución de la concentración de radón, se puede utilizar para observar la influencia de distintos parámetros en la efectividad de la solución, optimizar una solución, etc.

Si se quiere realizar un rápido diagnóstico que permita identificar los puntos de entrada de radón, se pueden emplear detectores con método de medición puntual (aparatos electrónicos). Estos puntos de entrada suelen ser grietas, huecos o discontinuidades en los cerramientos en contacto con el terreno que se hayan identificado en la inspección visual del edificio. Sin embargo, este tipo de medición no se puede utilizar para la determinación del promedio anual.

Además, los detectores se pueden clasificar en activos o pasivos dependiendo, respectivamente, de si requieren o no una fuente de alimentación para registro o visualización de datos, bombas, etc. Los detectores con método de medición en continuo suelen ser activos.

Los resultados obtenidos con los detectores tienen una incertidumbre que oscila entre el 10% y el 30%.



Figura 7 - Detectores más habituales: a) detector de trazas; b) electrete; c) dispositivos electrónicos; d) detector de carbón activo

¿Cuánto tiempo medir?

Las concentraciones de radón pueden variar incluso un orden de magnitud en poco tiempo, por lo que las mediciones cortas (solo unos días) no son representativas para determinar la exposición de las personas. El valor que debería considerarse es la media anual.

Sin embargo, como medir durante un año no suele ser viable, se considera suficiente medir al menos durante dos meses de forma continuada. Pueden hacerse mediciones con una duración inferior, de días o semanas, pero sólo como medición orientativa y sin perder de vista su baja representatividad.

¿En qué condiciones medir?

Lo más adecuado es continuar con las actividades habituales de uso y de ventilación del edificio durante la medición para que el resultado sea representativo.

Si el edificio se encuentra desocupado, deberá medirse con las ventanas y puertas de acceso cerradas, y las puertas de paso interiores abiertas, para permitir el movimiento de radón interiormente con un flujo similar al de la ocupación normal. En el caso de un edificio de viviendas, las puertas de acceso a cada vivienda permanecerán cerradas durante la medida.

¿Dónde colocar los detectores y cuántos?

El peligro de la exposición al radón depende del tiempo de permanencia en un local y de la concentración de radón. Por ello, en viviendas se recomienda emplear, al menos, dos detectores y situarlos en las habitaciones en las que se suele permanecer más tiempo como los dormitorios y la sala de estar, primando las habitaciones situadas en las plantas más bajas.

Por ejemplo:

- si hay varias viviendas en un edificio, se deberían colocar en las viviendas de las plantas inferiores;
- dentro de una misma vivienda, si hay salas de estar o dormitorios en distintas plantas, se recomienda colocarlos en las habitaciones que se encuentren en las plantas inferiores.

¿Cómo colocar los detectores?

Los detectores deben situarse alejados de corrientes de aire y de fuentes de calor y al menos a 30 cm de las paredes. Una posible ubicación de los detectores podría ser sobre el mobiliario existente, como una mesa o una estantería.

¿Cómo interpretar los resultados obtenidos?

El resultado de la medición debe ser la media de la concentración a lo largo del tiempo total de exposición, pese a que puntualmente se registren valores bajos o muy elevados.

La variación de las condiciones meteorológicas y de los hábitos de ventilación influye en la concentración medida. Generalmente, los resultados en verano (entendido como época de no calefacción) son menores que la correspondiente media anual, y en invierno mayores. Por ello, si se mide en verano en las zonas de inviernos fríos, debe multiplicarse el valor medio obtenido por 1,4⁽ⁱⁱ⁾ para obtener así un dato más representativo. Si se ha medido en cualquier otra época del año, puede considerarse que el valor medio obtenido es lo suficientemente representativo.

En el caso de un edificio desocupado en el que alguna ventana o puerta al exterior haya podido permanecer abierta, se tendrá que multiplicar el valor medio obtenido por 1,4, para tener en cuenta la reducción de radón producida por la ventilación circunstancial.

(ii) El factor de corrección de 1,4 se establece en el Apéndice C Determinación del promedio anual de concentración de radón en el aire de los locales habitables de un edificio, del DB HS6 del CTE.

Capítulo

Soluciones de protección más habituales

3

Para poder elegir la solución de protección más adecuada, se debe conocer tanto el mecanismo de entrada del radón procedente del terreno en los edificios como el objetivo de las soluciones de protección y el funcionamiento de las mismas. En este capítulo se desarrollan estos conceptos y se presentan las soluciones de protección más habituales.

Junto a las soluciones, se referencian las fichas que describen de forma detallada cada una de las soluciones de protección presentadas.

3.1 Mecanismos de entrada del radón procedente del terreno en los edificios

Los mecanismos por los que el radón penetra de forma natural en el edificio son fundamentalmente:

- convección, debido al gradiente de presión entre los gases del terreno y el aire del interior del edificio, que se produce de forma puntual en grietas, juntas o pasos de instalaciones;
- difusión, debido al gradiente de concentración de radón entre los gases del terreno y el aire del interior del edificio, que se produce a través de la masa de la propia envolvente del edificio en contacto con el terreno.

3.2 Objetivo de las soluciones de protección

Las soluciones de protección frente al radón procedente del terreno tienen como objetivo disminuir la exposición al radón de las personas en el interior de los edificios, reduciendo la concentración de radón al menos en aquellos espacios en los que las personas pasen más

tiempo: los locales habitables (dormitorios, salones, cocinas, baños, etc.). Este objetivo se puede conseguir protegiendo los locales habitables de forma directa o de forma indirecta protegiendo los locales no habitables (garajes, trasteros, etc.) que se encuentren en la ruta de entrada del radón hacia los locales habitables.

Particularidad de los edificios existentes

En los edificios existentes las soluciones de protección son similares a las utilizadas en el caso de los edificios de nueva planta, pero con las limitaciones que suele suponer la presencia de elementos constructivos preexistentes, el alcance de la actuación, los recursos económicos disponibles, etc. Las soluciones que se presentan en esta Guía tienen en cuenta dichos condicionantes. Además, puesto que el objetivo de una intervención de protección en un edificio existente es mejorar la situación inicial en la medida de lo posible, se presentan otras soluciones alternativas o complementarias a las propias de un edificio de nueva planta y que se suelen utilizar como refuerzo o cuando las soluciones para edificios nuevos no se pueden implementar o no ofrecen la efectividad deseada.

3.3 Clasificación de las soluciones según su forma de actuación

Las soluciones de protección se pueden agrupar según su forma de actuación en tres grandes grupos:

- soluciones de **aislamiento** del edificio o los locales a proteger frente al radón procedente del terreno;
- soluciones de **reducción de la concentración de radón antes de que penetre** en el edificio, o en todo caso, antes de que penetre en los locales a proteger;

- soluciones de **reducción de la concentración de radón que ya ha penetrado** en los locales que se quieren proteger.

Soluciones de aislamiento del edificio

Para aumentar el aislamiento de la envolvente (o cerramiento) en contacto con el terreno y evitar que el radón fluya al interior de los edificios existen cuatro soluciones básicas cuya implementación dependerá de las posibilidades concretas de actuación en el edificio existente (Figuras 8 y 9):

- Disposición de una barrera de protección frente al radón (**Solución A1 + Solución A1-1**).
- Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (**Solución A2**).
- Empleo de puertas estancas (**Solución A3**).
- Creación de sobrepresión en los locales a proteger (**Solución A4**).

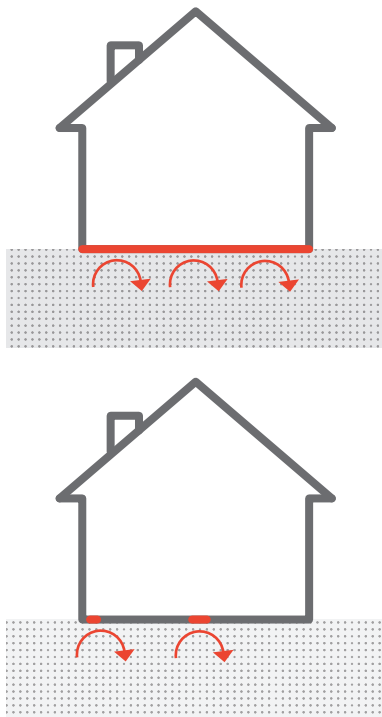


Figura 8 – Barrera de protección frente al radón (arriba) y sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (abajo)

Las tres primeras soluciones se basan en la estanquidad del cerramiento y la última en la creación de un gradiente de presiones contrario al de entrada del radón.

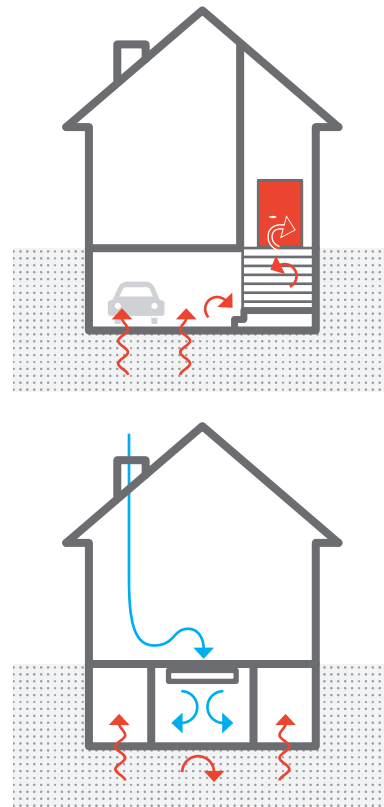


Figura 9 – Puerta estanca (arriba) y sobrepresión (abajo)

Soluciones de reducción del radón antes de que penetre en los locales a proteger

El funcionamiento de estas soluciones consiste en reducir la concentración de radón al que los locales a proteger se encuentran expuestos disminuyendo así el gradiente de concentración de radón entre el exterior y el interior de los locales.

Existen dos soluciones básicas cuya implementación dependerá de las posibilidades concretas de actuación en el edificio existente (Figura 10):

- Instalación de un sistema de ventilación del espacio de contención (**Solución B1 y Solución B2**).
- Instalación de un sistema de despresurización del terreno (**Solución B3**).

El espacio de contención es una cámara de aire (como pueda ser la cámara sanitaria) o un local no habitable (como un garaje) que se encuentra entre el terreno y los locales a proteger del edificio, de forma que, si el radón se elimina de su interior, no llega a penetrar en los locales superiores.

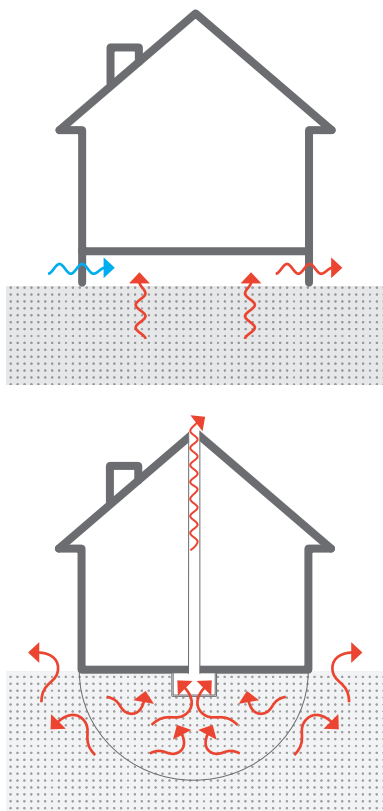


Figura 10 – Ventilación del espacio de contención (arriba) y despresurización del terreno (abajo)

El sistema de despresurización es un sistema específico que extrae los gases del terreno y los expulsa al exterior, de forma que se dificulta el paso del radón al interior del edificio.

Soluciones de reducción del radón tras penetrar en los locales a proteger

El funcionamiento de esta solución consiste en reducir la concentración de radón en los locales a proteger para así reducir la exposición de las personas (Figura 11). Se emplea una única solución básica:

- Mejora de la ventilación de los locales habitables (Solución C1).

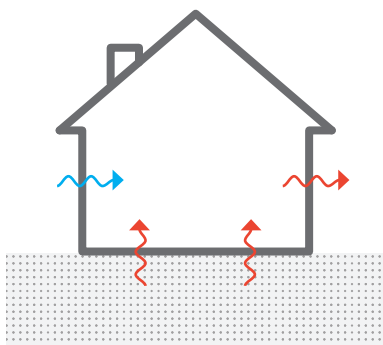


Figura 11 – Ventilación de los locales habitables

Capítulo

4

Guía de elección

Este capítulo, de carácter orientativo, consiste en:

- la enumeración de las soluciones de protección más adecuadas según sea el valor de la concentración de radón medida en los locales habitables, distinguiendo entre concentración media (entre 300 y 600 Bq/m³) o alta (mayor de 600 Bq/m³);
- un conjunto de observaciones generales con criterios de aplicación de las distintas soluciones;
- un cuadro de efectividad de las distintas soluciones según la concentración de radón; y
- las soluciones de protección más adecuadas según sea el cerramiento que separa el local habitable del terreno y el valor de la concentración de radón.

Las soluciones de protección más adecuadas en líneas generales para edificios existentes con concentraciones de radón inferiores a 600 Bq/m³ son las siguientes:

- disposición de una barrera de protección entre los locales habitables del edificio y el terreno que limite el paso de los gases provenientes del terreno (**Solución A1 + Solución A1-1**). La barrera de protección consiste en un elemento continuo que cubre todos los cerramientos en contacto con el terreno;
- si no es posible la colocación de una barrera, los cerramientos situados entre el terreno y los locales habitables tendrán que desempeñar las funciones de barrera. Para ello, se sellarán las fisuras, grietas y juntas de estos cerramientos, así como los encuentros con los elementos que los interrumpen, como pasos de conducciones o similares (**Solución A2**);
- instalación de puertas estancas entre espacios de contención y locales habitables (**Solución A3**);
- en casos muy concretos, creación de una sobrepresión en el interior del local habitable (**Solución A4**),

Tabla 1. Soluciones orientativas de protección frente al radón más adecuadas en función de la concentración de radón

Promedio anual de concentración de radón (Bq/m ³)	Soluciones de protección
≤600	■ Disposición de barrera de protección (Solución A1+ Solución A1-1) ■ Sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (Solución A2) ■ Empleo de puertas estancas (Solución A3) ■ Creación de sobrepresión en los locales a proteger (Solución A4) ■ Mejora de la ventilación del espacio de contención (Solución B1 y Solución B2) ■ Mejora de la ventilación de los locales habitables (Solución C1)
>600	■ Creación de espacio de contención (Solución B1 y Solución B2) ■ Instalación de sistema de despresurización del terreno (Solución B3)

que se conseguirá con la instalación de un sistema de ventilación específico;

- mejora de la ventilación de la cámara sanitaria, si existe, o de un local no habitable que pueda actuar como espacio de contención (**Solución B1** y **Solución B2**);
- mejora de la ventilación de los locales habitables si no es acorde a la necesaria para la calidad del aire interior general (**Solución C1**).

Las soluciones de protección más adecuadas para edificios existentes para concentraciones de radón superiores a 600 Bq/m³ son una combinación de alguna de las soluciones anteriores con las siguientes:

- creación de un espacio de contención si no se disponía de uno (**Solución B1** y **Solución B2**);
- instalación de un sistema de despresurización del terreno situado bajo el edificio (**Solución B3**).

En la tabla 1 se recogen las **soluciones de protección frente al radón más adecuadas según el valor de la concentración de radón medida en el local habitable**.

En la práctica, en el caso de edificios existentes, para la elección de las soluciones más adecuadas se tendrán en cuenta, además de la concentración de radón, otros factores determinantes como la existencia de sótano, las soluciones constructivas empleadas en el cerramiento en contacto con el terreno y su estado, etc. La casuística es tan amplia que no se pueden reducir a una simple regla las indicaciones, pero se pueden hacer una serie de **observaciones generales**:

- si el edificio cuenta con un forjado sanitario, la cámara sanitaria puede actuar de espacio de contención, mejorándose sus condiciones de ventilación y de estanquidad al aire con respecto a los locales a proteger;
- si el edificio cuenta con un garaje o un sótano, éste puede utilizarse como espacio de contención de forma similar a lo indicado anteriormente;
- si el edificio no cuenta con espacio de contención y no es viable disponer uno, para concentraciones de radón superiores a 600 Bq/m³, puede ser necesario instalar un sistema de despresurización del terreno;
- si se quiere mejorar la ventilación del local a proteger, deben tenerse en cuenta las pérdidas energéticas que esto podría conllevar, por lo que no es recomendable superar los niveles de ventilación indicados en la reglamentación correspondiente (CTE o RITE).

La efectividad de las distintas soluciones de protección no es la misma, por lo que dependiendo de la concentración medida y las características del edificio en cuestión será más eficiente utilizar una solución u otra e incluso habrá que utilizar soluciones de forma acumulativa.

En la figura 12 se orienta sobre la **efectividad de las distintas soluciones** distinguiendo entre concentraciones de radón superiores (en rojo) e inferiores (en amarillo) a 600 Bq/m³, medidas en los locales habitables.

Además, en las tablas 2, 3 y 4 se indican de forma orientativa las **soluciones más apropiadas a utilizar según sea el tipo de cerramiento que separa el local habitable del terreno y la concentración de radón medida en el local habitable a proteger**.

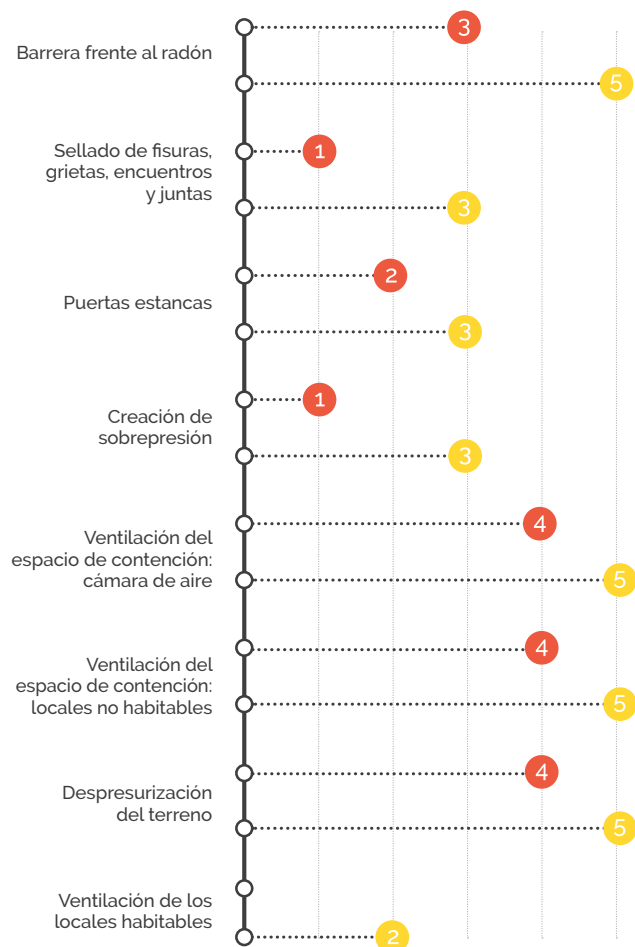
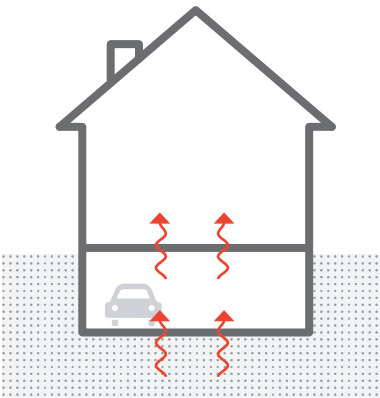
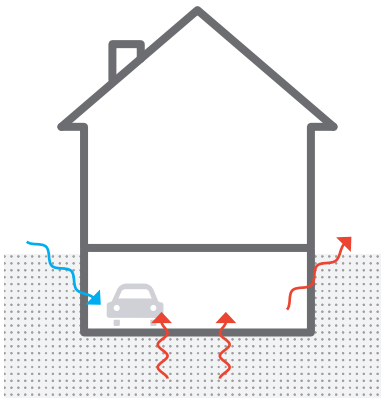
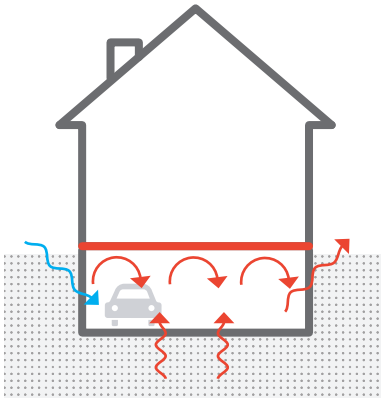
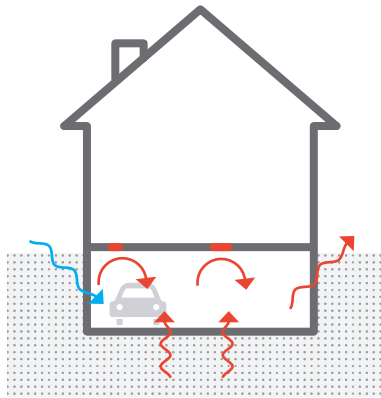
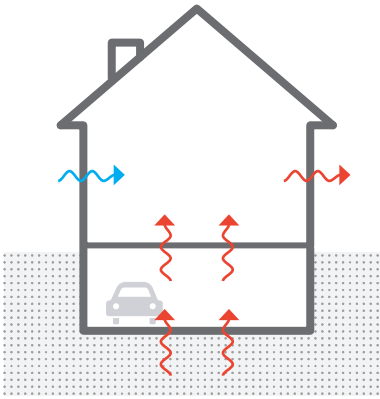


Figura 12- Efectividad orientativa de las distintas soluciones para concentraciones de radón superiores (en rojo) e inferiores (en amarillo) a 600 Bq/m³ en escala de 1 a 5 (menor a mayor)

Tabla 2. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de solera en función de la concentración de radón existente

Solera	Promedio anual de concentración de radón	$\leq 600 \text{ Bq/m}^3$	Barrera	Sellado (1)
	$> 600 \text{ Bq/m}^3$	Barrera + Despresurización	Sellado (1) + Despresurización	
		Barrera + Cámara de aire ventilada (2)		
	Mejora ventilación del local habitable (3)			

Tabla 4. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sobre sótano en función de la concentración de radón existente

Forjado sobre sótano	Promedio anual de concentración de radón	Mejora ventilación del sótano	
		$\leq 600 \text{ Bq/m}^3$	
	$\leq 600 \text{ Bq/m}^3$		
	$> 600 \text{ Bq/m}^3$	Mejora ventilación del sótano + Barrera 	Mejora ventilación del sótano + Sellado (1) 
		Mejora ventilación del local habitable (3) 	
		Puertas estancas (4) 	

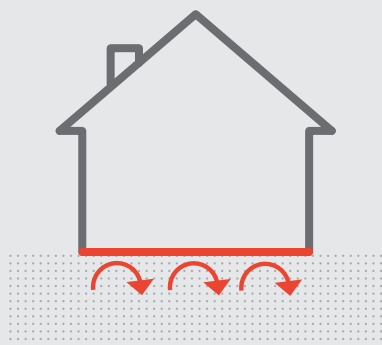
Bibliografía

B

1. Directiva 96/29/Euratom del Consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.
2. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.
3. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, BOE 311, de 27 de diciembre de 2019.
4. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, Reglamento de protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes, BOE 178, de 26 de julio de 2001.
5. Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, BOE 313, de 31 de diciembre de 1999.
6. WHO Handbook on indoor radon, a public health perspective (2009).
7. CSN Instrucción IS-33 sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural. BOE 22, de 26 de enero de 2012.
8. CSN Guía de Seguridad 11.01 Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en el aire (2011).
9. CSN Guía de Seguridad 11.02 Control de la exposición a fuentes naturales de radiación (2011).
10. CSN Guía de Seguridad 11.04 Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo (2011).
11. CSN Concentraciones de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. Colección Informes Técnicos 13 (2004).
12. CSN Proyecto MARNA. Mapa de radiación gamma natural. Colección Informes Técnicos 5 (2000).
13. ČSN 73 0601 Ochrana staveb proti radonu z podloží. República Checa.
14. Marta García-Talavera, et al. Mapping radon-prone areas using radiation dose rate and geological information. Journal of radiological protection, 33 (3) (2013): 605-20..
15. Luis Quindós Poncela. Natural gamma radiation map (MARNA) and indoor radon levels in Spain. Environment International, 29 (2004): 1091-1096.
16. Chris Scivyer and Michael Jaggs. A BRE Guide to radon remedial measures in existing dwellings. BRE Press (1998) Reino Unido.
17. Chris Scivyer. Radon guidance on protective measures for new buildings. BRE Press (2007) Reino Unido.
18. Chris Scivyer. Radon solutions in homes. Improving underfloor ventilation. GRG 37 Part 1. BRE Press (2012) Reino Unido.
19. Chris Scivyer. Radon solutions in homes. Positive house ventilation. GRG 37 Part 2. BRE Press (2013) Reino Unido.
20. Bernard Collignan. Guide technique: Le radon dans les batiments. CSTB (2008) Francia.
21. Radon: Guida tecnica. UFSP (2000) Suiza.

REHABILITACIÓN FRENTE AL **RADÓN**

fichas



1. FINALIDAD

La colocación de una barrera frente al radón tiene como finalidad limitar la penetración de este gas proveniente del terreno hacia el interior del edificio a través del cerramiento. Se basa en aislar del terreno los locales que deben ser protegidos para evitar que el radón fluya al interior por difusión o convección a través de las vías de entrada habituales, que suelen ser la masa de los propios cerramientos en contacto con el terreno y los puntos en donde presentan alguna discontinuidad como fisuras, grietas, encuentros, juntas de dilatación, etc.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará cuando los cerramientos en contacto con el terreno se encuentren deteriorados, se carezca de ellos o no sean suficientemente efectivos para frenar el paso de radón.

Algunos casos en los que esto puede suceder es cuando:

- la vivienda carezca de suelo de hormigón en contacto con el terreno, por ejemplo, cuente con suelo de madera o de tierra apisonada vista o sobre la que se apoyan directamente las piezas del solado;
- la solera se encuentre deteriorada o incluso presente problemas de humedad.

Para su utilización hay que tener en cuenta la viabilidad de la ejecución, pues no siempre es posible intervenir en la totalidad del cerramiento en contacto con el terreno.

3. EFECTIVIDAD

La barrera es una de las soluciones más efectivas cuando la concentración de radón medida en los locales habitables es inferior a 600 Bq/m³.

En caso de que la concentración de radón sea superior se recomienda combinar la barrera con otra solución, como las basadas en la reducción del radón antes de que penetre en los locales habitables descritas en la [Solución B1](#), [Solución B2](#) y [Solución B3](#).

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos de paso que conecten los locales situados bajo y sobre la barrera, como puedan ser trampillas y puertas de sótano o de garajes. En este caso será necesario que la puerta sea poco permeable al aire según lo detallado en la [Solución A3](#).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se recomienda medir la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

Es una solución que requiere un cierto grado de especialización en su instalación, puesto que la garantía de su eficacia depende no sólo de la elección de una barrera adecuada sino también de una cuidada puesta en obra. Es de especial importancia el tratamiento de los puntos críticos en los que se producen discontinuidades.

⁽¹⁾ Se ha considerado la instalación de barrera tipo lámina sobre suelo existente en un espacio diáfano

5. CÓMO SE CONSIGUE

Esta solución consistirá en disponer un elemento continuo que funcione como barrera en toda la superficie del cerramiento en contacto con el terreno. El cerramiento suele ser un suelo (Figura 1), aunque en el caso de la existencia de un sótano también puede ser un muro.

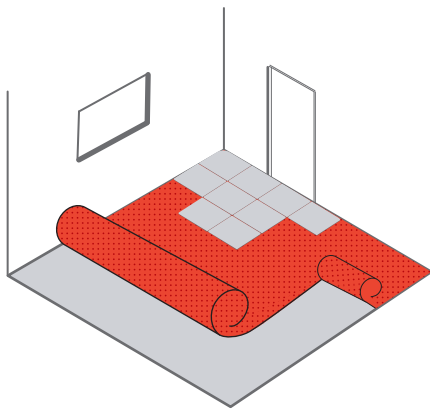


Figura 1 - Disposición de la barrera sobre forjado o solera

La barrera podrá ser de tipo lámina o de otro tipo cuya efectividad pueda demostrarse. La característica principal de la barrera es su coeficiente de difusión del radón que tendrá que ser lo suficientemente bajo para que, teniendo en cuenta su espesor, limite la exhalación de radón desde el terreno al interior de los locales.

En el mercado existen distintas láminas con función de barrera frente al radón. En general son parecidas a las utilizadas para la protección frente a la humedad, pero con propiedades de durabilidad mejoradas y con su coeficiente de difusión del radón caracterizado.



Las láminas nodulares de polietileno no son adecuadas como barreras de protección frente al radón por los problemas de sellado que presentan.

Otras barreras que podrían utilizarse y que han demostrado su efectividad (para casos en los que el promedio de la medida de radón no supere los 600 Bq/m³) son los muros y los suelos de hormigón continuo, como por ejemplo una solera. El hormigón es un material relativamente poroso con un coeficiente de difusión del radón mayor que el de las barreras de tipo lámina, pero el hecho de que se coloque en obra con un espesor mucho mayor que el de las láminas podría compensarlo y resultar en una exhalación de radón similar.

Es importante que el estado de conservación del hormigón sea adecuado con el paso del tiempo. Se considera adecuado cuando presente un grado de solidez apreciable a simple vista, es decir, que no muestre una desagregación o un agrietamiento excesivo que haga inviable su sellado puntual como se explica en la [Solución A2](#).



Para concentraciones superiores a 600 Bq/m³ en los locales habitables no se considera adecuada una barrera que no sea de tipo lámina.

En el caso de utilizar como barrera el propio muro o solera de hormigón en contacto con el terreno es recomendable que no se cubran con un pavimento u otros elementos que lo oculten. De esta forma, si como consecuencia de un deterioro posterior se produjeran grietas, serían apreciables a simple vista, lo que permitiría una intervención más sencilla.

La barrera se colocará entre el terreno y el local a proteger:

- en el caso de una vivienda sin sótano, en el cerramiento en contacto con el terreno;
- en el caso de una vivienda con sótano (que no se considere habitable), bien en el cerramiento en contacto con el terreno, bien en el cerramiento situado entre el sótano y la planta baja (Figura 2).

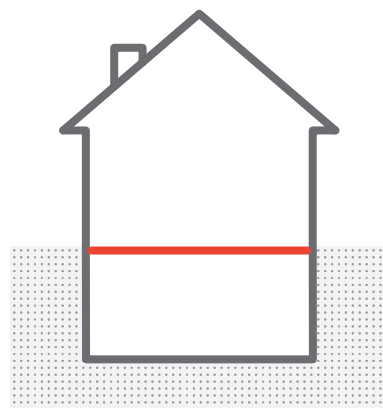


Figura 2 - Colocación de la barrera en el cerramiento entre el sótano y la planta baja

La mejor ubicación para la barrera de tipo lámina es en la cara del cerramiento en contacto con el terreno (Figura 3 izda.), quedando así, por un lado, más cerca

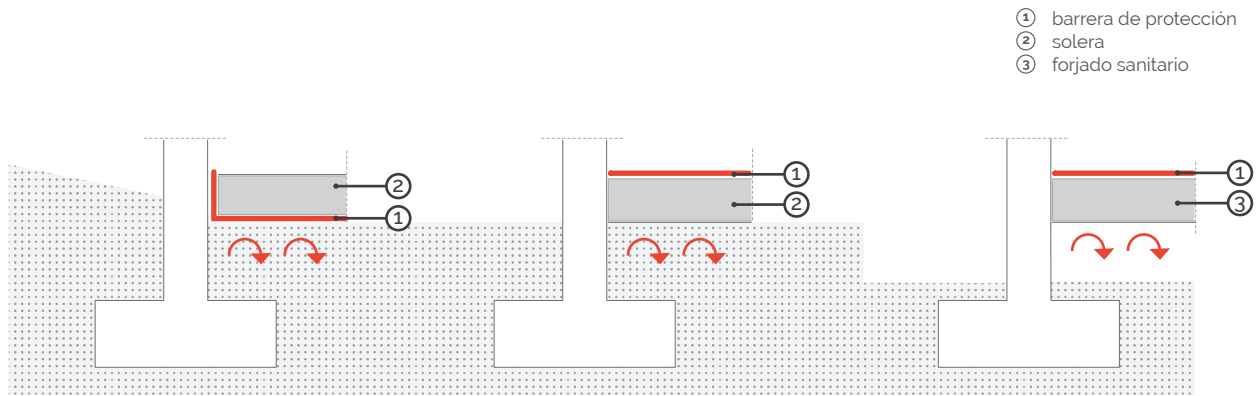


Figura 3 - Colocación de la barrera bajo solera (izda.) sobre solera (centro) y sobre forjado (drcha.)

de la fuente de radón y, por otro, protegida de posibles impactos u otras acciones que la puedan deteriorar durante el uso del edificio. Sin embargo, esto no siempre es posible por lo que, según las circunstancias concretas de cada intervención la barrera se podrá situar:

- en el caso de que se vaya a mantener la solera o el forjado existente, en la cara interior (Figura 3 centro y drcha.), aunque en el caso de forjados existentes de madera, se situará sobre el terreno;
- en el caso de que se vaya a mantener el muro de sótano existente, en la cara interior.

6. PUNTOS CRÍTICOS

En el caso de que la barrera presente falta de continuidad, la efectividad de la solución quedará mermada. Las causas más comunes de la falta de continuidad

son las uniones entre láminas, las juntas de dilatación, los encuentros con elementos pasantes, pilares, particiones (tabiques) y fachadas, y la unión con obras existentes (Figura 4). En la [Solución A1.1](#) se describen algunas soluciones para estos puntos críticos.

7. COSTE

El coste puede variar sustancialmente dependiendo del tipo de intervención. Las intervenciones, de menor a mayor coste asociado, pueden ser:

- instalación de una barrera de tipo lámina sobre un suelo existente;
- instalación de un nuevo suelo de hormigón;
- instalación de una barrera de tipo lámina junto con un nuevo suelo de hormigón.

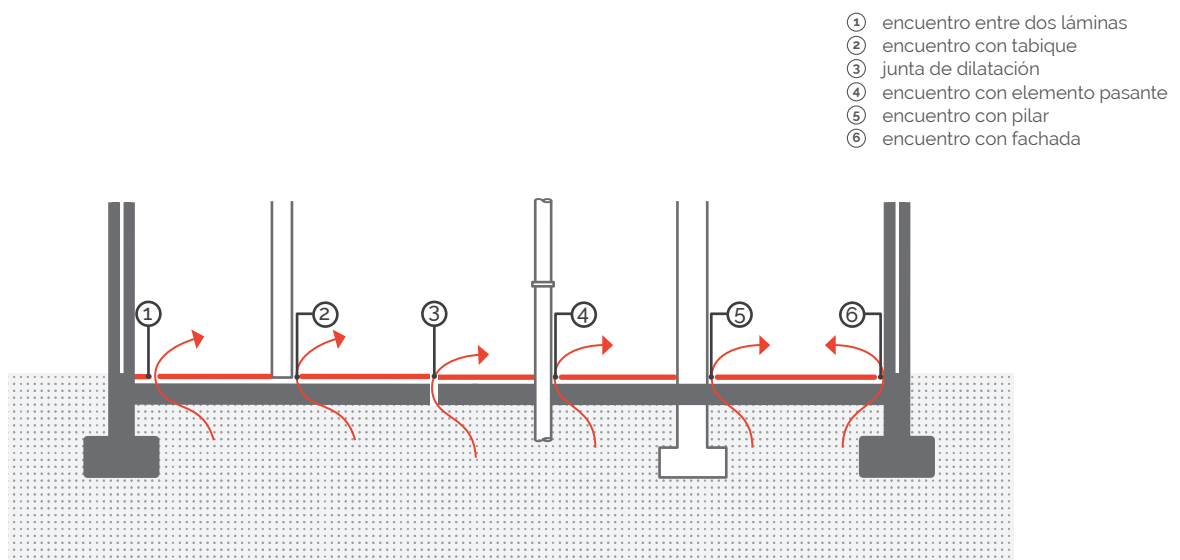


Figura 4 - Puntos críticos más comunes

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a la instalación de una barrera de tipo lámina sobre un suelo existente, por considerar que representa el caso más común.

OBSERVACIONES

Disposición de la barrera sobre un muro de sótano

En el caso de que la barrera frente al radón se vaya a instalar cubriendo un muro de sótano, la barrera tendrá que adherirse a la superficie.

Mejora de la protección frente a la humedad

En el caso de que se quiera mejorar la protección frente a la humedad disponiendo una barrera impermeabilizante en el cerramiento en contacto con el terreno, este impermeabilizante podrá especificarse para que preste también la función de barrera frente al radón.

Mejora del aislamiento térmico

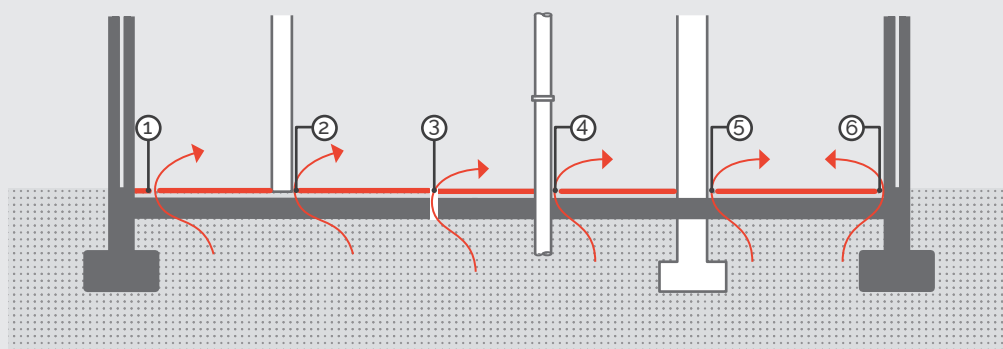
En el caso de que se quiera mejorar el aislamiento térmico disponiendo un aislante en el cerramiento en contacto con el terreno, este aislante podrá especificarse para que preste también la función de barrera frente al radón.

Conservación y durabilidad de la barrera

Las barreras de hormigón y las láminas dispuestas en el intradós de un cerramiento podrán, respectivamente, repararse mediante un mantenimiento adecuado o sustituirse por otra de forma sencilla. En contraposición, las láminas situadas en el trasdós serán difícilmente reparables por lo que será más importante que tengan una durabilidad adecuada a la vida útil del edificio y sus condiciones.

BARRERA FRENTE AL RADÓN. ENCUENTROS

SOLUCIÓN A1-1



- ① encuentro entre dos láminas
- ② encuentro con tabique
- ③ junta de dilatación
- ④ encuentro con elemento pasante
- ⑤ encuentro con pilar
- ⑥ encuentro con fachada

La falta de continuidad de la barrera puede reducir su eficacia considerablemente. Las causas más comunes de la falta de continuidad son las uniones entre láminas, las juntas de dilatación, los encuentros con elementos pasantes, pilares, particiones (tabiques) y fachadas, y la unión con obras existentes. A continuación se describen algunas soluciones para estos puntos críticos.



Los sellantes que se utilicen tendrán un coeficiente de difusión del radón similar al de una barrera tipo lámina.

A. Solape entre dos láminas

Los solapes entre dos láminas se tratarán según lo especificado por el fabricante. Generalmente el borde de la lámina superior se superpone y sella a la lámina inferior (Figura 1).



Figura 1 – Ejemplo de solape entre dos láminas

B. Juntas de dilatación

Si la barrera es de tipo lámina

Será necesario evitar que el movimiento diferencial de los dos bordes de la junta de dilatación rompa la lámina. Para ello, la lámina se podrá prolongar dentro de la junta dejando una holgura tipo fuelle que permita su elongación sin romperse (Figura 2).

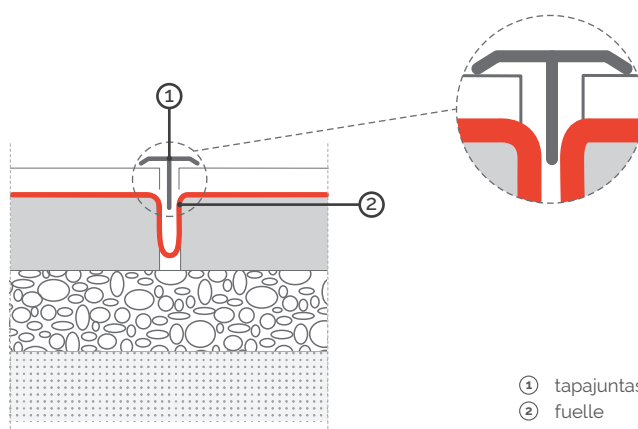


Figura 2 - Encuentro de la barrera tipo lámina con una junta de dilatación

Si la barrera es un elemento de hormigón

Se sellará la junta de dilatación según lo descrito en la [Solución A2](#).

C. Encuentros con elementos pasantes

Los elementos pasantes más comunes son las conducciones para abastecimiento y evacuación de aguas. Habrá que sellar los encuentros con estos elementos de forma adecuada.

Si la barrera es de tipo lámina

Una solución adecuada podrá ser la de utilizar un pasamuros sellando su encuentro con el elemento pasante y la lámina (Figura 3) (si se va a sustituir el elemento pasante o si se interviene en el muro o suelo) o, si esto no es posible, rodear el elemento pasante en el encuentro con una pieza de refuerzo, preferiblemente prefabricada (Figura 4), y sellar los encuentros con la lámina y con el elemento pasante.

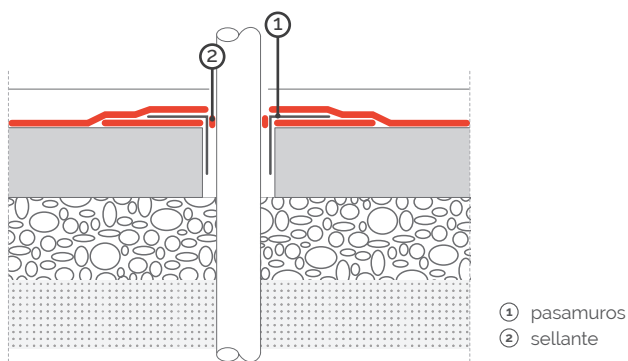


Figura 3 - Encuentro de la barrera tipo lámina con un elemento pasante vertical mediante un pasamuros

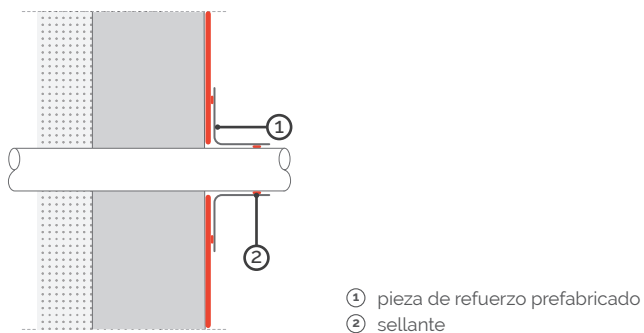


Figura 4 - Encuentro de la barrera tipo lámina con un elemento pasante horizontal mediante una pieza de refuerzo prefabricada

En la zona donde exista un elemento pasante será preferible que no haya solapes entre distintas piezas de la lámina, puesto que dificultarían después el sellado del encuentro.

Si la barrera es un elemento de hormigón

En este caso las soluciones adecuadas podrán ser utilizar un elemento prefabricado embebido en el muro o en el suelo (Figura 5) (si se van a sustituir los elementos pasantes o si se interviene en el muro o suelo) o, si esto no es posible, rodear el elemento pasante en el encuentro con una pieza de refuerzo de forma similar a lo descrito en la [Solución A2](#).

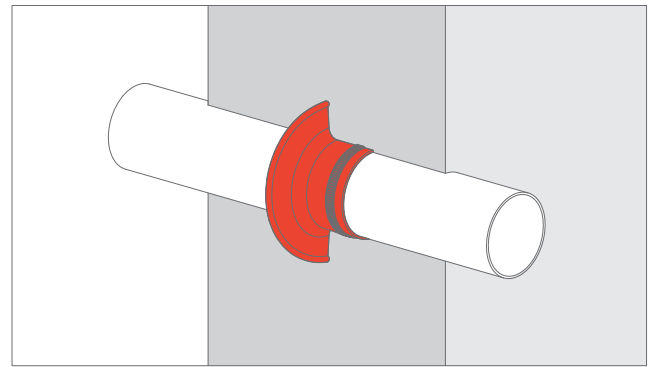


Figura 5 - Encuentro de un muro con un elemento pasante horizontal mediante un elemento prefabricado embebido

D. Encuentros con pilares

Los pilares más comunes suelen ser de hormigón armado o metálicos. En estos casos el radón que pueda penetrar a través de ellos se considera despreciable, puesto que el coeficiente de difusión del radón en el hormigón y en el metal es reducido. Sin embargo, es importante limitar el transporte de radón que se pueda producir en el encuentro de los pilares con la barrera.

Si la barrera es de tipo lámina

La lámina se prolongará alrededor de los pilares en su base, preferiblemente con láminas de refuerzo prefabricadas (Figura 6), y se sellará su extremo superior con el pilar e inferior con la lámina del suelo.

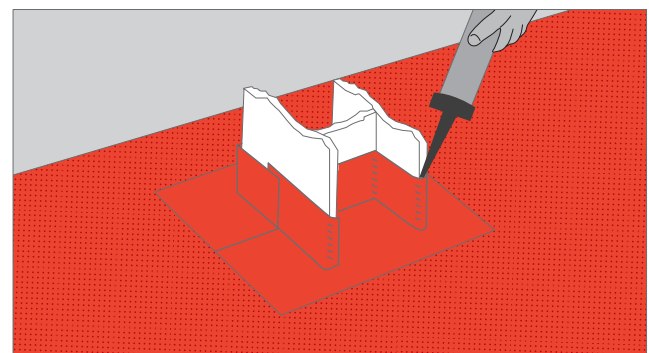


Figura 6 - Encuentro de la barrera tipo lámina con un pilar

Si la barrera es un elemento de hormigón

Se dispondrán láminas de refuerzo en el encuentro de forma similar a lo descrito en la [Solución A2](#).

E. Encuentros con particiones interiores y fachadas

En los encuentros de la barrera con particiones interiores y fachadas el radón puede penetrar:

- por las irregularidades que se puedan producir en el propio encuentro;
- a través de la partición o fachada si estuviesen compuestas de materiales porosos (por ejemplo, fábrica de piedra, mixta de piedra y ladrillo), si tuviesen huecos verticales (Figura 7), si el material de agarre no tuviera cohesión, si existieran cámaras de aire o si la mampostería fuera en seco.



Para concentraciones superiores a 600 Bq/m^3 en los locales habitables no se considera adecuada una barrera que no sea tipo lámina.

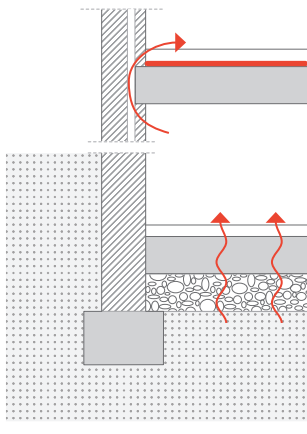


Figura 7 - Transporte de radón a través de la cámara de la fachada

Para evitar este transporte, la lámina será continua bajo las particiones interiores y las fachadas, en la medida de lo posible, sobre todo en el caso de concentración de radón superior a 1200 Bq/m^3 . Por ejemplo, cuando se vaya a ejecutar en la fachada una nueva hoja interior, la lámina se llevará hasta la hoja exterior (Figura 8). El solape de la lámina de la fachada u hoja interior y la del suelo no se realizará en la fachada, sino sobre el suelo, para evitar que el muro de la fachada pierda estabilidad a esfuerzos horizontales.

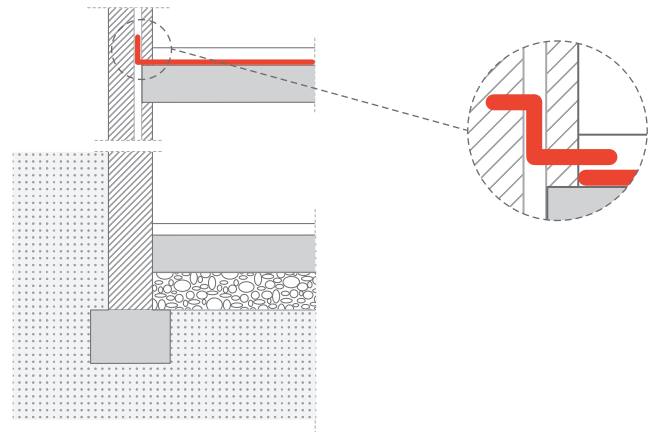


Figura 8 - Encuentro de la barrera tipo lámina con una fachada cuando se vaya a ejecutar una nueva hoja interior

Si no es posible disponer la lámina de forma continua bajo las particiones y las fachadas, se sellará la unión adecuadamente, de forma que se resistan los movimientos diferenciales, pudiendo además utilizarse soluciones de refuerzo. Para el sellado, lo más recomendable será encastrar la lámina nueva en la partición o fachada en una roza. Como soluciones de refuerzo podrán ser adecuadas la inyección o introducción de un producto barrera en la base de las particiones y fachadas, o la disposición de tubos perforados en su longitud que creen un sistema de despresurización (Figura 9) similar a lo descrito en la [Solución B3](#).

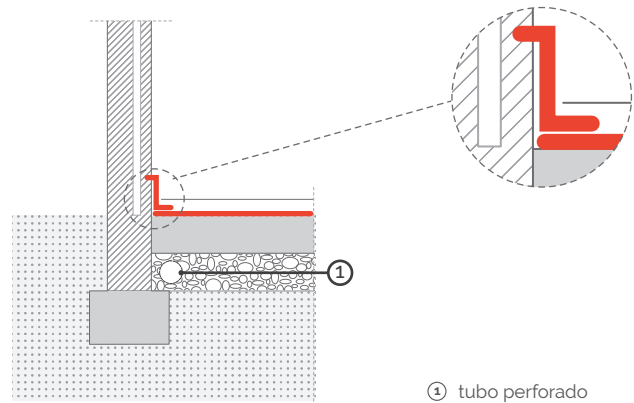


Figura 9 - Encuentro de la barrera tipo lámina con una fachada mediante encastrado y tubo perforado

F. Unión con obras existentes

Si la nueva barrera es de tipo lámina

Si la parte existente tiene una barrera tipo lámina, la solución óptima sería sellar la nueva lámina con la existente. Cuando se conserva el cerramiento limitrofe, esto conlleva en la práctica cierta dificultad puesto

que implica la demolición de tramos del cerramiento y constituye un riesgo de deterioro de la lámina existente. Por ello, la mejor solución será la de encastrar la lámina nueva en el cerramiento limítrofe en una roza por encima de la lámina existente (Figura 10).

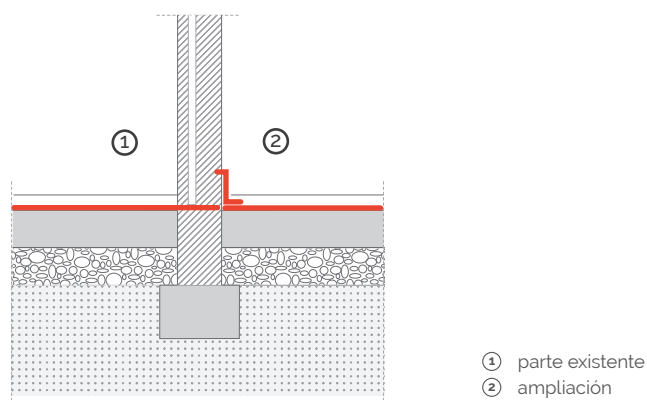


Figura 10 - Encuentro de la lámina existente con la nueva mediante roza

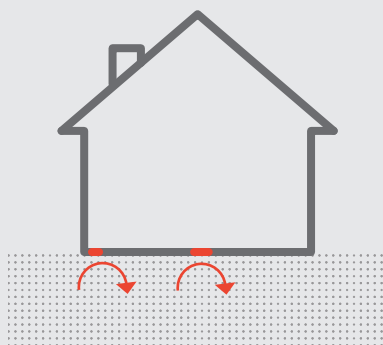
Si la parte existente no tiene barrera tipo lámina la solución podrá ser también encastrar la nueva lámina en el cerramiento limítrofe de forma similar a la descrita anteriormente.

Si la nueva barrera es un elemento de hormigón

Será necesario realizar un cuidadoso sellado del encuentro, para lo que se podrá utilizar un sellante flexible similar al descrito para una junta de dilatación, que permita el movimiento diferencial entre las dos estructuras.

SELLADO DE FISURAS, GRIETAS, ENCUENTROS Y JUNTAS

SOLUCIÓN A2



1. FINALIDAD

El sellado tiene como finalidad limitar la penetración del radón proveniente del terreno hacia el interior del edificio a través del cerramiento. Se basa en aislar del terreno los locales que deben ser protegidos para evitar que el radón fluya al interior por convección a través de los puntos en donde los cerramientos en contacto con el terreno presentan alguna discontinuidad como fisuras, grietas, encuentros, juntas de dilatación, etc.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará cuando no sea posible o viable disponer una barrera de protección frente al radón.

Cuando el cerramiento en contacto con el terreno sea de un material que presente muchas juntas o sea especialmente poroso, como por ejemplo un forjado de madera, esta solución no será adecuada.

3. EFECTIVIDAD

El sellado puede ser efectivo cuando la concentración de radón medida en los locales habitables es inferior a 600 Bq/m^3 siempre y cuando el cerramiento presente un estado de conservación adecuado. Por ejemplo, en el caso de una solera o un muro de hormigón, se considera que el estado del hormigón es adecuado cuando presente un grado de solidez apreciable a simple vista, es decir, no muestre una desagregación o un agrietamiento excesivo que haga inviable su sellado puntual como se explica en el apartado 5.

En caso de que la concentración de radón sea superior se recomienda combinar el sellado con otra solución,

como las basadas en la reducción del radón antes de que penetre en los locales habitables descritas en la [Solución B1](#), [Solución B2](#) y [Solución B3](#) o la ventilación de los propios locales habitables descrita en la [Solución C1](#).

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos de paso que conecten los locales situados bajo y sobre el cerramiento, como puedan ser trampillas y puertas de sótano o de garajes. En este caso será necesario que la puerta sea poco permeable al aire según lo detallado en la [Solución A3](#).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se recomienda medir la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

Es una solución sencilla que no requiere un grado de especialización alto en su implementación.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Esta solución consistirá en sellar los puntos críticos más comunes (Figura 1) en donde los cerramientos presenten alguna discontinuidad y supongan un riesgo de paso de radón, como son las grietas y fisuras, las juntas de dilatación y los encuentros con elementos pasantes, pilares y fachadas.



Los sellantes que se utilicen tendrán un coeficiente de difusión del radón similar al de una barrera de tipo lámina.

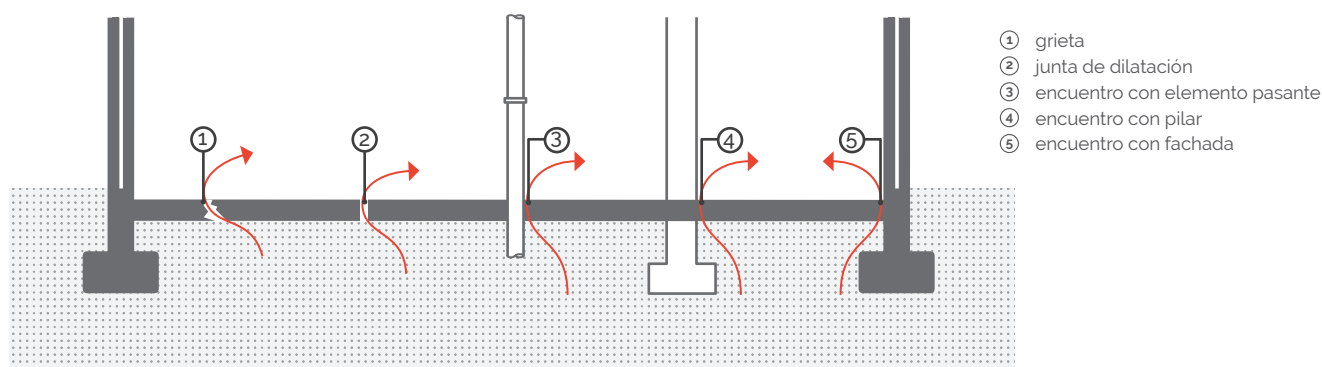


Figura 1 - Puntos críticos más comunes

a) Grietas y fisuras

Para el sellado de una grieta se podrá inyectar un sellante flexible (Figura 2). Para realizar un trabajo más cuidadoso se podrá ensanchar la grieta con la ayuda de un mazo y un cincel e introducir un elemento de fondo de junta elástico previo al sellante. Siempre se eliminarán las impurezas que puedan haber quedado en la junta antes de aplicar el sellante.

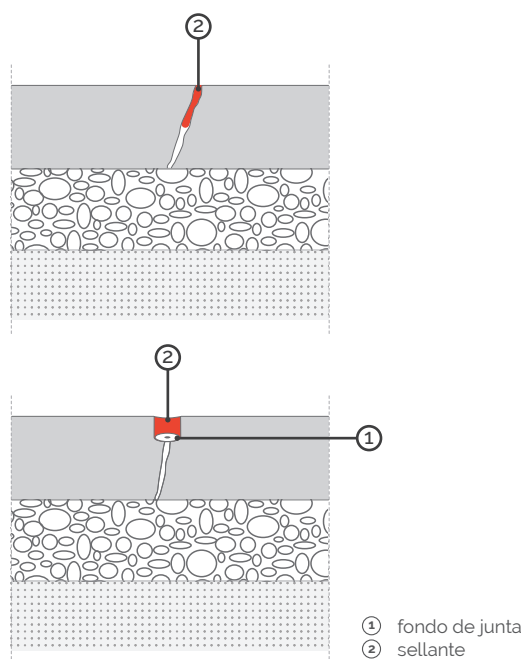


Figura 2 - Sellado de una grieta centrada (arriba) y ensanchándola (abajo)

En el caso de una solera microfisurada se podrán sellar las fisuras con un tratamiento superficial: membrana, producto líquido, etc. En este caso se recomienda colocar además una capa de protección.

b) Juntas de dilatación

Para el sellado de una junta de dilatación se podrá introducir un elemento de fondo de junta elástico y posteriormente aplicar un sellante flexible que permi-

ta el movimiento diferencial entre las dos estructuras (Figura 3).

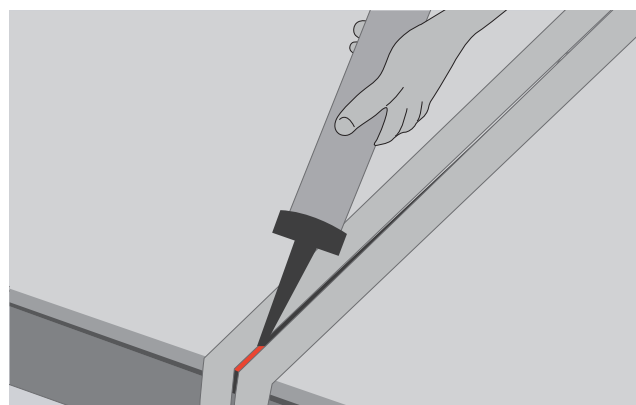
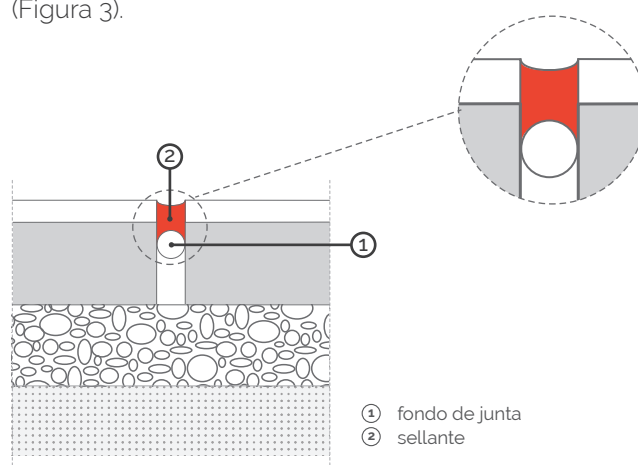


Figura 3 - Sellado de una junta de dilatación de una solera

c) Encuentros con elementos pasantes

Los elementos pasantes más comunes son las conducciones para abastecimiento y evacuación de aguas.

Se sellarán los encuentros con un sellante flexible. La mejor solución será rodear los elementos pasantes en el encuentro con piezas de refuerzo, preferiblemente prefabricadas, y sellar: el encuentro entre el refuerzo y el cerramiento, y el encuentro entre el refuerzo y el elemento pasante (Figuras 4 y 5).

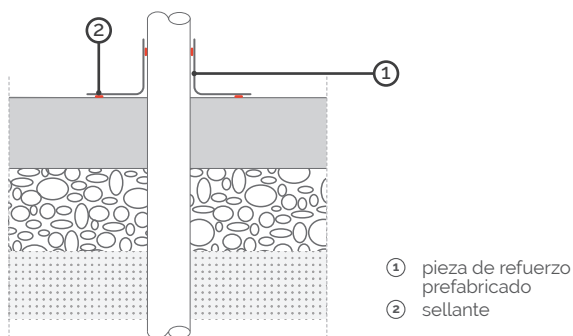


Figura 4 - Encuentro del cerramiento con un elemento pasante vertical resuelto con una pieza de refuerzo prefabricada

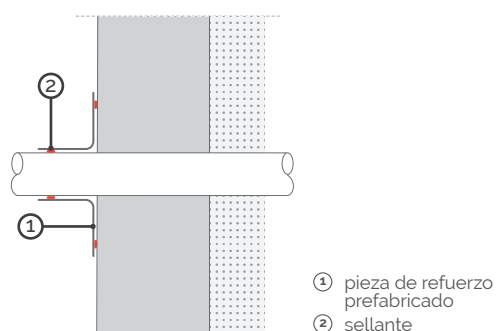


Figura 5 - Encuentro del cerramiento con un elemento pasante horizontal resuelto con una pieza de refuerzo prefabricada

d) Encuentro con pilares

Los pilares más comunes suelen ser de hormigón armado o metálicos. En estos casos el radón que pueda penetrar a través de ellos se considera despreciable, puesto que el coeficiente de difusión del radón en el hormigón y en el metal es reducido. Sin embargo, es importante limitar el transporte de radón que se pueda producir en el encuentro de los pilares con el cerramiento.

Por ello, se dispondrán láminas de refuerzo en el encuentro (Figura 6), preferiblemente prefabricadas, y se sellará su extremo superior con el pilar e inferior con el cerramiento.

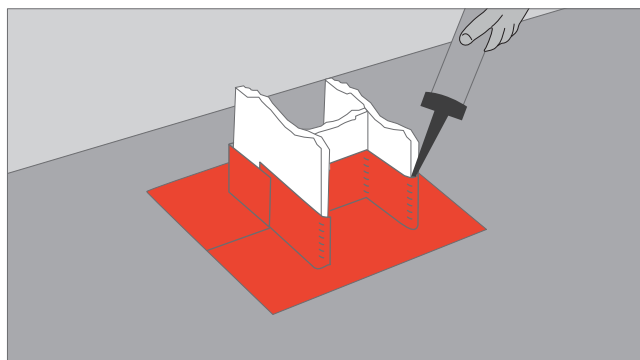


Figura 6 - Encuentro del cerramiento con un pilar

e) Encuentros con fachadas

El encuentro con una fachada se podrá sellar retirando el rodapié, introduciendo un elemento de fondo de junta elástico y posteriormente inyectando un sellante flexible que permita el movimiento diferencial entre las dos estructuras (Figura 7).

Si el rodapié no se puede retirar se podrá inyectar el material sellante, aunque esta solución es menos eficaz.

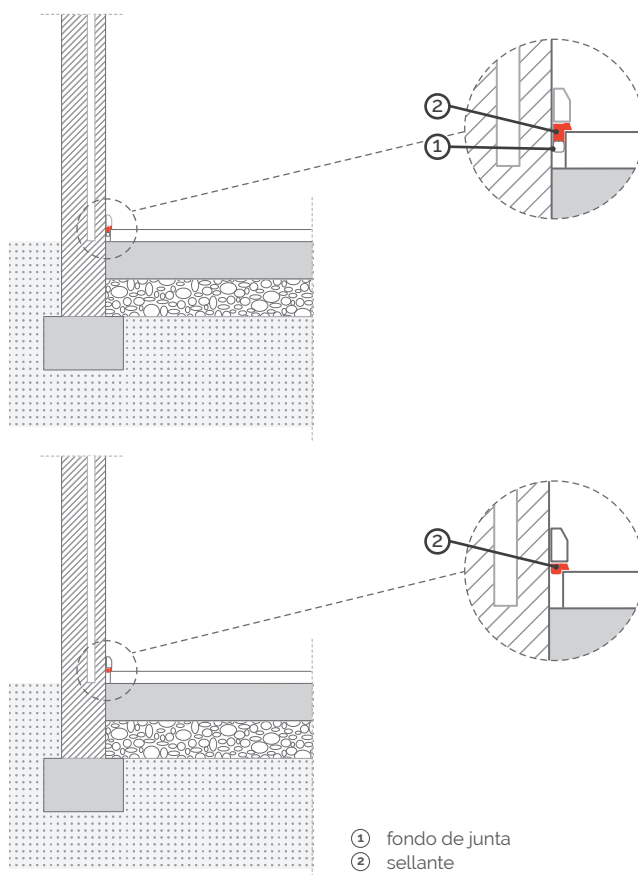


Figura 7 - Sellado del encuentro de una solera con una fachada retirando el rodapié (arriba) y sin retirarlo (abajo)

6. COSTE

El coste se considera bajo en relación al resto de soluciones de protección, puesto que se trata de una solución basada en la reparación puntual de un elemento existente.



1. FINALIDAD

Las puertas estancas tienen como finalidad limitar el paso de radón desde zonas con alta concentración de este gas, como son los espacios de contención, hacia el resto del edificio.



El espacio de contención es un espacio situado entre el terreno y los locales a proteger que recibe el radón proveniente del terreno y que, mediante ventilación natural o mecánica, lo expulsa al exterior del edificio mitigando el paso de radón al interior de los locales habitables.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará cuando exista un espacio de contención comunicado con el resto del edificio mediante puertas o trampillas con alta permeabilidad al aire (Figura 1). En todo caso, también se podrán sellar las puertas y trampillas que comuniquen cualquier cámara o local no habitable situado entre el terreno y los locales a proteger con el resto del edificio, mejorando así la protección frente al radón, como, por ejemplo:

- un sótano/semisótano con garaje o trasteros y una planta baja dedicada a locales comerciales o viviendas;
- un sótano/semisótano con aparcamiento y una planta baja de una vivienda unifamiliar;
- una cámara sanitaria y la planta baja desde la que se accede.

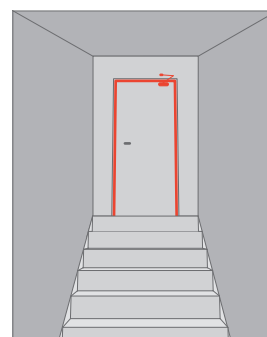
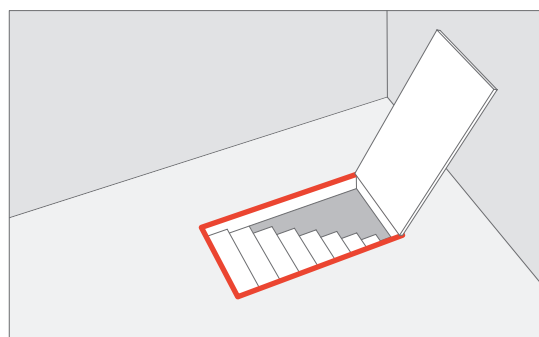


Figura 1 - Ejemplos de puertas que deberían ser estancas: trampilla a cámara sanitaria (arriba) y puerta de bajada a sótano (abajo)

3. EFECTIVIDAD

El sellado de puertas o trampillas es una solución no demasiado efectiva por sí sola, por lo que se recomienda su empleo junto con otras soluciones como la barrera de protección frente al radón (Solución A1 y Solución A1.1), el sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (Solución A2), la ventilación de cámaras de aire (Solución B1) o la ventilación de locales no habitables (Solución B2).

(1) Se ha considerado la mejora de una puerta existente

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se recomienda medir la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

Es una solución sencilla que no requiere un grado de especialización alto en su implementación.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Esta solución consistirá en reducir la permeabilidad al aire de las puertas o trampillas existentes causada por una holgura excesiva entre la hoja y el cerco o entre los paneles y marcos, la presencia de rejillas de ventilación, la falta de mecanismos de cierre automático, etc.

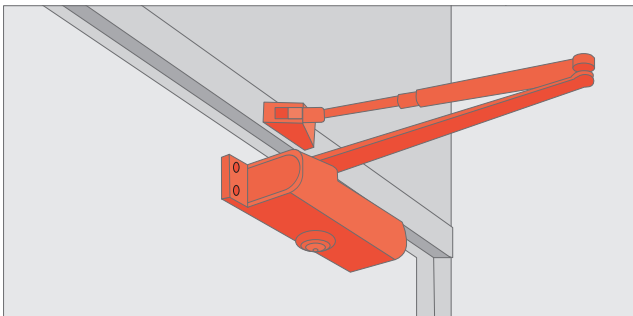


Figura 2 - Mecanismo de cierre automático

La reducción de la permeabilidad se podrá lograr bien sustituyendo las puertas existentes o bien mejorándolas.

En el caso de sustitución de puertas existentes, se considera que pueden ser adecuadas las puertas interiores de permeabilidad al aire de clase C o D según la UNE-EN 12207. A mayor estanqueidad de la puerta, mayor seguridad frente al paso de radón.

En el caso de mejora de puertas existentes, podrán implementarse las siguientes medidas:

- disposición de un mecanismo de cierre automático (Figura 2);
- colocación de una junta elástica en todo el perímetro del cerco (Figura 3) y en un perfil fijo o elemento que permita su sujeción al pavimento (Figura 4);
- oclusión de rejillas de ventilación existentes.

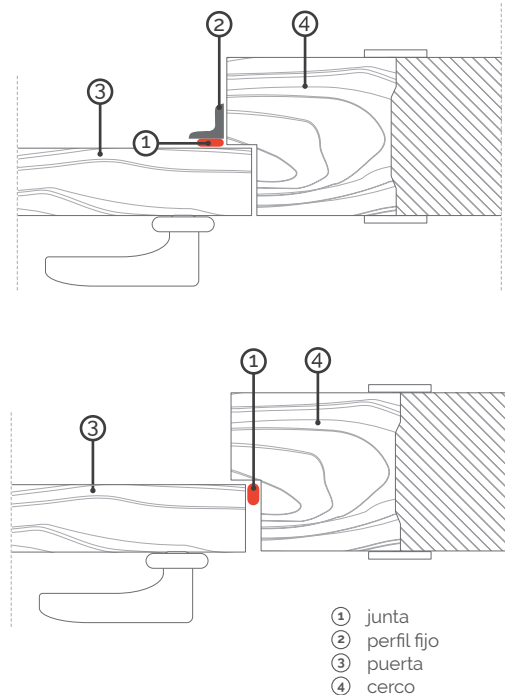


Figura 3 - Juntas elásticas verticales sujetas mediante un perfil fijo (arriba) y directamente al cerco (abajo)

Cuando la apertura entre la hoja de la puerta y el cerco no permita la disposición de una junta, ésta se podrá colocar con ayuda de un perfil fijo. Los sistemas de cepillo sujetos a la hoja de la puerta no son lo suficientemente eficientes, por lo que no se recomienda su uso.

En el caso de trampillas la solución dependerá de su frecuencia de uso. Si es esporádico, lo más eficiente será su sellado, pero si es frecuente lo más adecuado será implementar soluciones similares a las descritas para puertas.

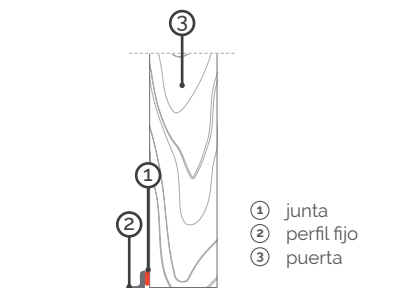


Figura 4 - Junta elástica horizontal sujeta a un perfil fijo al pavimento

En el caso de vestíbulos con dos puertas consecutivas, se recomienda que sea estanca la primera puerta en el sentido de avance del gas radón hacia las zonas habitables, es decir, la más cercana a la zona no habitable.

En el caso de otras puertas interiores que pueda haber en un local no habitable, como puertas de trasteros, no será necesario que sean estancas y además se conservarán las rejillas o aberturas de ventilación que puedan tener.

6. PUNTOS CRÍTICOS

Alineación de la puerta

La alineación de la puerta es el principal punto crítico en la instalación de una trampilla o puerta estanca para que todos sus mecanismos de cierre funcionen adecuadamente.

7. COSTE

El coste puede variar sustancialmente dependiendo de si la intervención consiste en sustituir o mejorar una puerta existente.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a la mejora de una puerta existente.

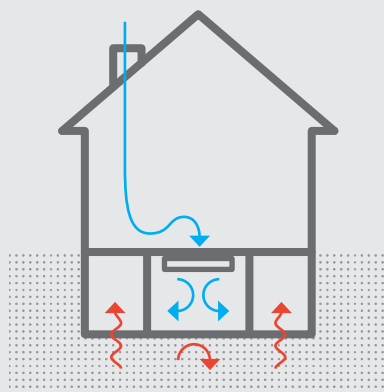
OBSERVACIONES

Puerta situada en un recorrido accesible o de evacuación

Cuando la puerta esté ubicada en un recorrido accesible o para evacuación en caso de incendio, no podrá disponerse un perfil fijo en el suelo puesto que supondría un obstáculo. En este caso, tendrá que sustituirse la puerta existente por una nueva con las condiciones de permeabilidad al aire indicadas anteriormente.

Puerta con rejilla de ventilación

Cuando la puerta existente cuente con una rejilla que haya que ocluir de acuerdo a la información proporcionada anteriormente, será necesario prever soluciones sustitutivas para la ventilación del local no habitable.



1. FINALIDAD

La creación de sobrepresión en el interior del local a proteger tiene como finalidad limitar la entrada de radón desde su exterior. En circunstancias normales, el radón penetra a través de los cerramientos en gran medida gracias a la diferencia de presión que se establece entre el gas en el terreno y en el interior del edificio. La sobrepresión provocará que el movimiento del aire se invierta y se produzca desde dentro del local habitable hacia el exterior, protegiéndolo de la entrada de radón.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se podrá emplear para proteger pequeños locales habitables situados en grandes áreas que no estén protegidas como, por ejemplo, cabinas de vigilancia en garajes (Figura 1).



Figura 1 - Cabina de vigilancia en garaje

Cuando el uso del local implique frecuentes aperturas de puertas o ventanas, será necesario realizar un estudio específico para determinar la viabilidad de esta solución pues no se podría asegurar la sobrepresión en estas condiciones.

3. EFECTIVIDAD

La creación de sobrepresión en el interior del local a proteger puede ser efectiva cuando la concentración de radón medida en su interior es inferior a 600 Bq/m³. Se recomienda su empleo junto con otras soluciones como la barrera de protección frente al radón ([Solución A1](#) y [Solución A1.1](#)) o el sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas ([Solución A2](#)).



La efectividad de esta solución depende en gran medida de la estanqueidad del cerramiento del local a proteger. Para que su efectividad sea la óptima, la estanqueidad del cerramiento tiene que ser alta.

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos como puertas o ventanas, que conecten los locales protegidos con sobrepresión con áreas no protegidas. En este caso será necesario que los elementos sean poco permeables al aire según lo detallado en la [Solución A3](#).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se recomienda medir la concentración de radón alcanzada dentro del local habitable tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

Es una solución que requiere un grado de especialización alto puesto que la garantía de su efectividad depende de un adecuado diseño y dimensionado.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Para crear sobrepresión dentro de un local se introducirá aire en su interior mediante un sistema de ventilación mecánica de impulsión, o de impulsión y extracción desequilibrado (con mayor impulsión que extracción), que consiga elevar la presión en su interior por encima de la presión en el exterior del local (Figura 2). El aire a impulsar se tomará del exterior del edificio.

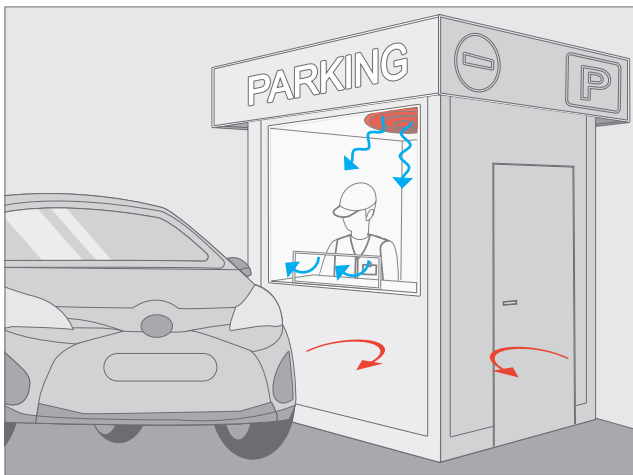


Figura 2 - Sistema de sobrepresión



Para lograr esta sobrepresión el local a proteger debe presentar una baja permeabilidad al aire.

6. PUNTOS CRÍTICOS

Falta de estanqueidad del cerramiento

En el caso de que el cerramiento entre el local a proteger y el resto de áreas no protegidas no sea lo suficientemente estanco, podría producirse una fuga importante de aire desde el interior al exterior con las consiguientes pérdida de presión y disminución drástica de la efectividad del sistema. Para evitarlo será indispensable realizar un cuidadoso sellado de los cerramientos.

7. COSTE

El coste depende en gran medida de la estanqueidad existente en el local y del sistema de ventilación disponible. El caso más costoso correspondería a la instalación de un sistema de ventilación completamente nuevo con impulsión y extracción mecánica.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a la instalación de un sistema de ventilación basado en impulsión mecánica.

OBSERVACIONES

Sobrepresión mínima

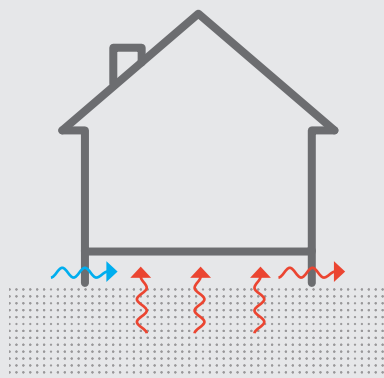
La diferencia de presión a conseguir entre el interior del local protegido y su exterior dependerá del caso concreto, pudiéndose emplear como referencia inicial 5 Pa.

Riesgo de condensaciones intersticiales

El empleo de sobrepresión en viviendas no está recomendado a priori puesto que existe riesgo de condensaciones intersticiales especialmente en épocas frías, debido a que el aire más caliente y con más humedad absoluta del interior de la vivienda es empujado hacia el exterior.

VENTILACIÓN DEL ESPACIO DE CONTENCIÓN: CÁMARA DE AIRE

SOLUCIÓN B1



1. FINALIDAD

La ventilación de la cámara de aire empleada como espacio de contención tiene como finalidad reducir la concentración de radón a la que los cerramientos de los locales habitables se encuentran expuestos. Se basa en favorecer mediante ventilación la expulsión del aire con alta concentración de radón de la cámara y que no tienda a penetrar en los locales habitables.



El espacio de contención es un espacio situado entre el terreno y los locales a proteger que recibe el radón proveniente del terreno y que, mediante ventilación natural o mecánica, lo expulsa al exterior del edificio mitigando el paso de radón al interior de los locales habitables. Puede actuar como espacio de contención un local no habitable o una cámara de aire.

En esta [Solución B1](#) únicamente se trata la ventilación de cámaras de aire. La ventilación de los locales no habitables utilizados como espacio de contención se trata en la [Solución B2](#).

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará generalmente cuando el edificio ya disponga de una cámara de aire que pueda actuar como espacio de contención, por ejemplo, una cámara sanitaria.

Si el edificio no dispone de cámara de aire, podría ser viable su colocación dependiendo de factores como la altura libre disponible, la superficie útil de la planta, la posibilidad de intervenir por el exterior del muro, así como de otros condicionantes económicos o técnicos.

3. EFECTIVIDAD

La ventilación de la cámara de aire que actúa como espacio de contención es una de las soluciones más efectivas. No obstante, para que esta efectividad sea óptima, se recomienda su empleo junto con otras soluciones como la barrera de protección frente al radón ([Solución A1](#) y [Solución A1.1](#)) o el sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas ([Solución A2](#)), especialmente para concentraciones de radón medidas en los locales habitables superiores a 600 Bq/m³.

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos de paso que conecten estas cámaras con locales habitables, como puedan ser trampillas de acceso. En este caso será necesario que las trampillas sean poco permeables al aire según lo detallado en la [Solución A3](#).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se medirá la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

En el caso de que el edificio ya disponga de cámara de aire, es una solución sencilla que no requiere un grado de especialización alto.

En el caso de que se construya una nueva cámara de aire, es una solución que requiere un grado de especialización medio.

5. CÓMO SE CONSIGUE

En el caso de que el edificio ya disponga de cámara de aire, esta solución consistirá en ventilarla

(1) Se ha considerado un edificio que dispone de una cámara sanitaria en la que se mejora la ventilación natural

adecuadamente tal y como se describe en este apartado. Previamente se realizará un mantenimiento que incluya la limpieza de las aberturas de ventilación existentes y la eliminación de los obstáculos que se hayan podido acumular o disponer a lo largo del tiempo.

En el caso de que el edificio no disponga de cámara de aire, y siempre que sea viable, podrá instalarse una cámara de aire continua en toda la superficie del cerramiento en contacto con el terreno. Lo más habitual es que esta cámara se sitúe en el plano horizontal puesto que el cerramiento en contacto con el terreno suele ser un suelo, aunque también podrá realizarse verticalmente cuando el cerramiento en contacto con el terreno sea el muro de un sótano. En ambos casos, la cámara podrá disponerse por el interior del cerramiento si la disposición por el exterior no es viable, pudiendo ser su espesor reducido, pero nunca inferior a 5 cm.

Según su disposición en relación al cerramiento existente, la cámara de aire podrá ser:

- horizontal exterior, constituida por una cámara sanitaria ventilada (Figura 1);
- horizontal interior, formada con láminas nodulares o módulos de encofrado perdido (Figura 2);
- vertical exterior, construida mediante un elemento hueco y poroso (Figura 3), una capa de relleno similar a la de los sistemas de despresurización del terreno o una lámina nodular;
- vertical interior, consistente en una cámara bufa (Figura 4).

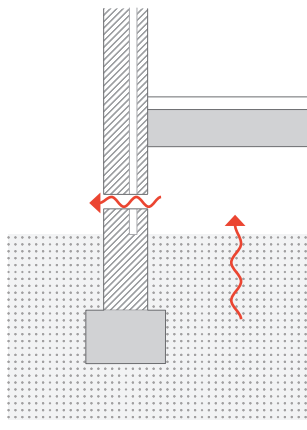


Figura 1 - Cámara sanitaria ventilada

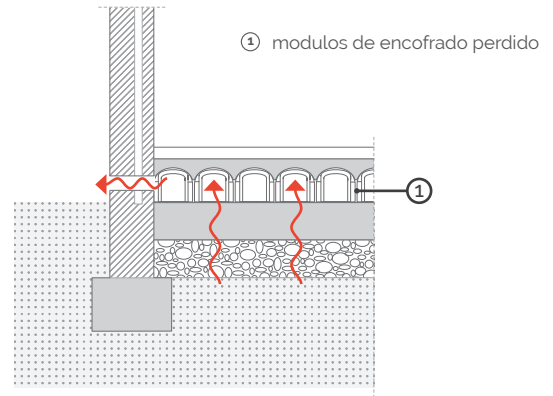


Figura 2 - Cámara ventilada horizontal interior

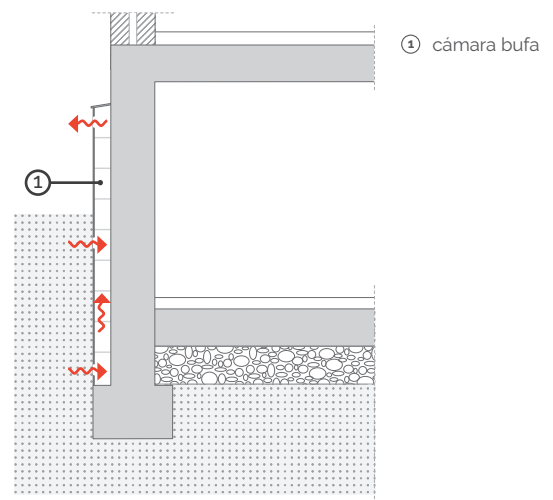


Figura 3 - Cámara ventilada vertical exterior

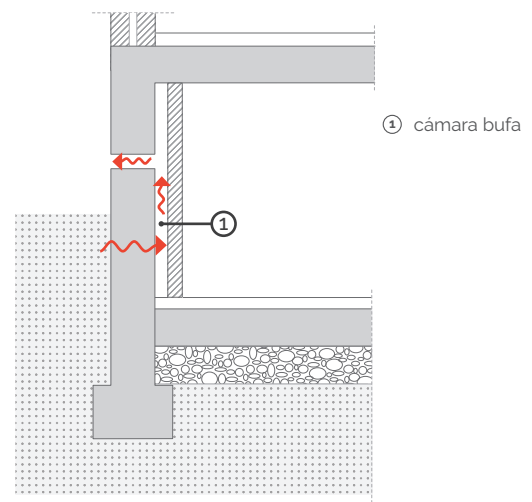


Figura 4 - Cámara ventilada vertical interior

La ventilación de la cámara se podrá realizar de forma natural o mecánica, con los condicionantes que se recogen a continuación.

a) Ventilación natural

La cámara de aire se ventilará practicando las correspondientes aberturas de ventilación (Figura 5).

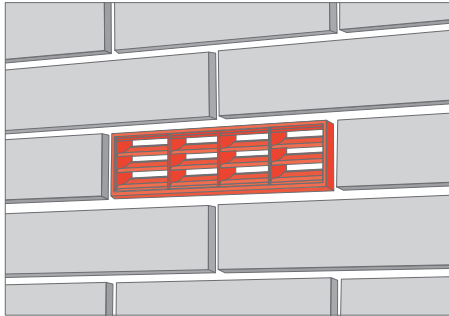


Figura 5 - Abertura de ventilación

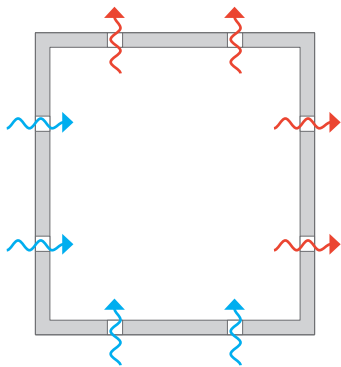
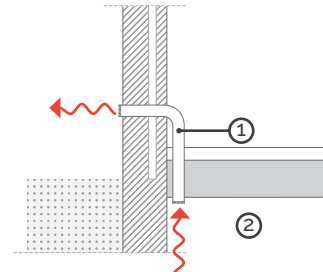
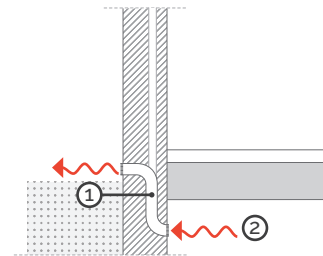
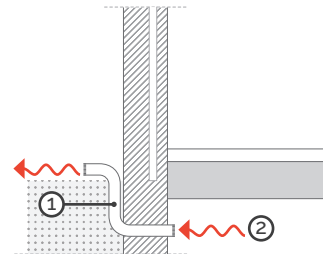


Figura 6 - Distribución de aberturas en planta

Se seguirán las indicaciones generales siguientes en cuanto a diseño, ubicación y dimensionado:

- las aberturas se colocarán distribuidas de forma homogénea en todo el perímetro (Figura 6) para evitar zonas con aire estancado. Sin embargo, en el caso de una cámara horizontal con una superficie en planta de menos de 100 m², las aberturas podrán disponerse en la misma fachada siempre que ningún punto de la cámara diste más de 10 m de alguna de ellas;
- el área del conjunto de aberturas será de al menos 10 cm² por metro lineal del perímetro de la cámara medido en horizontal, aunque para concentraciones de radón superiores a 600 Bq/m³ es muy probable que el área necesaria sea superior;
- las aberturas se ubicarán por encima de la cota que pueda alcanzar la acumulación de nieve, en su caso;
- cuando la cámara quede a un nivel inferior a la cota exterior, podrá realizarse una pequeña excavación en el terreno circundante (si la diferencia de cota es

pequeña) o disponerse un conducto periscópico (Figura 7) que comunique la cámara con el exterior. De entre todas las posibilidades de configuración de este conducto se recomiendan las que no atraviesen el forjado, para evitar un punto crítico de entrada de radón;



- ① abertura de ventilación periscópica
- ② cámara sanitaria

Figura 7 - Conductos periscópicos: sin atravesar (arriba y centro) y atravesando el forjado (abajo)

- cuando se disponga un conducto de extracción que lleve el aire desde la cámara hasta el exterior, el conducto podrá discurrir por el interior del edificio o por el exterior, siendo esta última disposición la más recomendable para evitar la entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas en el propio conducto o en el encuentro con el forjado;
- si fuese inevitable atravesar el forjado con algún conducto, los encuentros con los conductos se tratarán como se indica en la [Solución A2](#) o en la [Solución A1.1](#), según corresponda.

Cuando sea necesario reforzar la ventilación de la cámara se podrá realizar de forma natural disponiendo

más aberturas de ventilación o aumentando la superficie útil de las existentes.



El conducto tendrá uso exclusivo para la ventilación de la cámara, no pudiéndose compartir con la extracción de aire de locales ni de humo de aparatos de combustión.

b) Ventilación mecánica

Cuando se refuerce la ventilación de forma mecánica para mejorar su efectividad, por ejemplo, cuando la cámara tenga un espesor pequeño, por regla general se mecanizará solo la extracción disponiendo un extractor directamente en alguna de las aberturas de ventilación o conectado a un conducto de extracción.

Si ya se disponía de un sistema mecánico de ventilación, se podrá mejorar la ventilación aumentando los caudales de ventilación, optimizando la distribución de las aberturas de ventilación, etc.

En cualquier caso, es recomendable que el extractor se disponga en el exterior del edificio para, por un lado, limitar el riesgo de entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas y por otro, proteger a los usuarios del ruido. En el caso de que se coloque el extractor en el interior del edificio, es preferible que se ubique en un espacio no habitable (por ejemplo, la propia cámara si es accesible para su mantenimiento) y próximo al exterior, de forma que la longitud del conducto desde el extractor hasta el exterior sea lo más corta posible.



Los extractores situados en el exterior del edificio serán resistentes a la intemperie o se protegerán con algún elemento adicional.

Las aberturas de ventilación más próximas al extractor tendrán que cegarse para favorecer la entrada de aire exterior por las aberturas más lejanas y facilitar el barrido de toda la cámara.

Cuando se disponga un conducto de extracción (Figura 8), será acorde a lo descrito para conductos en el apartado de ventilación natural.

La expulsión de aire se situará en la cubierta del edificio, aunque podrá emplazarse en la fachada siempre y cuando se respete una distancia de al menos 3 m a las entradas de aire, puertas, ventanas y zonas donde pueda haber personas de forma habitual, como terrazas y balcones.



Podrá ser necesario disponer una derivación o un bypass en el conducto de extracción que permita evacuar el agua de condensación y filtración protegiendo el extractor de posibles averías.

Podría emplearse un medidor de radón electrónico conectado al extractor, de forma que lo active cuando las concentraciones de radón superen un nivel determinado, evitando así su funcionamiento continuo y prolongando su vida útil.

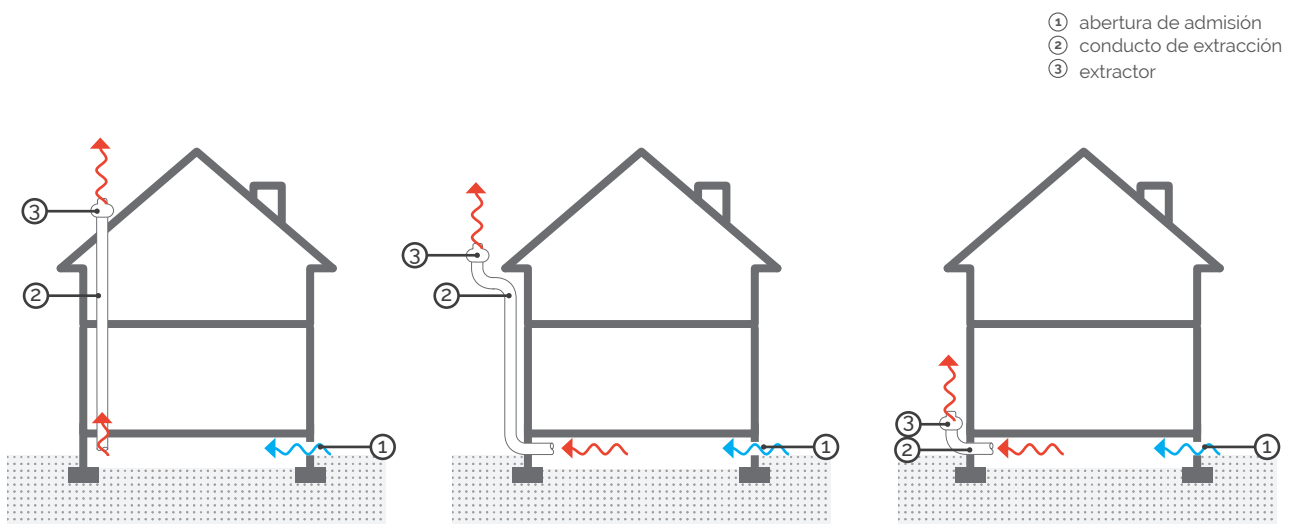


Figura 8 - Conducto de extracción con extractor hasta cubierta por el interior del edificio (izda.) y por el exterior (centro), y en fachada (drcha.)

6. PUNTOS CRÍTICOS

Cerramientos con cámara o huecos

En el caso de que las aberturas de ventilación se practiquen en cerramientos con cámara o huecos, parte del aire podría desviarse penetrando por estas zonas del cerramiento, reduciéndose además el caudal de ventilación de la cámara. Para evitarlo será necesario disponer un elemento pasante que atraviese el cerramiento completamente (Figura 9) y que facilite el paso del aire.

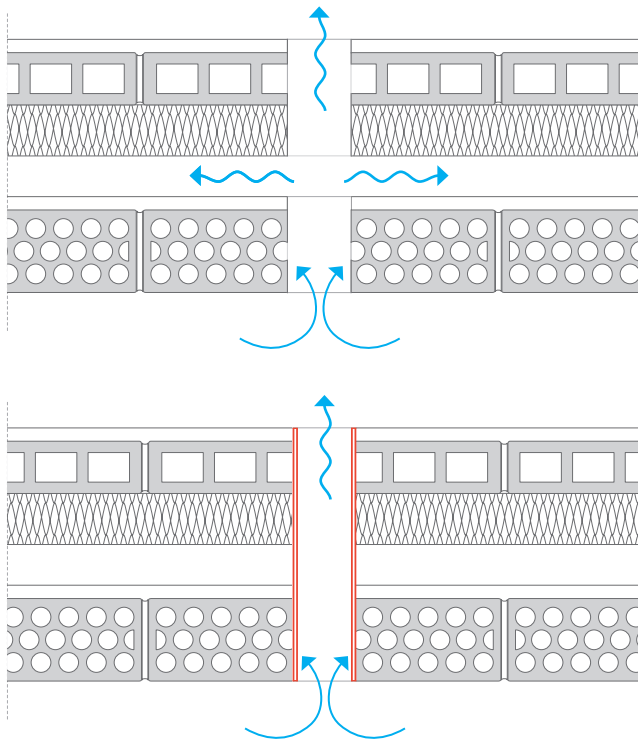


Figura 9 - Abertura de ventilación sin (arriba) y con elemento pasante (abajo)

Obstáculos en la cámara de aire

Cuando existan diferentes zonas en una cámara de aire separadas por muretes de cimentación u otros obstáculos que supongan un impedimento al flujo del aire de ventilación, será necesaria la apertura de huecos de comunicación en los obstáculos para permitir el paso del aire de una zona a otra (Figura 10).

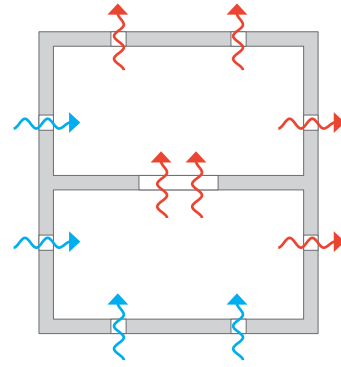


Figura 10 - Apertura de hueco de comunicación en obstáculo en la cámara de aire

7. COSTE

El coste puede variar dependiendo del tipo de intervención y de la situación existente. Las intervenciones, de menor a mayor coste asociado, pueden ser:

- ventilación natural de cámara sanitaria o cámara de aire existente;
- disposición de una cámara de aire ventilada de forma natural por el interior;
- disposición de una cámara de aire ventilada de forma natural por el exterior.

En el caso de ventilación mecánica el coste se incrementará al tener que colocar un extractor.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a un edificio que ya dispone de una cámara sanitaria en la que se mejora la ventilación natural.

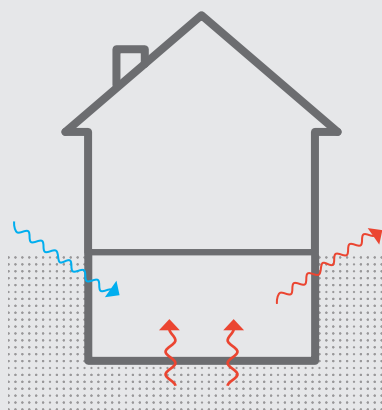
OBSERVACIONES

Zonas climáticas frías

Cuando se incremente la ventilación de cámaras de aire en zonas climáticas frías, será recomendable realizar un estudio específico del aislamiento térmico del cerramiento que separa la cámara y el local habitable colindante, para evitar pérdidas energéticas que aumenten el coste de climatización y reduzcan la eficiencia energética del edificio.

VENTILACIÓN DEL ESPACIO DE CONTENCIÓN: LOCALES NO HABITABLES

SOLUCIÓN B2



1. FINALIDAD

La ventilación de locales no habitables empleados como espacios de contención tiene como finalidad reducir la concentración de radón a la que los cerramientos de los locales habitables se encuentran expuestos. Se basa en favorecer mediante ventilación la expulsión del aire con alta concentración de radón de los locales no habitables y que no tienda a penetrar en los locales habitables.



El espacio de contención es un espacio situado entre el terreno y los locales a proteger que recibe el radón proveniente del terreno y que, mediante ventilación natural o mecánica, lo expulsa al exterior del edificio mitigando el paso de radón al interior de los locales habitables. Puede actuar como espacio de contención un local no habitable o una cámara de aire.



Los locales no habitables son los espacios del edificio en donde no hay permanencia habitual de personas como, por ejemplo, los aparcamientos o los trasteros.

En esta **Solución B2** únicamente se trata la ventilación de locales no habitables. La ventilación de las cámaras de aire utilizadas como espacio de contención se trata en la **Solución B1**.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará generalmente cuando el edificio ya disponga de un local no habitable que pueda

actuar como espacio de contención, por ejemplo, un garaje o una zona de almacenaje en plantas inferiores, y cuando las condiciones de ventilación de este local no sean adecuadas a la reglamentación de aplicación correspondiente: Código Técnico de la Edificación (CTE, sección DB HS3) o Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). El problema más habitual es que los caudales de ventilación sean insuficientes, aunque también pueden darse otros como, por ejemplo, la presencia de zonas de aire estancado.



El Código Técnico de la Edificación (CTE) en la sección DB HS3 Calidad del aire interior establece las características básicas de ventilación para obtener una adecuada calidad del aire en el interior de las viviendas, los almacenes de residuos y los trasteros (en edificios de viviendas) y los aparcamientos y garajes. Por su parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) hace lo propio para otros tipos de edificios.

Cuando los caudales de ventilación existentes se adecúen a la reglamentación será necesario realizar un estudio específico para determinar la viabilidad de esta solución. Un aumento de caudales de ventilación podría conllevar un incremento de las pérdidas energéticas de los locales habitables colindantes (y una reducción de la eficiencia energética); así como llevar aparejado, dependiendo del sistema de ventilación empleado, depresiones que fomenten la entrada de radón.

3. EFECTIVIDAD

La ventilación de locales no habitables que actúan como espacio de contención es una de las soluciones

⁽¹⁾ Se ha considerado un edificio en el que se mejora la ventilación natural en el local no habitable

más efectivas. No obstante, para que esta efectividad sea óptima, se recomienda su empleo junto con otras soluciones como la barrera de protección frente al radón (Solución A1 y Solución A1.1) o el sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (Solución A2), especialmente para concentraciones de radón medidas en los locales habitables superiores a 600 Bq/m³.

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos de paso que conecten estos locales no habitables con locales habitables, como puedan ser puertas de sótano o de garajes. En este caso será necesario que las puertas sean poco permeables al aire según lo detallado en la Solución A3.

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se medirá la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

La mejora de la ventilación es una solución sencilla que no requiere un grado de especialización alto, aunque sí lo requerirá en el caso de la instalación de un nuevo sistema de ventilación.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Esta solución consistirá en ventilar adecuadamente los locales no habitables.

La ventilación podrá mejorarse de distintas formas como, por ejemplo, incrementando los caudales u optimizando la distribución de las aberturas de ventilación para evitar zonas de estancamiento de aire.

La ventilación del local se podrá realizar de forma natural o mecánica, con los condicionantes que se recogen a continuación.

a) Ventilación natural

Cuando el local esté situado por encima de la cota exterior (en planta baja o semisótano), podrá mejorarse la ventilación disponiendo rejillas, aireadores en las ventanas o en las fachadas, o sustituyendo las ventanas existentes por otras con aireador o con un sistema de apertura que permita la microventilación (Figura 1).

b) Ventilación mecánica

Cuando se refuerce la ventilación de forma mecánica para mejorar su efectividad, podrá mecanizarse solo la extracción o la extracción y la impulsión (Figura 2).

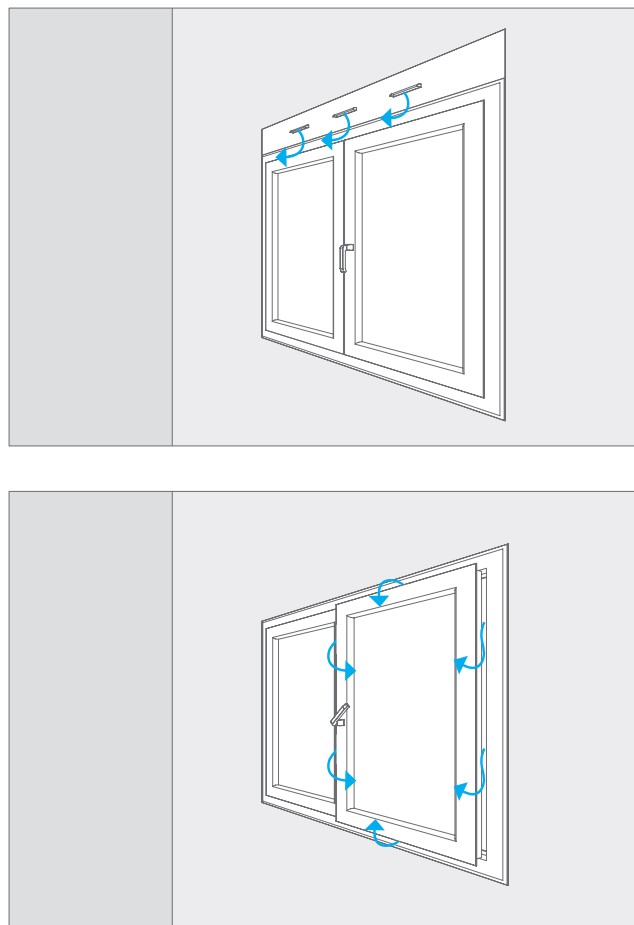


Figura 1 - Ventana con aireador (arriba) y ventana oscilobatiente en posición de microventilación (abajo)

Es recomendable que el extractor se disponga en el exterior del edificio (Figura 2) para, por un lado, limitar el riesgo de entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas y por otro, proteger a los usuarios del ruido. En el caso de que se coloque el extractor en el interior del edificio (Figura 3), es preferible que se ubique en un espacio no habitable (por ejemplo, el propio local no habitable) y próximo al exterior, de forma que la longitud del conducto desde el extractor hasta el exterior sea lo más corta posible.

Cuando se disponga un conducto de extracción que lleve el aire desde el local hasta el exterior, el conducto podrá discurrir por el interior del edificio o por el exterior (Figura 2), siendo esta última disposición la más recomendable para evitar la entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas en el propio conducto o en el encuentro con el forjado.

Si fuese inevitable atravesar el forjado con algún conducto, los encuentros con los conductos se tratarán como se indica en la [Solución A2](#) o en la [Solución A1.1](#), según corresponda.

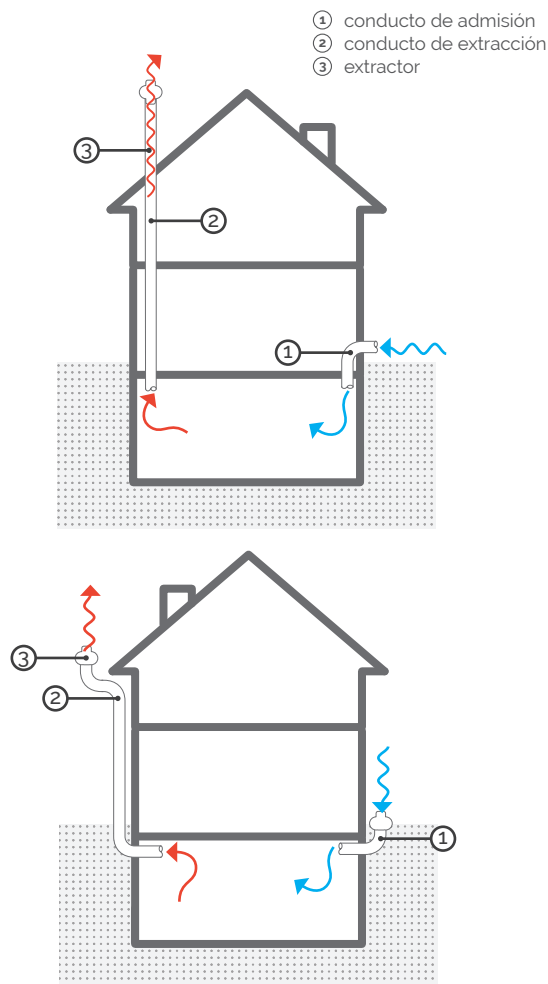


Figura 2 - Mecanización solo de la extracción (arriba) y de admisión y extracción (abajo). Conducto de extracción por el interior del edificio (arriba) y por el exterior (abajo). Conducto de admisión que atraviesa (arriba) y que no atraviesa el forjado (abajo)

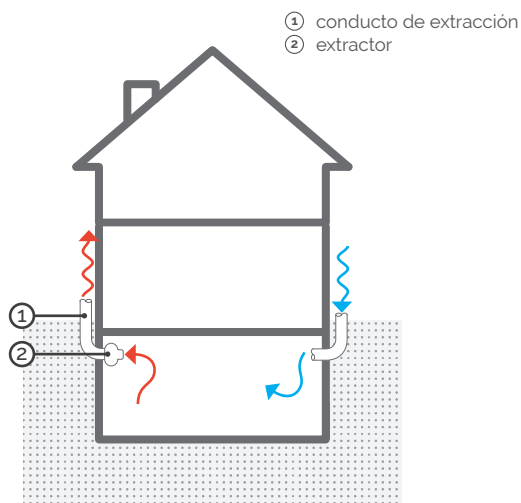


Figura 3 - Extractor en local no habitable



Podrá ser necesario disponer una derivación o un by-pass en el conducto de extracción (Figura 4) que permita evacuar el agua de condensación y filtración protegiendo el extractor de posibles averías.

La expulsión de aire se situará en la cubierta del edificio, aunque podrá emplazarse en la fachada siempre y cuando se respete una distancia de al menos 3 m a las entradas de aire, puertas, ventanas y zonas donde pueda haber personas de forma habitual, como terrazas y balcones.

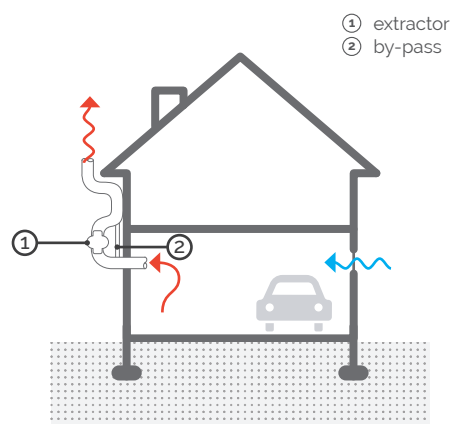


Figura 4 - By-pass del extractor en el conducto de extracción. Ejemplo de admisión natural por fachada y extracción mecánica.



Los extractores situados en el exterior del edificio serán resistentes a la intemperie o se protegerán con algún elemento adicional.

Podría emplearse un medidor de radón electrónico conectado al extractor, de forma que lo active cuando las concentraciones de radón superen un nivel determinado, evitando así su funcionamiento continuo y prolongando su vida útil.

6. PUNTOS CRÍTICOS

Reducción del caudal de ventilación

En el caso de que el caudal de ventilación se reduzca, la efectividad de la solución podría quedar mermada. La reducción puede producirse, por ejemplo, porque los ocupantes de los edificios cierran las aberturas de ventilación. Para evitarlo se informará a los ocupantes de que las aberturas de ventilación tendrán que permanecer abiertas para un buen funcionamiento de la solución.

Escasa admisión en ventilación mecánica

En el caso de ventilación mecánica podría producirse una depresión que favorezca la entrada de radón desde el terreno a los locales o una sobrepresión que facilite el flujo de aire desde el local no habitable hacia el local habitable. Para evitar estos efectos:

- será preferible que la ventilación sea de doble flujo (mecanizando la extracción y la impulsión de aire) y equilibrada, de forma que ambos caudales estén compensados;
- cuando sólo se mecanice la extracción, las aberturas de admisión de aire serán suficientemente generosas para favorecer la entrada de aire a través de ellas.

7. COSTE

El coste puede variar dependiendo del tipo de intervención y de la situación existente. Las intervenciones, de menor a mayor coste asociado, pueden ser:

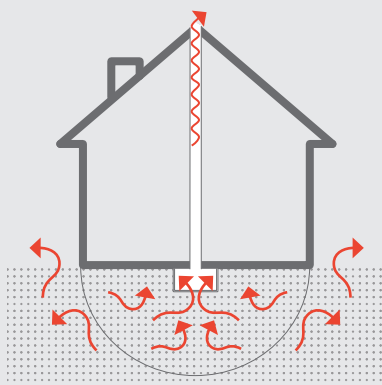
- ventilación natural del local no habitable;
- disposición de un sistema de extracción;
- instalación de un sistema de ventilación mecánico de doble flujo.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a un edificio en el que se mejora la ventilación natural en el local no habitable.

OBSERVACIONES

Zonas climáticas frías

Cuando se incrementa la ventilación de locales no habitables en zonas climáticas frías, será recomendable realizar un estudio específico del aislamiento térmico del cerramiento que separa el local no habitable y el local habitable colindante, para evitar pérdidas energéticas que aumenten el coste de climatización y reduzcan la eficiencia energética del edificio.



1. FINALIDAD

La despresurización del terreno tiene como finalidad reducir la concentración de radón a la que los cerramientos del edificio se encuentran expuestos. Se basa en producir una depresión en el terreno subyacente o colindante al edificio, de forma que se favorezca que el aire del terreno que contiene radón sea expulsado al exterior y no tienda a penetrar al interior del edificio.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará generalmente cuando la permeabilidad del sustrato existente sea lo suficientemente alta para que la efectividad del sistema sea adecuada o cuando sea posible disponer una capa de relleno permeable al aire bajo el cerramiento del edificio.

3. EFECTIVIDAD

La despresurización del terreno es una de las soluciones más efectivas, aunque será necesario su empleo junto con una barrera de protección frente al radón ([Solución A1](#) y [Solución A1.1](#)) o, si no es posible, al menos junto al sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas ([Solución A2](#)).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se medirá la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

Es una solución que requiere un grado de especialización muy alto puesto que la garantía de su efectividad depende de un adecuado diseño y dimensionado.



La efectividad de esta solución depende en gran medida de la permeabilidad del sustrato en contacto con el edificio y de la estanqueidad del cerramiento en contacto con el terreno. Para que su efectividad sea la óptima, la permeabilidad del sustrato y la estanqueidad del cerramiento tienen que ser altas.

Una de las mayores dificultades radica en asegurar que el radio de acción de la despresurización generada alcance toda la planta o muro a proteger teniendo en cuenta las características del sustrato y la presencia de zonas poco permeables y obstáculos al flujo del aire como rocas, muretes de cimentación o zapatas.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Se dispondrán uno o varios elementos de captación bajo la solera o tras los muros de sótano conectados a un conducto de extracción comunicado con el exterior que, con la ayuda de un extractor, produzca una despresurización que permita la evacuación al ambiente exterior de los gases del terreno. Para que sea posible captar y extraer el gas radón, los elementos de captación se dispondrán en una capa permeable, que podrá ser el propio terreno si tiene una permeabilidad adecuada o, en caso contrario, una capa de relleno (Figura 1).

Cuando no sea viable disponer los elementos de captación bajo la solera se podrán colocar en el perímetro del edificio. En este caso la eficiencia se podrá ver mermada significativamente.

(1) Se ha considerado la disposición de una red de tubos perforados con capa de relleno y solera

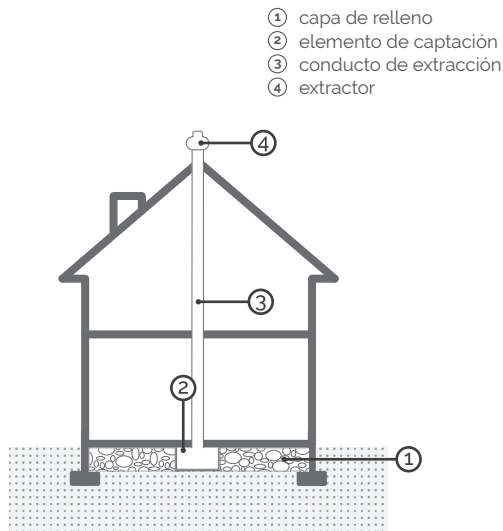


Figura 1 - Componentes del sistema

Un técnico especialista determinará la distribución en planta y el número de los elementos de captación basándose en el estudio de la cimentación del edificio y la permeabilidad al aire del sustrato.

Si fuese necesario reforzar la despresurización se dispondrán más elementos de captación o se aumentará la potencia del extractor.

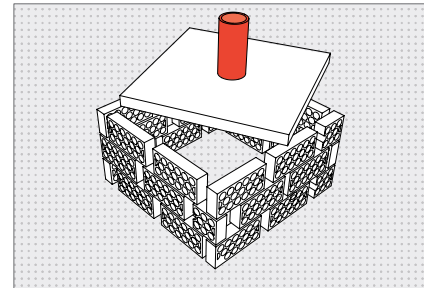
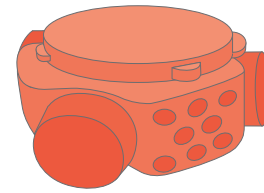
a) Elementos de captación

Los elementos de captación son elementos con muy elevada permeabilidad al aire cuya función es la de facilitar la entrada del gas desde el terreno o la capa de relleno a su interior y facilitar así su concentración y evacuación por el conducto de extracción. Podrán consistir en arquetas o tubos.

Arquetas

Podrán emplearse (Figura 2):

- arquetas prefabricadas, generalmente de materiales plásticos;
- arquetas de obra, consistentes en un paralelepípedo con tabiques palomeros de ladrillo perforado, apoyado directamente sobre el terreno, y con una tapa capaz de aguantar el peso de los elementos que se dispongan encima;
- pequeños vaciados realizados en el terreno o en la propia capa de relleno.



① vaciado
② conducto de extracción

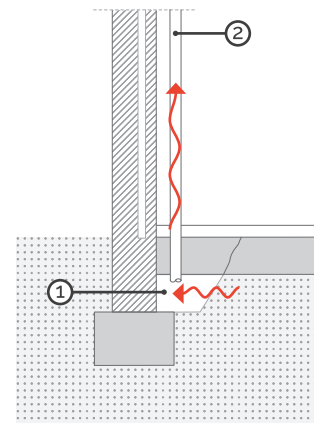


Figura 2 - Distintos tipos de arqueta: prefabricada (arriba), de obra de ladrillo (centro) y realizada con un pequeño vaciado (abajo)



Cuando se emplee un vaciado como elemento de captación se evitarán los desprendimientos del terreno o de la capa de relleno y cuando se construya la solera se protegerá para que se mantenga su volumen libre.

Red de tubos perforados

La red de tubos perforados se podrá colocar mediante excavación (Figura 3) o se podrá introducir o hincar.

Los tubos pueden ser de distintos materiales según su forma de colocación:

- mediante excavación: tubos de plástico, goma o elementos prefabricados de cerámica, hormigón o gres;

- mediante hincado: tubos resistentes como pueden ser tubos de plástico rígidos, de acero con una protección plástica o de acero inoxidable.

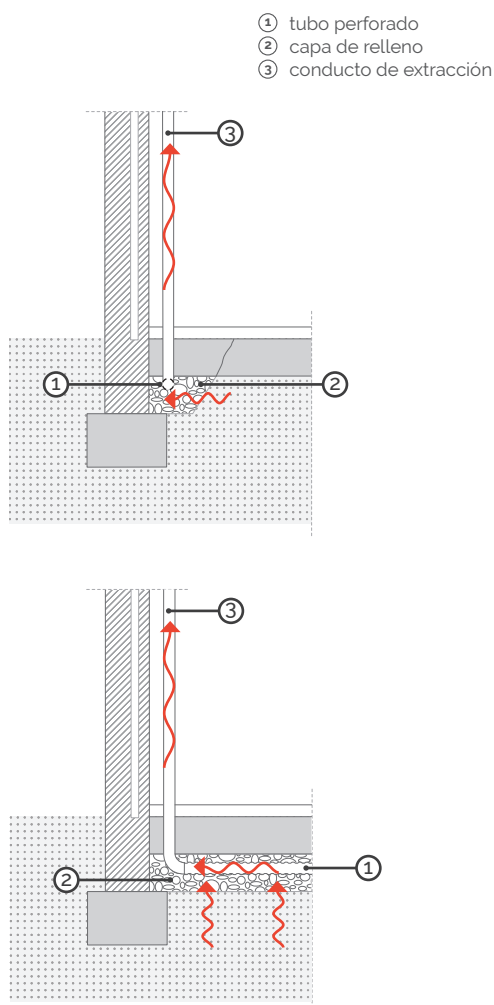


Figura 3 - Tubo perforado instalado mediante excavación. Sección transversal (arriba) y sección longitudinal (abajo)

b) Capa de relleno

La función de la capa de relleno es facilitar la circulación de los gases a través de ella desde el terreno hasta los elementos de captación: arquetas y tubos. La capa de relleno es especialmente necesaria cuando la permeabilidad del terreno bajo la solera no es elevada.

Suele estar compuesta por una capa de grava (Figura 4).



Es recomendable la disposición de una capa separadora filtrante que impida la entrada de la grava en los elementos de captación, como pueda ser un geotextil.

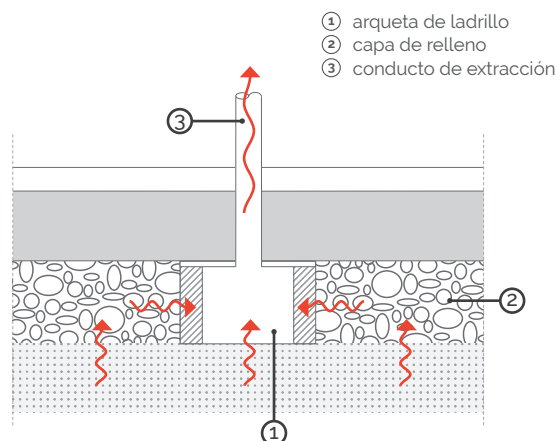


Figura 4 - Capa de relleno alrededor de arqueta de captación

c) Conducto de extracción

La función del conducto de extracción es conducir el radón desde los elementos de captación hasta el exterior.

Un mismo conducto podrá prestar servicio a varios elementos de captación.

El conducto podrá discurrir por el interior del edificio o por el exterior (Figura 5), siendo esta última disposición la más recomendable para evitar la entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas en el propio conducto o en el encuentro con el forjado.

Si fuese inevitable atravesar el forjado, los encuentros con los conductos se tratarán como se indica en la [Solución A2](#) o en la [Solución A1.1](#), según corresponda.

La expulsión de aire se situará en la cubierta del edificio, aunque podrá emplazarse en la fachada siempre y cuando se respete una distancia de al menos 3 m a las entradas de aire, puertas, ventanas y zonas donde pueda haber personas de forma habitual, como terrazas y balcones.



El conducto tendrá uso exclusivo para la extracción de radón, no pudiéndose compartir con la extracción de aire de locales ni de humo de aparatos de combustión.

d) Extractor

La función del extractor es aumentar la potencia de extracción con respecto a la que se obtendría de forma natural, incrementando así el radio de acción de la despresurización y la eficiencia del sistema.

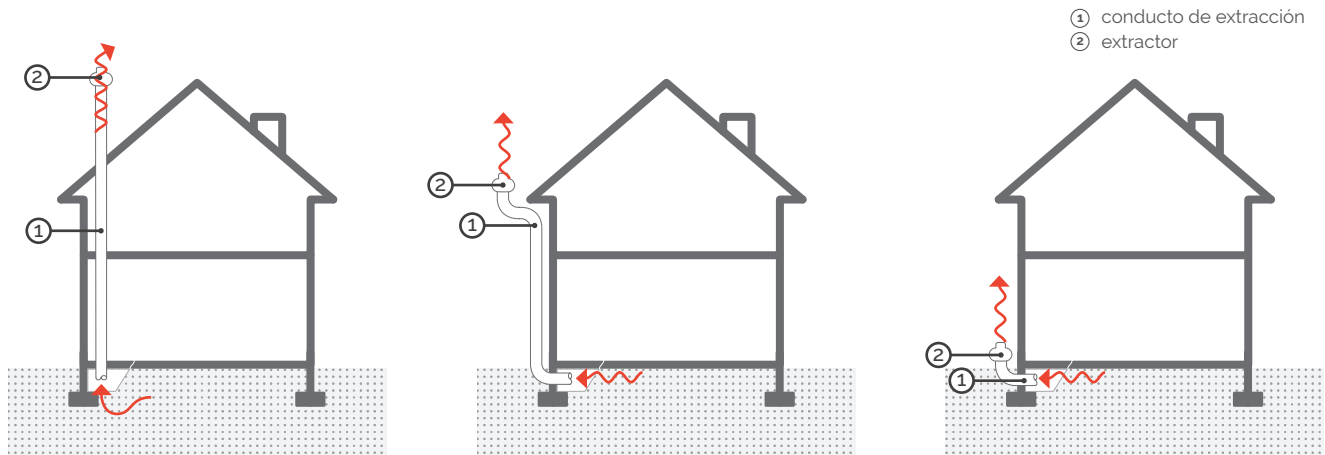


Figura 5 - Conducto de extracción a cubierta por el interior del edificio (izda.) y por el exterior (centro) y a fachada (drcha.)

Generalmente, un sistema natural de extracción no será capaz de extraer de forma eficiente el radón y, por lo tanto, garantizar las concentraciones de radón adecuadas.

Es recomendable que el extractor se disponga en el exterior del edificio (Figura 5) para, por un lado, limitar el riesgo de entrada de radón en el interior del edificio en caso de fugas y por otro, proteger a los usuarios del ruido. En el caso de que se coloque el extractor en el interior del edificio, es preferible que se ubique en un local no habitable (Figura 6) próximo al exterior de forma que la longitud del conducto desde el extractor hasta el exterior sea lo más corta posible.

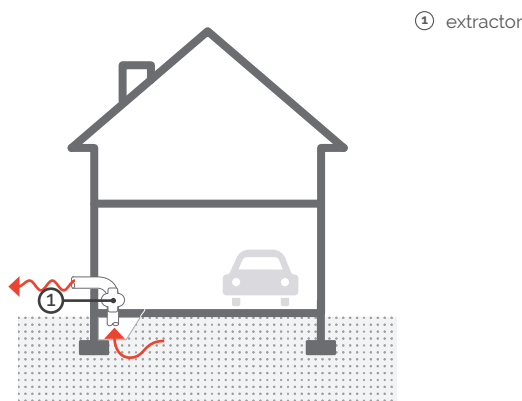


Figura 6 - Extractor en local no habitable



Los extractores situados en el exterior del edificio serán resistentes a la intemperie o se protegerán con algún elemento adicional.

Podría emplearse un medidor de radón electrónico conectado al extractor, de forma que lo active cuando las concentraciones de radón superen un nivel determinado, evitando así su funcionamiento continuo y prolongando su vida útil.

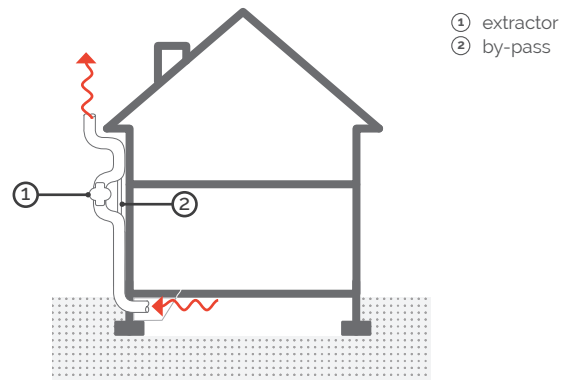


Figura 7 - By-pass del extractor en el conducto de extracción



Podrá ser necesario disponer en el conducto una derivación o un by-pass en el conducto de extracción que permita evacuar el agua de condensación y filtración protegiendo el extractor de posibles averías (Figura 7).

6. PUNTOS CRÍTICOS

Falta de estanqueidad del cerramiento

En el caso de que el cerramiento entre el sustrato y el interior del edificio no sea lo suficientemente estanco, la despresurización del terreno podría producir distintos efectos no deseados como:

- generar una depresión en el interior del edificio potenciando la entrada de radón desde el terreno;

- disminuir el radio de acción de la despresurización;
- extraer el aire climatizado del interior del edificio con la consiguiente pérdida energética.

Para evitarlo será indispensable realizar un cuidadoso sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (Solución A2) y conveniente disponer una barrera frente al radón (Solución A1) (Figura 8).

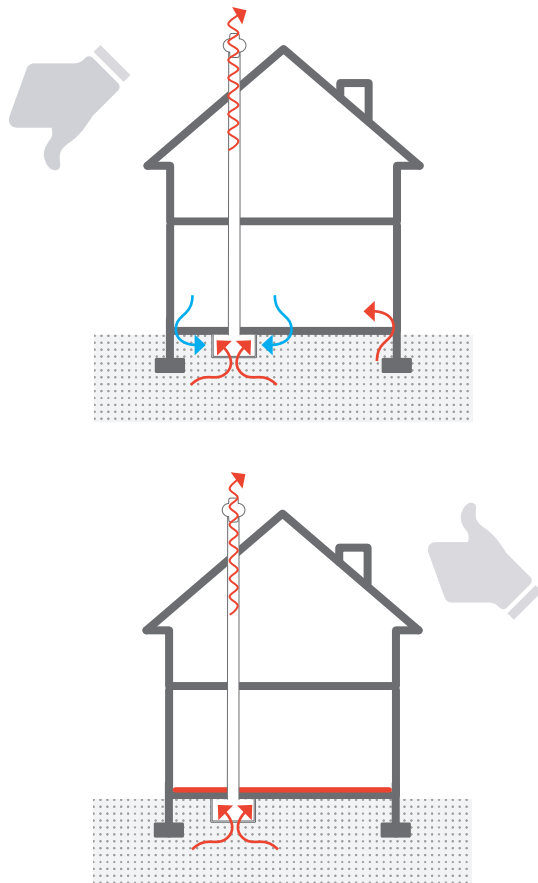


Figura 8 - Disposición de barrera para un correcto funcionamiento

Obstáculos en el sustrato

Cuando existan diferentes zonas en el sustrato separadas por muretes de cimentación u otros obstáculos que supongan un impedimento al flujo de los gases del terreno hacia los elementos de captación (Figura 9), será necesaria la instalación de elementos de captación en todas las zonas o la apertura de huecos de comunicación en los obstáculos para permitir el paso de los gases de una zona a otra.

7. COSTE

El coste, aun siendo relativamente alto debido a la complejidad de su ejecución, puede variar sustancialmente dependiendo del tipo de intervención y de

la situación existente. Las intervenciones, de menor a mayor coste asociado, pueden ser:

- instalación de arquetas de captación, si ya se dispone de capa de relleno o terreno permeable;
- instalación de tubos perforados mediante excavación, si ya se dispone de capa de relleno o terreno suficientemente permeable;
- instalación de tubos perforados o arquetas mediante excavación, con capa de relleno y solera nuevas;
- instalación de tubos perforados mediante hincado o perforación.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a un sistema de despresurización mediante tubos, habiéndose dispuesto capa de relleno y solera nuevas.

- ① elemento de captación
- ② conducto de extracción
- ③ hueco de comunicación

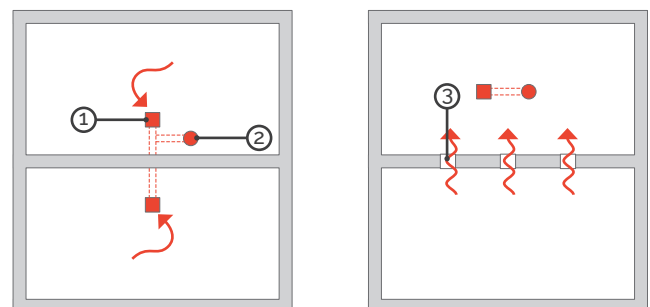


Figura 9 - Instalación de elementos de captación (izda.) y apertura de huecos (drcha.) en caso de obstáculos

OBSERVACIONES

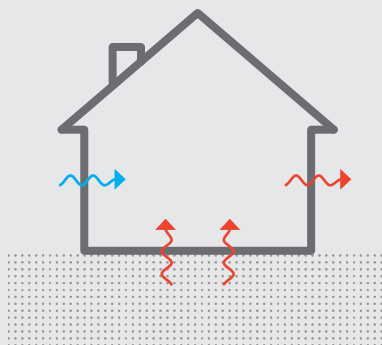
Necesidad de un técnico especialista

Debido a la complejidad de esta solución, es fundamental contar con un técnico especialista para que realice un diagnóstico de la situación existente y un diseño adecuado de la solución.

Como ya se ha destacado, la despresurización será efectiva solo si alcanza toda la planta o muro a proteger. Para ello será necesario un diseño y dimensionado adecuado del sistema de acuerdo con el sustrato existente. La situación óptima sería que el sustrato fuera permeable al aire y homogéneo en toda la superficie. Sin embargo, en la mayoría de los casos los sustratos son poco permeables y presentan obstáculos al flujo de los gases como rocas, muretes de cimentación o zapatas.

VENTILACIÓN DE LOS LOCALES HABITABLES

SOLUCIÓN
C1



1. FINALIDAD

La ventilación de los locales habitables tiene como finalidad reducir la concentración de radón en su interior. Se basa en favorecer mediante ventilación la expulsión de radón de los locales habitables al exterior.



Los locales habitables son las estancias del edificio en donde permanecen las personas de forma habitual como, por ejemplo, en las viviendas, los dormitorios, las salas de estar, las cocinas y los baños.

2. CUÁNDO SE UTILIZA

Esta solución se empleará cuando las condiciones de ventilación de los locales habitables no sean adecuadas a la reglamentación de aplicación correspondiente: Código Técnico de la Edificación (CTE, sección DB HS3) o Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). El problema más habitual es que los caudales de ventilación sean insuficientes, aunque también pueden darse otros como, por ejemplo, que el flujo de circulación del aire dentro de una vivienda se produzca desde los locales húmedos a los secos, que se presenten zonas de aire estancado, etc.



El Código Técnico de la Edificación (CTE) en la sección DB HS3 Calidad del aire interior establece las características básicas de ventilación para obtener una adecuada calidad del aire en el interior de las viviendas, los almacenes de residuos y los trasteros (en edificios de viviendas) y los aparcamientos y garajes. Por su parte, el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) hace lo propio para otros tipos de edificios.

Cuando los caudales de ventilación existentes se adecúan a la reglamentación, en general se desaconseja el empleo de esta solución puesto que el aumento de caudales de ventilación conllevará en la mayoría de los casos un incremento de las pérdidas energéticas de los locales (y consecuente reducción de la eficiencia energética); así como puede llevar aparejado, dependiendo del sistema de ventilación empleado, depresiones que fomenten la entrada de radón, molestias por corrientes de aire y ruido y desequilibrios en los flujos de ventilación.

3. EFECTIVIDAD

La ventilación de los locales habitables es una solución efectiva cuando la concentración de radón medida en su interior es inferior a 600 Bq/m³, sobre todo si es cercana a 300 Bq/m³. En cualquier caso, se recomienda combinar la ventilación con otra solución, como las basadas en el aislamiento descritas en la [Solución A1](#), [Solución A1.1](#) y [Solución A2](#) o las basadas en la reducción del radón antes de que penetre en los locales habitables descritas en la [Solución B1](#), [Solución B2](#) y [Solución B3](#).

Su efectividad podrá verse afectada si existen elementos de paso que conecten estos locales habitables con locales no habitables, como puedan ser puertas de sótano o de garajes, o con cámaras de aire. En este caso será necesario que la puerta o trampilla sea poco permeable al aire según lo detallado en la [Solución A3](#).

Para comprobar si la efectividad de la solución es adecuada, se recomienda medir la concentración de radón alcanzada dentro de los locales habitables tras la intervención.

(1) Se ha considerado la instalación de un sistema de ventilación completo nuevo

4. DIFICULTAD DE INSTALACIÓN

La mejora de la ventilación es una solución sencilla que no requiere un grado de especialización alto, aunque sí lo requerirá en el caso de la instalación de un nuevo sistema de ventilación.

5. CÓMO SE CONSIGUE

Esta solución consistirá en ventilar adecuadamente los locales habitables. La forma de conseguirlo dependerá del sistema de ventilación existente y del alcance de la intervención que se vaya a realizar: mejorando la ventilación de forma natural, mejorando la ventilación de forma mecánica o incluso, en el caso de que se vaya a realizar una rehabilitación integral, instalando un sistema de ventilación completamente nuevo adecuado a la reglamentación correspondiente (Figura 1).

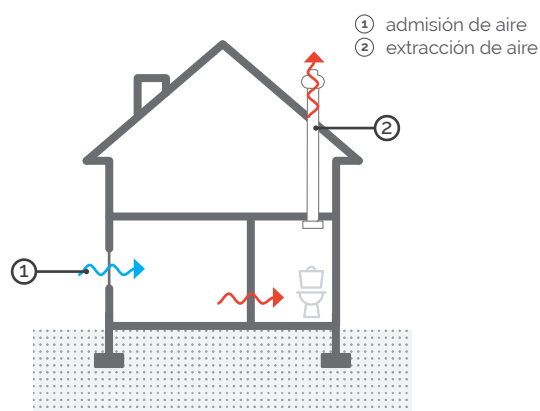


Figura 1 - Admisión y extracción de aire en una vivienda

La ventilación podrá mejorarse de distintas formas como, por ejemplo, incrementando los caudales hasta alcanzar un nivel acorde a la reglamentación correspondiente ya mencionada u optimizando la distribución de las aberturas de ventilación para evitar zonas de estancamiento del aire.



El cumplimiento de la reglamentación vigente en relación a la calidad del aire interior no tiene por qué garantizar por sí solo que se alcancen niveles de concentración de radón aceptables.

La ventilación del local se podrá realizar de forma natural o mecánica, con los condicionantes que se recogen a continuación.

a) Ventilación natural

Podrá mejorarse la ventilación disponiendo aireadores en las ventanas o en las fachadas o sustituyendo las ventanas existentes por otras con aireador o con un sistema de apertura que permita la microventilación (Figura 2).

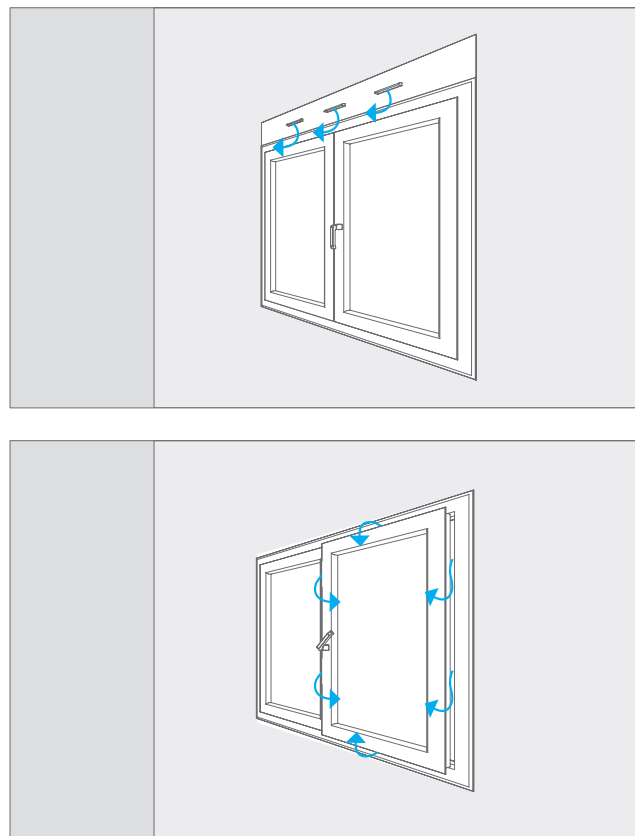


Figura 2 - Ventana con aireador (arriba) y ventana oscilobatiente en posición de microventilación (abajo)

b) Ventilación mecánica

Cuando se refuerce la ventilación de forma mecánica para mejorar su efectividad, podrá mecanizarse solo la extracción o la extracción y la impulsión.

Cuando se trate de viviendas construidas con anterioridad a 2006, en las que suele ser habitual encontrar shunts cuya extracción funciona exclusivamente por tiro térmico y/o por efecto del viento, podrá mejorarse la extracción con la instalación de un extractor híbrido o mecánico (Figura 3). El extractor híbrido permitirá que el sistema funcione de forma natural cuando sea posible y que cuando se den condiciones climatológicas desfavorables, como ausencia de viento o de inversión térmica, el sistema funcione de forma mecánica.

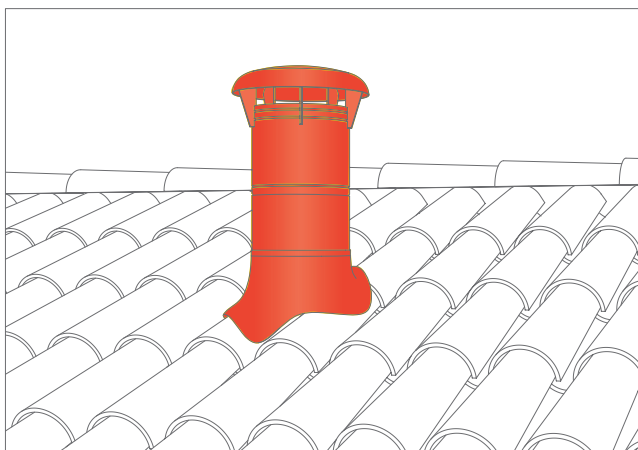


Figura 3 - Extractor mecánico en cubierta



El shunt es un conducto vertical que comunica los baños y la cocina de la vivienda con el exterior del edificio hasta la cubierta extrayendo el aire viciado.



El tiro térmico es el movimiento natural del aire producido por la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del edificio que hace que el aire caliente menos denso ascienda. De esta forma, en invierno, el aire de los locales calefactados tiende a ascender por el shunt y salir al exterior. La inversión térmica se produce cuando la temperatura en el interior del edificio es inferior a la del exterior.

La expulsión de aire se situará en la cubierta del edificio, aunque podrá emplazarse en la fachada siempre y cuando se respete una distancia de al menos 3 m a las entradas de aire, puertas, ventanas y zonas donde pueda haber personas de forma habitual, como terrazas y balcones.

6. PUNTOS CRÍTICOS

Ubicación del extractor en un tramo intermedio

En el caso de que se instale un extractor en un tramo intermedio o al principio de un shunt colectivo (que da servicio a distintos locales húmedos), el aire extraído cargado de radón y del resto de contaminantes podría introducirse al resto de locales a los que da servicio el shunt por las propias aberturas de extracción (Figura 4).

Para evitarlo los extractores se situarán en cubierta o, en todo caso, tras la incorporación del último ramal al shunt.

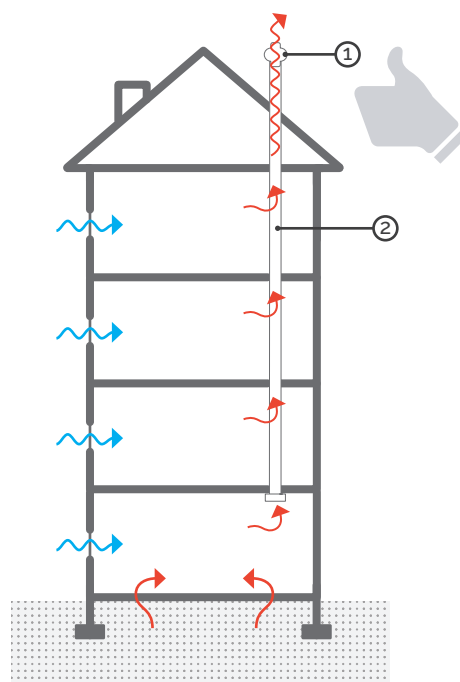
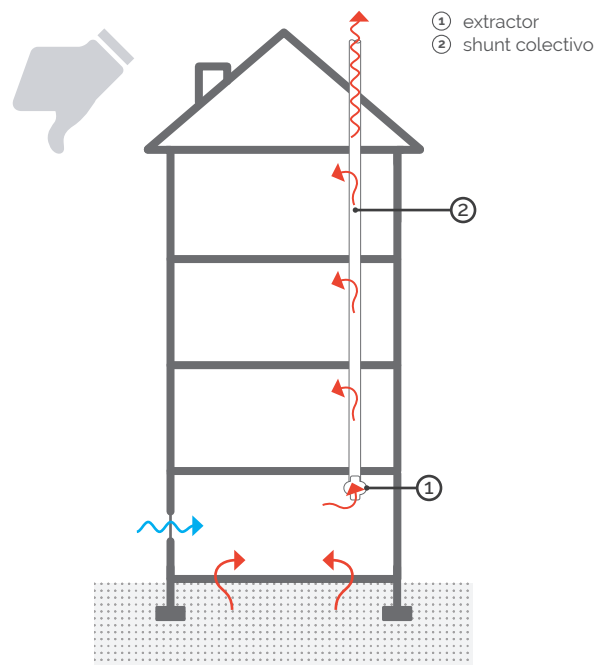


Figura 4 - Sistema de ventilación con extractor al principio del shunt colectivo (arriba) y en cubierta (abajo)

También en el caso de un shunt individual (que da servicio a un solo local húmedo) el extractor se dispondrá en la cubierta para evitar la introducción del aire extraído cargado de radón al interior del edificio, en este caso, a través de posibles fugas en el shunt (Figura 5).

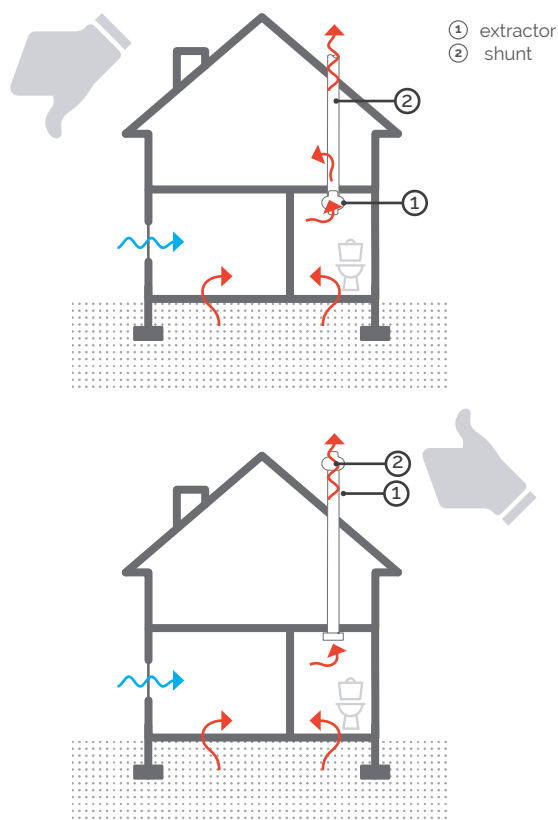


Figura 5 - Sistema de ventilación con extractor al principio del shunt individual (arriba) y en cubierta (abajo)

Accionamiento del extractor de forma intermitente

No es conveniente utilizar extractores con funcionamiento intermitente enclavados al interruptor de la luz o con detector de presencia, puesto que la ventilación proporcionada podría ser insuficiente para mantener una concentración de radón adecuada.

Reducción del caudal de ventilación

En el caso de que el caudal de ventilación se reduzca la efectividad de la solución podría quedar mermada. La reducción puede producirse, por ejemplo, porque:

- los ocupantes de los edificios cierran las aberturas de ventilación; o
- las ventanas que funcionaban como aberturas de ventilación se sustituyan, para intentar conseguir mejores prestaciones acústicas y térmicas, por otras con una menor permeabilidad al aire.

Para evitar estos efectos:

- se informará a los ocupantes de que las aberturas de ventilación tendrán que permanecer abiertas para un buen funcionamiento de la solución;

- se realizará alguna actuación complementaria a la sustitución de las ventanas como la instalación de aireadores en las ventanas o en las fachadas o la instalación de ventanas con un sistema de apertura que permita la microventilación.

Escasa admisión en ventilación mecánica

En el caso de ventilación mecánica cuando sólo se mecanice la extracción, si la dimensión o el número de las aberturas de admisión de aire existentes es insuficiente, podría producirse una depresión que favorezca la entrada de radón desde el terreno a los locales. Para evitarlo, las aberturas de admisión de aire serán suficientemente generosas para favorecer la entrada de aire (Figura 6).

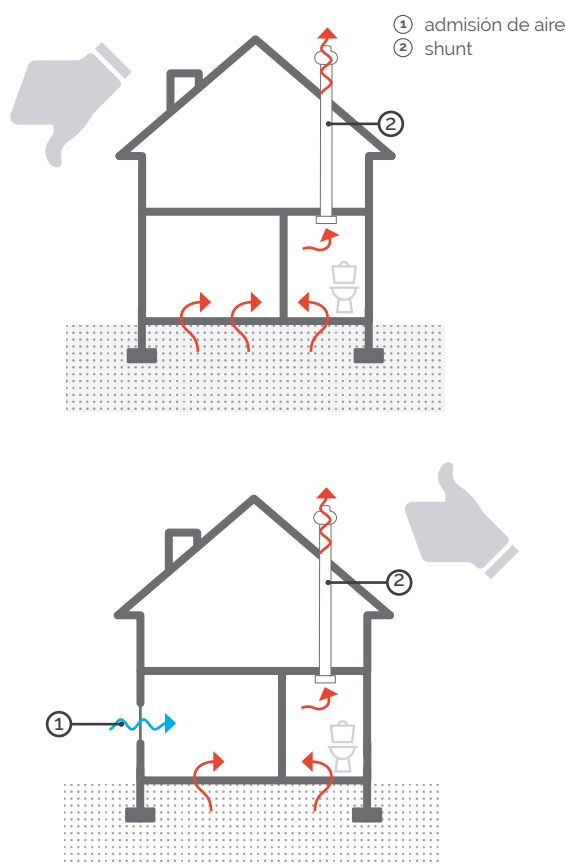


Figura 6 - Sistema de ventilación sin (izda.) y con (dcha.) apertura de admisión de aire exterior

7. COSTE

El coste puede variar sustancialmente dependiendo del tipo de intervención, no difiriendo del coste de un sistema habitual de ventilación.

El coste que se ha tenido en cuenta en la gráfica al comienzo de esta ficha es el correspondiente a la

instalación de un sistema de ventilación completo nuevo, para representar el caso más costoso.

OBSERVACIONES

La ventilación tradicional de las viviendas como método para eliminar el radón

La ventilación tradicional de las viviendas, entendida como aquella basada en la apertura puntual de las ventanas una vez al día durante unos minutos, no se considera suficiente en los edificios actuales para obtener una adecuada calidad del aire interior. Esto es debido a que el aumento de la estanqueidad de los cerramientos, en general, y de las ventanas en particular para la mejora de la eficiencia energética o del aislamiento acústico, reduce las infiltraciones de aire que ventilaban a lo largo de todo el día las viviendas y que reforzaban la ventilación puntual. Tras una ventilación puntual comienzan a acumularse los distintos contaminantes que proceden del propio edificio y su uso, así como los provenientes del terreno como el radón (Figura 7). La apertura puntual de ventanas, por tanto, ayuda a eliminar el radón en ese período de tiempo pero, por regla general, no es suficiente para mantener una concentración de radón adecuada a lo largo del día

cuando se emplea la ventilación del propio local como solución.

La ventilación de las viviendas según la reglamentación vigente como método para eliminar el radón

La ventilación de viviendas según la reglamentación vigente debe ser continua, aunque el caudal fluctúe, de forma que los contaminantes producidos a lo largo del día se puedan extraer constantemente. Esto permite mantener una calidad del aire mejor que la correspondiente a la ventilación tradicional descrita anteriormente.

Sin embargo, es importante señalar que en casos de niveles de radón altos es probable que sea necesario un caudal de ventilación superior al mínimo derivado del cumplimiento de la reglamentación vigente. Este elevado caudal de ventilación podría llevar aparejado los inconvenientes mencionados en el apartado 2.

Eliminación de los shunts

La eliminación o bloqueo de un tramo de shunt colectivo en una vivienda es una acción muy grave que supone, por un lado la supresión de la ventilación de las viviendas inferiores (Figura 8) y por otro, una disminución de la ventilación de las viviendas superiores, produciendo un detrimento de su calidad del aire y un aumento de su concentración de radón.

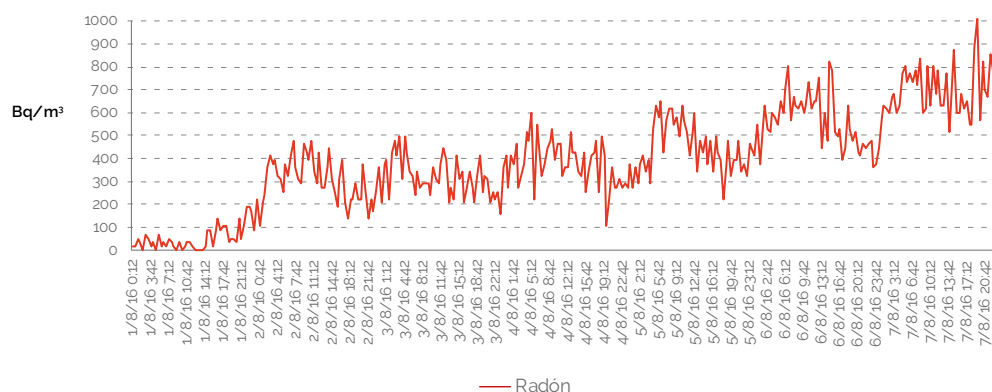


Figura 7 - Acumulación de radón a lo largo de una semana en una vivienda con ventilación puntual el primer día

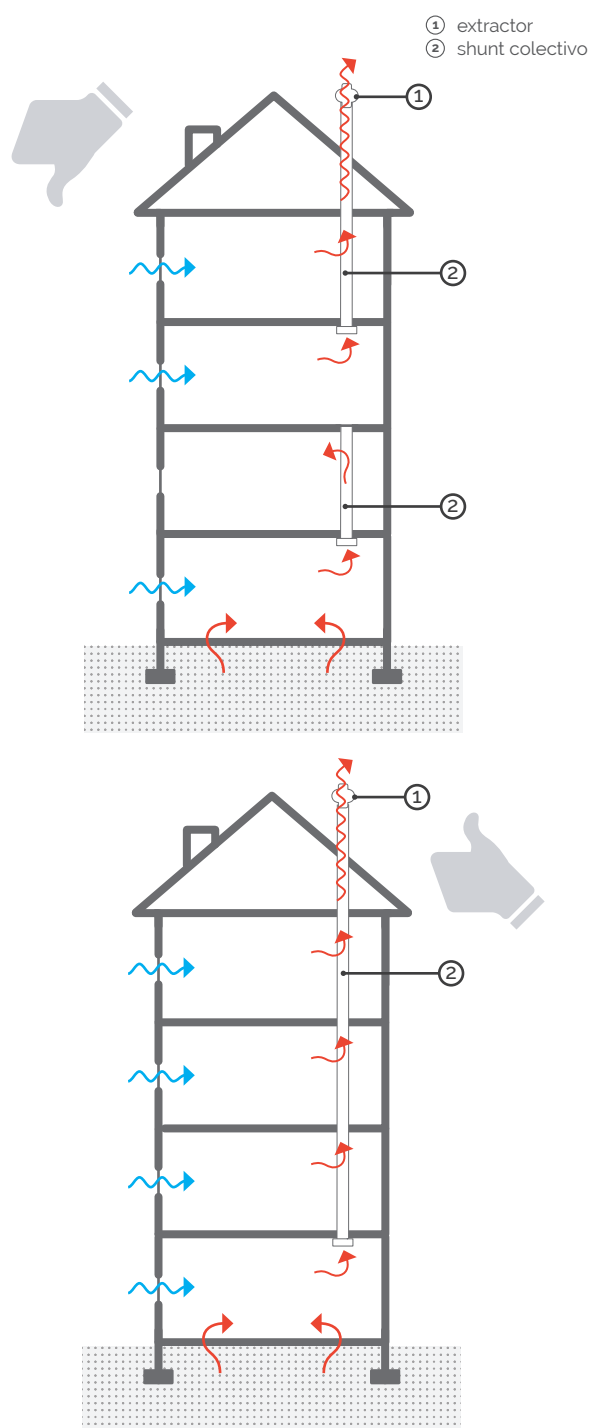
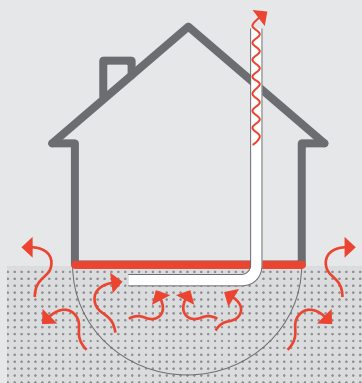


Figura 8 - Shunt colectivo interrumpido (arriba) y continuo (abajo)

BARRERA FRENTE AL RADÓN + DESPRESURIZACIÓN CON RED DE TUBOS

EJEMPLO A1+B3



1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

- Uso: Residencial.
- Clasificación del municipio según el DB HS6 en función del potencial de radón: Zona II.
- Superficie construida: 170 m².
- Superficie en contacto con el terreno: 85 m².
- Superficie construida bajo rasante: No.
- Tipo de ventilación: Natural a través de huecos de ventanas.
- Plantas y distribución: Dos plantas (Figura 1). En la planta baja se sitúan el garaje y un local habitable de usos diversos. En la planta primera se encuentran el resto de los locales habitables.
- Construcción: Estructura metálica. Fachadas de mampostería en planta baja y fábrica de ladrillo en primera planta. Solera en toda la superficie en planta.
- Tipo de terreno: Capa de relleno heterogénea, de espesor variable y poco compacta. Sustrato natural de granito alterado y rocas graníticas.
- Promedio anual de concentración de radón previo a la intervención: 1.170 Bq/m³.

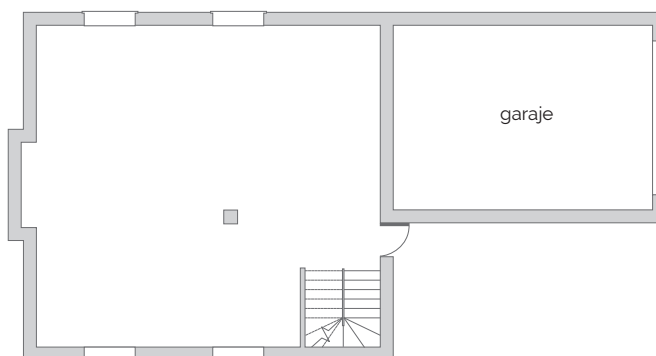


Figura 1 - Fachada y planta baja de la vivienda

2. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Las soluciones de protección más apropiadas según la tabla 2¹ de la **Guía de rehabilitación frente al radón** en el caso de la existencia de una **solera** para una concentración de radón existente mayor de 600 Bq/m³ son:

- barrera frente al radón con despresurización;
- sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas de la envolvente en contacto con el terreno con despresurización; o
- barrera frente al radón con disposición de una cámara de aire ventilada.

Según la propia Guía, estas soluciones se pueden complementar con la mejora de la ventilación de los locales habitables.



El mal estado del cerramiento en contacto con el terreno conduce a la elección de una solución basada en la disposición de una **barrera frente al radón** y la **despresurización del terreno**.

Entre estas posibilidades se considera la **barrera frente al radón (Solución A1 y Solución A1.1) con despresurización del terreno (Solución B3)** como la opción más adecuada por los siguientes motivos:

- el estado de la solera existente no es bueno, por lo que se considera oportuno su sustitución. Al introducir una nueva solera, no es técnicamente difícil disponer una barrera frente al radón de tipo lámina y una despresurización debajo de ella. Tampoco supone un coste excesivo en relación a su alta eficiencia; y
- la mejora de la ventilación de los locales habitables se descarta puesto que la ventilación existente se considera suficiente para asegurar la calidad del aire interior sin tener en cuenta el radón. Además, se quiere limitar el posible incremento de la demanda energética de climatización consecuencia de un aumento excesivo de la ventilación.

3. DIAGNÓSTICO

El objetivo de la **despresurización del terreno** es garantizar que la diferencia de presión entre el terreno y la vivienda sea negativa en toda la extensión del edificio en contacto con el terreno. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la capacidad de movilidad del aire en el sustrato bajo la solera.

El objetivo de la disposición de una **barrera frente al radón** es aislar el edificio lo máximo posible del terreno para evitar la entrada de radón y favorecer además la efectividad de la despresurización. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la situación existente basado en su inspección y evaluación, identificando los puntos críticos en los que la barrera podrá presentar discontinuidades. Además, es necesario evaluar la ventilación de los locales a proteger para la correcta selección de la barrera.

Movilidad del aire en el sustrato

El diagnóstico de la movilidad del aire en el sustrato incluye el estudio de la composición del sustrato para verificar que exista una capa que pueda ser potencialmente permeable al aire, la evaluación de la presencia de obstáculos y la estimación del radio de acción de la despresurización (a qué distancia puede asegurarse la extracción de los gases del terreno).

Al demoler y retirar la solera existente, se observa que el sustrato compactado no presenta una movilidad al aire adecuada, así como la presencia de un colector de aguas residuales y la zapata de cimentación de un pilar.

Puntos críticos en la barrera

Fruto de la inspección de la situación existente se identifican como puntos críticos que podrá tener la barrera en su ejecución la junta perimetral y los encuentros con un pilar y una bajante.

Ventilación del local

La ventilación está producida principalmente por las infiltraciones a través de las carpinterías, que son ventanas correderas de aluminio sin clasificación a permeabilidad al aire. Se considera de forma aproximada para el cálculo de la barrera un caudal de ventilación correspondiente a 0,4 renovaciones por hora.

4. DISEÑO

Se diseña un sistema de despresurización siguiendo las directrices indicadas en la **Solución B3** que consta

(1) Tabla 2. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de solera en función de la concentración de radón existente de la Guía de rehabilitación frente al radón.

de los siguientes elementos, tal y como se muestra en la Figura 2:

- un elemento de captación bajo la solera formado por una red de tubos perforados de 100 mm de diámetro (Figura 3);
- una capa de grava de 20-30 cm que envuelve la red de tubos y sustituye a la capa de relleno existente;
- una solera de hormigón con fibras de 10 cm de espesor;
- un conducto interior vertical de extracción de 100 mm de diámetro conectado a la red de tubos perforados y con la boca de expulsión situada en la fachada; y
- un extractor centrífugo de potencia aproximada 27 W situado en el conducto interior vertical; generalmente es preferible la colocación del extractor en el exterior del edificio, pero en este caso se opta por disponerlo en un armario de uso exclusivo.

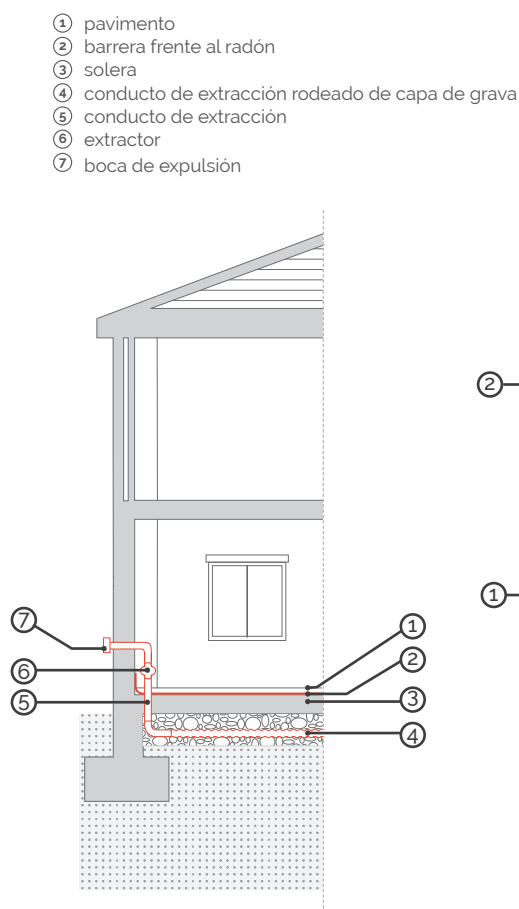


Figura 2 - Sección de la solución



Se opta por un sistema de despresurización del terreno mediante una **red de tubos perforados** bajo solera para garantizar una extensión adecuada de la despresurización con un diseño y ejecución más sencillo que con la disposición de varias arquetas.

Además, se prevé la disposición de una barrera frente al radón de tipo lámina que cubra la superficie de la solera correspondiente al local habitable, siguiendo las directrices indicadas en la **Solución A1** y la **Solución A1.1** en lo relativo al sellado de la junta perimetral y los encuentros con la bajante y el pilar.

La barrera a emplear es una lámina a base de poliolefina (FPO) para la protección, tanto frente al radón como a la humedad, de estructuras enterradas de hormigón armado (Figura 4). El espesor de la lámina es de 1,20 mm y su coeficiente de difusión del radón es de $2,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Se evalúa la idoneidad de esta lámina calculando la exhalación de radón con el espesor y el coeficiente de difusión mencionado y con la ventilación estimada del local, comprobándose que es inferior a la exhalación límite estipulada en el HS6.

Bajo la barrera se prevé una capa antipunzonante y sobre la barrera una nueva solera.

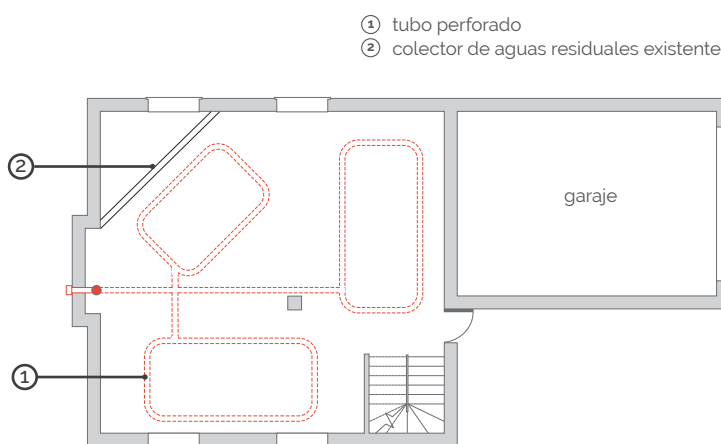


Figura 3 - Distribución de la red de tubos perforados

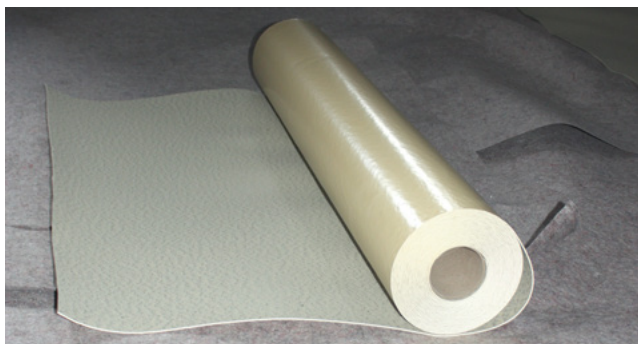


Figura 4 - Barrera frente al radón



Figura 6 - Instalación de los tubos perforados y de la capa de grava

5. EJECUCIÓN

Las siguientes figuras muestran las etapas más relevantes de la ejecución de la obra:

- la demolición de la solera existente (Figura 5);
- la instalación de los tubos perforados y de la capa de grava (Figura 6);
- la perforación en la fachada para la salida del conducto de extracción (Figura 7);
- el extractor ya colocado (Figura 8);
- la colocación de la capa antipunzonante (Figura 9);
- la disposición de la lámina flotante sobre la capa antipunzonante y el sellado del solape entre dos láminas (Figura 10) con cintas de aplicación en frío;
- el sellado de los encuentros de la lámina con el pilar (Figura 11);
- el sellado de la lámina en la junta perimetral (Figura 12); y
- la lámina ya colocada (Figura 13).



Figura 7 - Perforación en la fachada para la salida del conducto de extracción



Figura 8 - Extractor instalado en un armario de uso exclusivo



Figura 5 - Demolición de la solera existente



Figura 9 - Colocación de la capa antipunzonante sobre la grava



Figura 10 - Sellado del solape entre dos láminas



Figura 11 - Sellado del encuentro de la lámina con un pilar



Figura 12 - Sellado de la lámina en la junta perimetral



Figura 13 - Lámina colocada

Por encima de la lámina se fija la armadura y se vierte el hormigón de la solera. La lámina está preconformada con una capa de adhesión híbrida especial que proporciona una unión permanente con el hormigón fresco.

6. EFECTIVIDAD

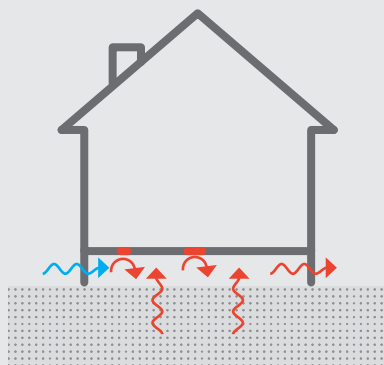
Después de la colocación de la barrera de protección frente al radón y la implementación del sistema de despresurización, el promedio de concentración de radón se reduce de 1.170 a 84 Bq/m³.



Reducción de la concentración promedio del 93 % frente a la concentración previa a la intervención.

SELLADO + VENTILACIÓN DE LA CÁMARA SANITARIA

EJEMPLO
A2+B1



1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

- Uso: Residencial.
- Clasificación del municipio según el DB HS6 en función del potencial de radón: No incluido.
- Superficie construida: 100 m².
- Superficie en contacto con el terreno: 100 m².
- Superficie construida bajo rasante: No.
- Tipo de ventilación de los locales habitables: Natural a través de huecos de ventanas.
- Plantas y distribución: Una sola planta en la que se encuentran los locales habitables (Figura 1).
- Construcción: Muros de carga. Fachadas de fábrica de ladrillo con enfoscado de cemento. Cámara sanitaria ventilada en toda la superficie en planta (Figura 2).
- Tipo de terreno: Capa de relleno heterogénea, de espesor variable no superior a 0,5 m y poco compacta. Sustrato natural de arena arcillosa (arena tosca) con predominio arcilloso (tosco) con ocasionales intercalaciones de arena de miga (arcosas).
- Promedio anual de concentración de radón previo a la intervención: 380 Bq/m³.

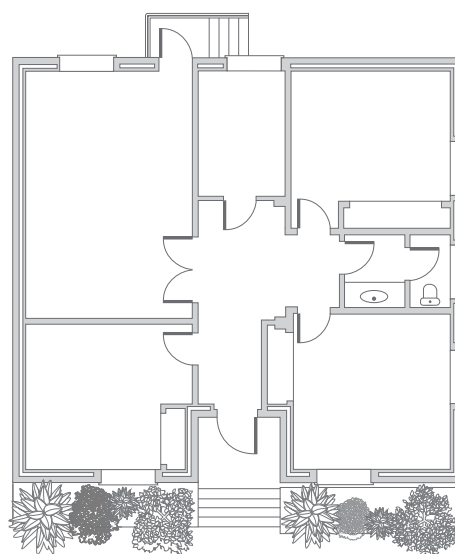


Figura 1 - Fachada y planta baja de la vivienda

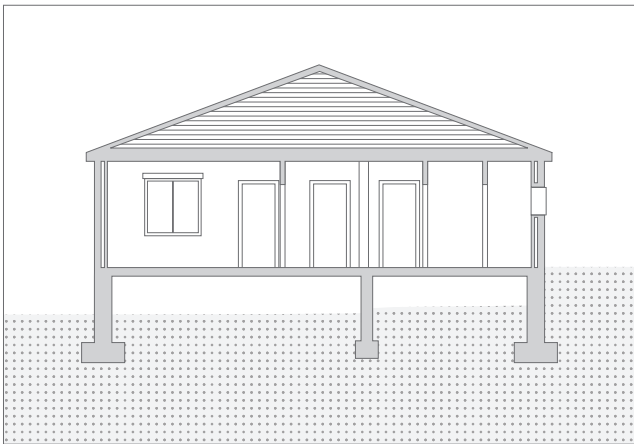


Figura 2 - Cámara sanitaria (arriba) y sección de la vivienda (abajo)

2. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La solución de protección más apropiada según la tabla 3¹ de la **Guía de rehabilitación frente al radón** en el caso de la existencia de una **cámara de aire** para una concentración de radón existente menor de 600 Bq/m³ es la mejora de la **ventilación de la cámara** (**Solución B1**). Para mejorar su efectividad se recurre también al **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas** (**Solución A2**) del cerramiento que separa la cámara de los locales habitables.

Según la propia Guía, estas soluciones se pueden complementar con la mejora de la ventilación de los locales habitables, pero se descarta puesto que la ventilación existente se considera suficiente para asegurar la calidad del aire interior sin tener en cuenta el radón. Además, se quiere evitar el posible incremento de la demanda energética de climatización consecuencia de un aumento excesivo de la ventilación.



La existencia de una cámara de aire conduce a la elección de una solución basada en la **mejora de su ventilación**.

3. DIAGNÓSTICO

El objetivo del **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas** del cerramiento que separa la cámara sanitaria de los locales habitables es limitar la penetración del radón a través de puntos en los que se de alguna discontinuidad. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la situación existente basado en su inspección y evaluación, identificando los puntos críticos en los que el cerramiento presenta discontinuidades.

El objetivo de la **ventilación de la cámara** es reducir la concentración de radón a la que el edificio se encuentra expuesto. Debe garantizarse que la ventilación alcance toda la extensión del edificio en contacto con el terreno de la forma más eficiente y homogénea posible, para que se diluya el radón presente y no se produzcan estancamientos de aire en determinadas zonas. Para poder lograr este objetivo es necesario realizar un diagnóstico del estado de la ventilación existente de la cámara sanitaria que se base en su inspección, identificando los obstáculos al libre flujo del aire que pudieran existir y las dimensiones y ubicación de las aberturas de ventilación existentes.

Puntos críticos en el cerramiento

Fruto de la inspección de la situación existente del cerramiento que separa la cámara sanitaria de los locales habitables se identifican como puntos críticos el paso de varias bajantes y una trampilla de acceso a la cámara.

Presencia de obstáculos en la cámara

De la inspección visual de la cámara sanitaria, se observa que la cámara está dividida en dos zonas (Figura 3) separadas por un muro de ladrillo.

Aberturas de ventilación existentes

La cámara sanitaria está ventilada en su zona oeste de forma natural mediante dos aberturas de ventilación situadas enfrentadas en las caras norte y sur del muro perimetral (Figura 3). Estas aberturas tienen una dimensión aproximada de 15 x 20 cm cada una (Figura 4). Sin embargo, la zona este de la cámara no presenta ventilación.

(1) Tabla 3. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de forjado sanitario en función de la concentración de radón existente de la Guía de rehabilitación frente al radón.

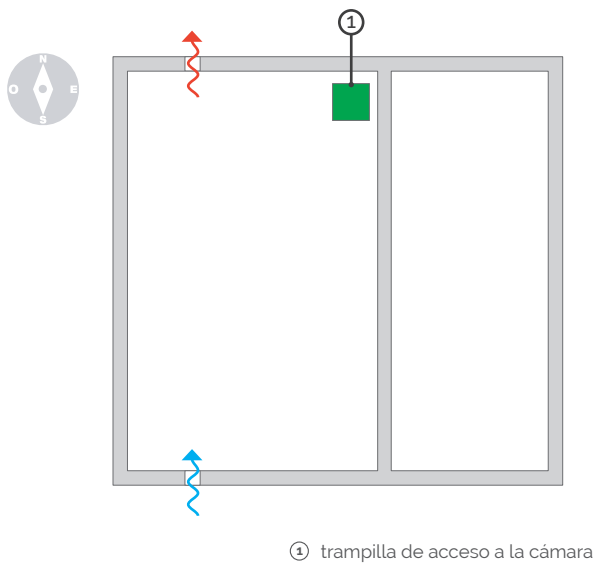


Figura 3 - Planta de la cámara sanitaria antes de la intervención con las aberturas de ventilación existentes



Figura 4 - Abertura de ventilación existente

4. DISEÑO

Se diseña una mejora de la ventilación de forma natural siguiendo las directrices indicadas en la [Solución B1](#). En la zona este de la cámara se prevén dos nuevas aberturas de ventilación situadas enfrentadas en las caras norte y sur del muro perimetral (Figura 5), formada cada una por 2 perforaciones circulares de 122 mm de diámetro.



Se opta por la **apertura de nuevos huecos de ventilación** para mejorar de forma natural el alcance de la ventilación.

Además, se prevé el sellado de la trampilla de acceso a la cámara desde la planta baja y de los encuentros con las bajantes siguiendo las directrices indicadas en la [Solución A2](#).

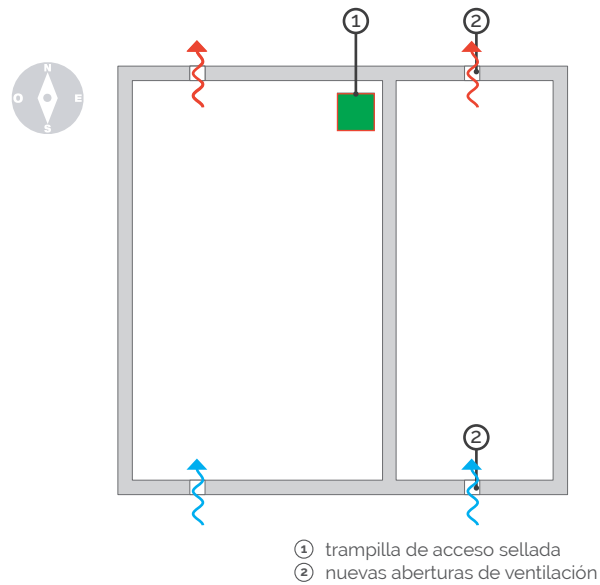


Figura 5 - Planta de la cámara sanitaria después de la intervención

5. EJECUCIÓN

La Figura 6 muestra la ejecución de dos perforaciones para las aberturas de ventilación y la Figura 7 el aspecto de las aberturas finalizadas con rejillas.



Figura 6 - Perforaciones para una de las nuevas aberturas de ventilación



Figura 7 - Aberturas de ventilación finalizadas con rejillas

El sellado de la trampilla de acceso a la cámara y del encuentro del forjado con las bajantes se realiza con un producto elástico en base poliuretano.

6. EFECTIVIDAD

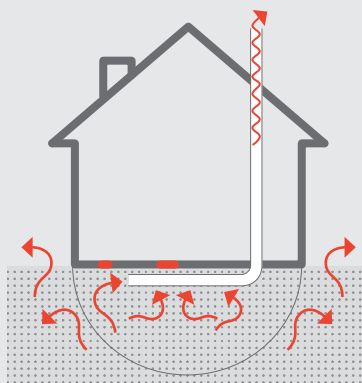
Después del sellado de los puntos críticos detectados y de la mejora de la ventilación de la cámara sanitaria, el promedio de concentración de radón se reduce de 380 Bq/m³ a 200 Bq/m³.



Reducción de la concentración promedio de un 47% frente a la concentración previa a la intervención.

SELLADO + DESPRESURIZACIÓN CON RED DE TUBOS

EJEMPLO
A2+B3



1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

- Uso: Residencial.
- Clasificación del municipio según el DB HS6 en función del potencial de radón: Zona II.
- Superficie construida: 150 m².
- Superficie en contacto con el terreno: 75 m².
- Superficie construida bajo rasante: No.
- Tipo de ventilación: Natural a través de huecos de ventanas.
- Plantas y distribución: Dos plantas (Figura 1). En la planta baja se sitúan el garaje y un local habitable de usos diversos. En la planta primera se encuentran el resto de los locales habitables.
- Construcción: Estructura metálica. Fachadas de fábrica de ladrillo con enfoscado de cemento y mampostería. Solera en toda la superficie en planta.
- Tipo de terreno: Capa de relleno heterogénea, de espesor variable y poco compacta. Sustrato natural de granito alterado y rocas graníticas.
- Promedio anual de concentración de radón previo a la intervención: 660 Bq/m³.

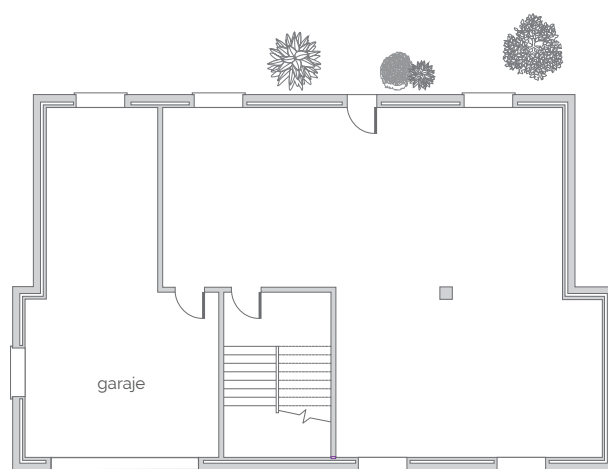
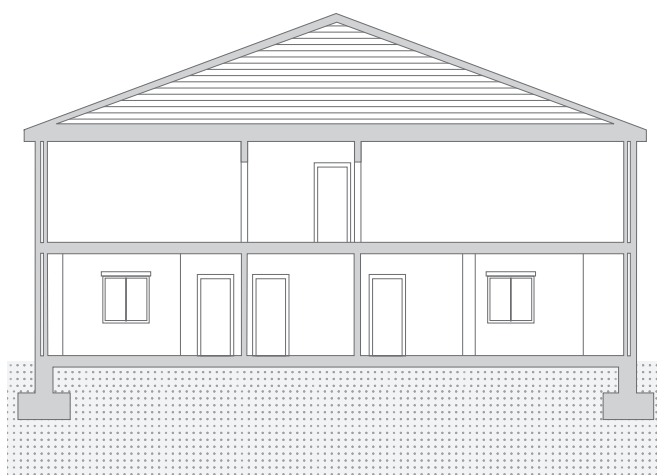


Figura 1 - Sección y planta baja de la vivienda

2. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Las soluciones de protección más apropiadas según la tabla 2¹ de la **Guía de rehabilitación frente al radón** en el caso de la existencia de una **solera** para una concentración de radón existente mayor de 600 Bq/m³ son:

- barrera frente a radón con despresurización;
- sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas de la envolvente en contacto con el terreno con despresurización; o
- barrera frente al radón con disposición de una cámara de aire ventilada.

Según la propia Guía, estas soluciones se pueden complementar con la mejora de la ventilación de los locales habitables



El buen estado del cerramiento en contacto con el terreno y la limitación de altura libre en la vivienda, entre otros, conducen a la elección de una solución basada en el **sellado** de puntos críticos y **despresurización del terreno**.

Entre estas posibilidades se considera el **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas** (**Solución A2**) del cerramiento en contacto con el terreno con **despresurización** (**Solución B3**) como la opción más adecuada por los siguientes motivos:

- el estado de la solera existente es bueno, por lo que no se considera necesaria su sustitución. El uso de barrera frente al radón sobre la solera existente se descarta por criterios económicos y dificultad de implementación;
- la despresurización con el sellado ofrecen una alta eficiencia por lo que podría compensar su coste y dificultad técnica;
- la disposición de una cámara de aire por el interior de la solera existente se descarta por la limitada altura disponible;
- la mejora de la ventilación de los locales habitables se descarta puesto que la ventilación existente se

considera suficiente para asegurar la calidad del aire interior sin tener en cuenta el radón. Además, se quiere evitar el posible incremento de la demanda energética de climatización consecuencia de un aumento excesivo de la ventilación.

3. DIAGNÓSTICO

El objetivo de la **despresurización del terreno** es garantizar que la diferencia de presiones entre el terreno y la vivienda sea negativa en toda la extensión del edificio en contacto con el terreno. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la capacidad de movilidad del aire en el sustrato bajo la solera.

El objetivo del **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas** del cerramiento en contacto con el terreno es limitar la penetración del radón a través de puntos en los que se de alguna discontinuidad y favorecer además la efectividad de la despresurización. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la situación existente basado en su inspección y evaluación identificando los puntos críticos en los que el cerramiento presenta discontinuidades.

Movilidad del aire en el sustrato

El diagnóstico de la movilidad al aire en el sustrato incluye el estudio de la composición del sustrato para verificar que exista una capa que pueda ser potencialmente permeable al aire, la evaluación de la presencia de obstáculos y la estimación del radio de acción de la despresurización (a qué distancia puede asegurarse la extracción de los gases del terreno).

Para poder estudiar la **composición del sustrato** se practican dos perforaciones en la solera observándose la siguiente composición de arriba hacia abajo (Figura 2):

- baldosa de terrazo y mortero de cemento;
- solera de hormigón pobre (60 mm);
- capa de relleno de grava (100 mm de diámetro) mezclada con tierras, sin espesor regular (0 a 150 mm); y
- terreno natural con presencia de roca en algún punto.

(1) Tabla 2. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de solera en función de la concentración de radón existente de la Guía de rehabilitación frente al radón.

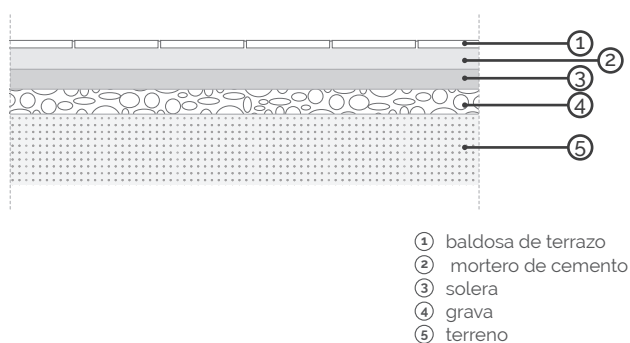


Figura 2 - Sección de la solera y el sustrato (arriba.) y perforación en solera y sustrato (abajo)

Además, se observa la presencia de un pilar situado en la zona central de la planta, por lo que se prevé que su zapata suponga un obstáculo al flujo del aire en el sustrato.

De la observación se concluye que el sustrato cuenta con una capa que puede ser potencialmente permeable al aire, como es la capa de grava, pese a que la zapata de cimentación del pilar pueda suponer un obstáculo puntual al flujo del aire.

Mediante un procedimiento experimental basado en la medida de la diferencia de presiones en distintos puntos del sustrato se estima que el **radio de acción** para una despresurización de -5 Pa es de 5 m.

Puntos críticos en el cerramiento

Fruto de la inspección de la situación existente del cerramiento en contacto con el terreno se identifican como puntos críticos la junta perimetral de la solera y la presencia de un pilar.

4. DISEÑO

Con los resultados del diagnóstico y un modelo de simulación² se diseña un sistema de despresurización siguiendo las directrices indicadas en la [Solución B3](#) que consta de los siguientes elementos, tal y como se muestra en la Figura 3:

- un elemento de captación bajo la solera formado por un tubo perforado de 100 mm de diámetro con una longitud de 5 metros (Figura 4);

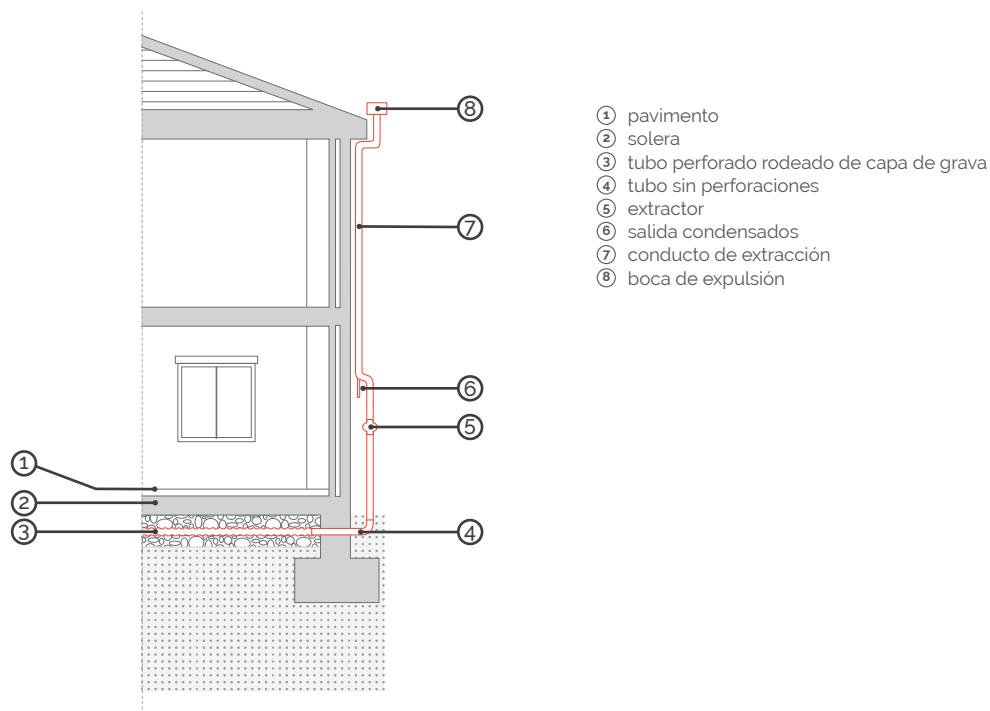


Figura 3 - Sección de la solución

(2) E. Muñoz, B. Frutos, M. Olaya, J. Sanchez "A finite element mode development for simulation of the impact of slab thickness, joints, and membranes on indoor radon concentration" Journal of Environmental Radioactivity 177 (2017) 280e289.

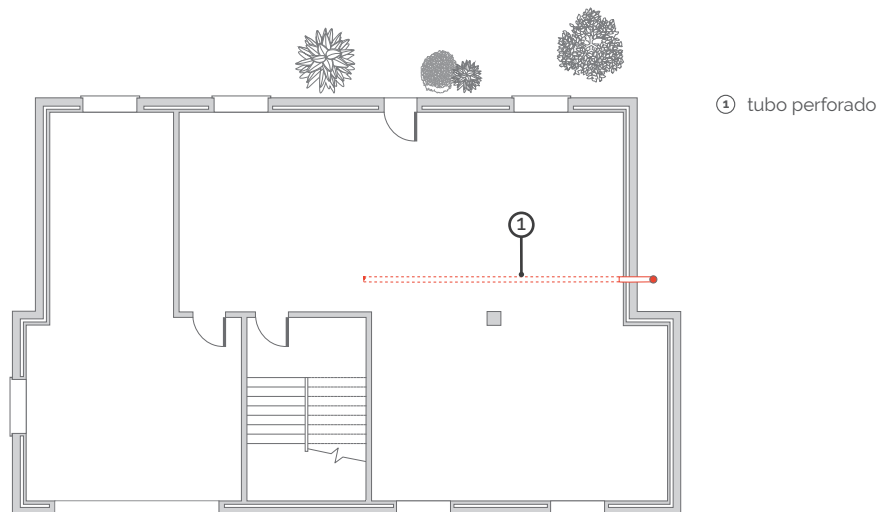


Figura 4 - Ubicación del tubo perforado

- una capa de grava de 20-30 cm que envuelve el tubo perforado situada en zanja excavada;
- un tubo sin perforaciones de 100 mm de diámetro para atravesar la fachada, conectado al tubo perforado;
- un conducto exterior vertical de extracción de 100 mm de diámetro, conectado al tubo que atraviesa la fachada y con la boca de expulsión situada en la cubierta;
- un extractor centrífugo de potencia aproximada 70 W situado en un punto intermedio del conducto exterior vertical; y
- un by-pass del extractor o derivación del conducto para evitar que el agua de condensación o filtración entre en contacto con el mismo.



Se opta por un sistema despresurización del terreno con un **tubo perforado bajo solera** para intentar conseguir una extensión adecuada de la despresurización con un diseño y ejecución más sencillo que la disposición de varias arquetas.

Además, se prevé el sellado de la junta perimetral y el encuentro con el pilar siguiendo las directrices indicadas en la [Solución A2](#).

5. EJECUCIÓN

Las siguientes figuras muestran las etapas más relevantes de la ejecución de la obra:

- la excavación de una zanja para la disposición del tubo perforado y la capa de grava (Figura 5);
- la instalación de la capa de grava, el tubo perforado y el tubo sin perforaciones para atravesar la fachada (Figura 6); y
- el conducto de extracción y el extractor ya colocados con la expulsión en cubierta (Figura 7).

El sellado de la junta perimetral y de los encuentros con el pilar y el conducto del sistema de despresurización se realiza con un producto elástico en base poliuretano.



Figura 5 - Zanja para la instalación del tubo perforado y la capa de grava



Figura 6 - Instalación de la capa de grava, el tubo perforado y el tubo pasamuros

6. EFECTIVIDAD

Después del sellado de los puntos críticos detectados y de la implementación del sistema de despresurización, el promedio de concentración de radón se reduce de 660 a 79 Bq/m³.



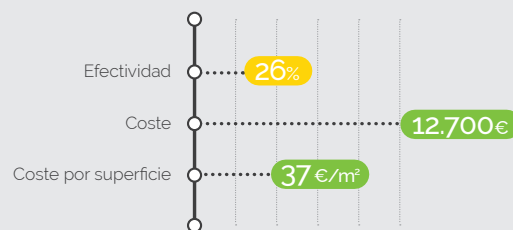
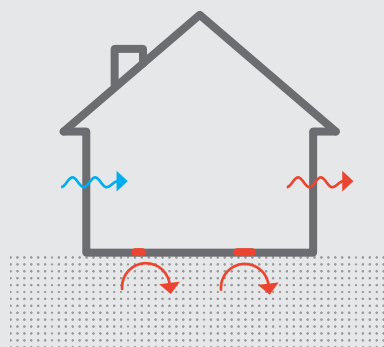
Reducción de la concentración media del 88% frente a la concentración previa a la intervención.



Figura 7 - Conducto de extracción, extractor y expulsión en cubierta

SELLADO + VENTILACIÓN MECÁNICA DE LOS LOCALES HABITABLES

EJEMPLO
A2+C1



1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

- Uso: Socio-cultural.
- Clasificación del municipio según el DB HS6 en función del potencial de radón: Zona II.
- Superficie construida: 450 m².
- Superficie en contacto con el terreno: 340 m².
- Superficie construida bajo rasante: No.
- Tipo de ventilación: Natural a través de huecos de ventanas y aberturas de ventilación en los aseos conectadas a un plenum y a un conducto al exterior.
- Plantas y distribución: Dos plantas en algunas zonas puntuales, en el resto del edificio una sola planta (Figura 1). Sólo se interviene en la zona señalada en azul, que es independiente al resto (Figura 2).
- Construcción: Muros de carga. Fachadas de fábrica de ladrillo con enfoscado de cemento, mampostería y roca viva de forma puntual. Solera en toda la superficie en planta.
- Tipo de terreno: Sustrato natural de granito alterado y rocas graníticas.
- Promedio anual de concentración de radón previo a la intervención: 401 Bq/m³.



Figura 1 - Fachada del edificio

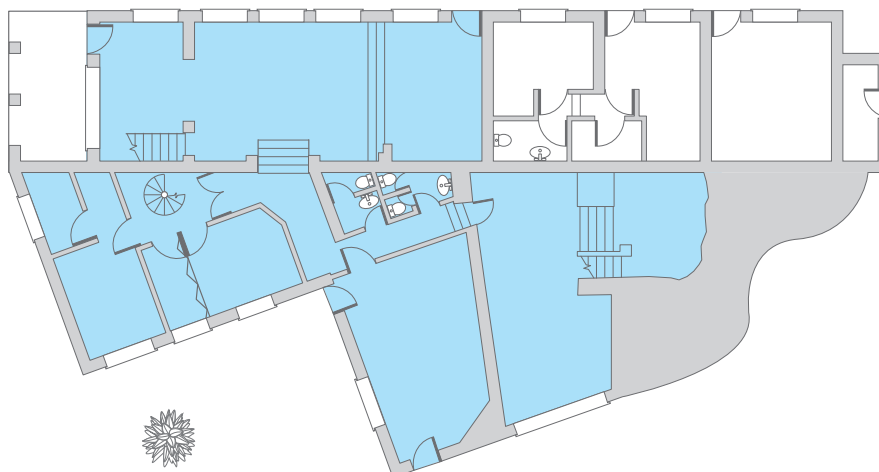


Figura 2 - Planta baja del edificio. En azul, zona en la que se interviene

2. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Las soluciones de protección más apropiadas según la tabla 2¹ de la **Guía de rehabilitación frente al radón** en el caso de la existencia de una **solera** para una concentración de radón existente menor de 600 Bq/m³ son:

- barrera frente al radón; o
- sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas de la envolvente en contacto con el terreno.

Según la propia Guía, estas soluciones se pueden complementar con la mejora de la ventilación de los locales habitables.



La volumetría compleja del edificio, el buen estado del cerramiento en contacto con el terreno y la deficiente ventilación conducen a la elección de una solución basada en el **sellado** de puntos críticos y mejora de la **ventilación de los locales habitables**.

Entre estas posibilidades se considera el **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas (Solución A2)** del cerramiento en contacto con el terreno con la mejora de la **ventilación de los locales habitables (Solución C1)** como la opción más adecuada por los siguientes motivos:

- el estado de la solera y del pavimento existente es bueno, por lo que no se considera necesaria su sustitución. El uso de barrera frente al radón sobre la solera existente se descarta por criterios económicos y dificultad de implementación, debido principalmente a la complejidad del edificio en cuanto a desniveles y forma irregular, así como su alta compartimentación;
- el sellado de los puntos críticos del cerramiento es sencillo comparativamente con la disposición de una barrera frente al radón; y
- la mejora de la ventilación de los locales habitables es una intervención más fácil de abordar que la disposición de la barrera.

3. DIAGNÓSTICO

El objetivo del **sellado de fisuras, grietas, encuentros y juntas** del cerramiento en contacto con el terreno es limitar la penetración del radón a través de puntos en los que se da alguna discontinuidad. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la situación existente basado en su inspección y evaluación, identificando los puntos críticos en los que el cerramiento presenta discontinuidades.

El objetivo de la mejora de la **ventilación de los locales habitables** como medida de protección frente al radón es, una vez que el radón ya ha penetrado en su interior, evitar que se acumule. Se introduce aire desde el exterior que, por dilución, desplazamiento o una combinación de ambos, elimina los contaminantes del ambiente interior y con ellos el radón. Para poder lograr este objetivo se realiza un diagnóstico de la situación existente de la ventilación del edificio basado en la inspección y evaluación de aperturas de ventilación, infiltraciones, flujos de aire, etc.

Puntos críticos en el cerramiento

Fruto de la inspección de la situación existente del cerramiento en contacto con el terreno se identifica como punto crítico el encuentro con la tapa de una arqueta de la red de saneamiento.

Ventilación

Se observa que el edificio dispone de una ventilación variable ocasionada por la acción del viento y la diferencia de temperatura con el exterior mediante:

- las elevadas infiltraciones por las carpinterías (puertas y ventanas);
- la presencia de huecos como el tiro de una chimenea;
- las aberturas de extracción en los aseos comunicadas con el exterior mediante un conducto; y
- un antiguo sistema de climatización en desuso que dispone de rejillas de ventilación en todas las estancias comunicadas por conductos con el exterior.

Esta ventilación se considera insuficiente. Existen malos olores en los aseos que evidencian falta de extracción de aire y se considera que con condiciones climatológicas adversas el resto de locales tampoco se ventilan adecuadamente.

(1) Tabla 2. Soluciones orientativas de protección frente al radón en caso de solera en función de la concentración de radón existente de la Guía de rehabilitación frente al radón.

4. DISEÑO

Se prevé el sellado de la tapa de la arqueta de la red de saneamiento siguiendo las directrices indicadas en la [Solución A2](#).



Se opta por un sistema específico de **ventilación con mecanización** tanto de la extracción como de la admisión que permita estabilizar y ajustar los caudales y flujos de aire a las necesidades detectadas.

Se diseña un sistema de ventilación mecánico específico siguiendo las directrices indicadas en la [Solución C1](#) que consta de los siguientes elementos (Figura 3):

- equipo de ventilación de doble flujo con recuperador de calor con un caudal constante de 200 m³/h;
- red de conductos de impulsión circulares de 90 mm de diámetro desde el ventilador hasta las distintas aberturas de admisión;
- red de conductos de extracción circulares de 90 mm de diámetro desde el ventilador hasta las distintas aberturas de extracción;
- conducto de admisión metálico de 200 mm de diámetro desde la boca de admisión hasta el ventilador;
- conducto de extracción metálico de 200 mm de diámetro desde el ventilador hasta la boca de expulsión;
- boca de toma de aire en fachada;
- boca de expulsión de aire en cubierta;
- aberturas de admisión de aire en los locales secos de 125 mm de diámetro; y
- aberturas de extracción de aire en el núcleo central compuesto por aseos y pasillo de 125 mm de diámetro.

Por un lado, el aire fresco libre de radón se toma desde el exterior a través de la boca de toma, pasa al recuperador de calor en donde se atempera y después es impulsado a los locales habitables secos a través de los conductos de impulsión y las aberturas de admisión. Por otro lado, el aire con radón del interior se extrae de los aseos y el pasillo central por las aberturas de extracción y a través de los conductos de extracción es conducido al recuperador de calor. Allí cede parte de su calor al aire fresco y después se expulsa al exterior a través de la boca de expulsión en cubierta.

Para limitar las molestias producidas por el ruido generado por la instalación se prevé que el equipo de ventilación se ubique en un local de uso exclusivo y se aislen acústicamente los conductos.

5. EJECUCIÓN

El sellado del registro de la arqueta se realiza con un producto elástico en base poliuretano.

La ejecución del sistema de ventilación con recuperador de calor es similar a la de un sistema de ventilación implementado por calidad del aire.

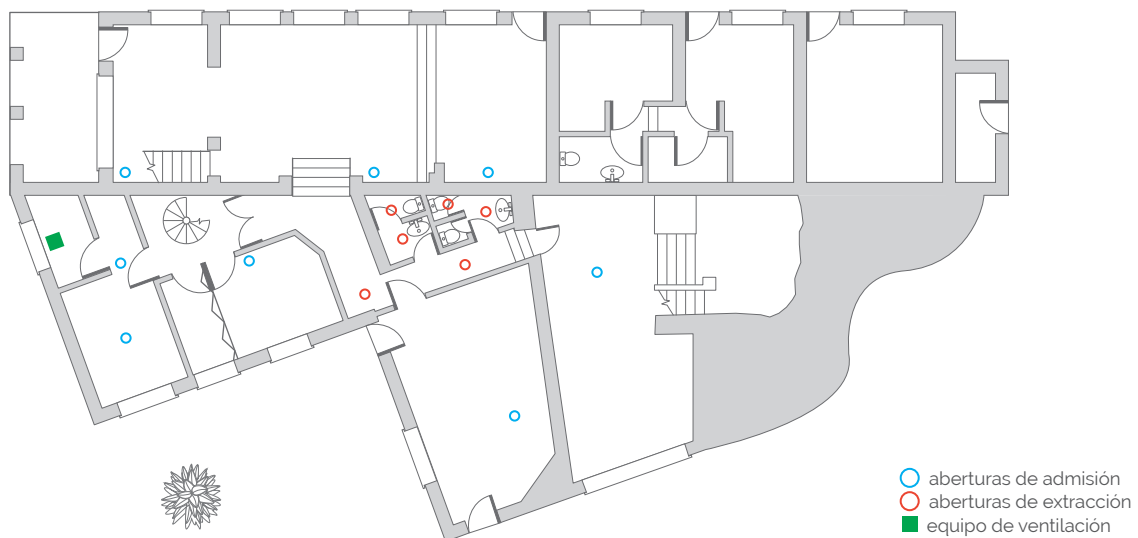


Figura 3 - Esquema en planta de la solución propuesta

Las Figuras 4, 5, 6, 7 y 8 muestran distintos elementos del sistema de ventilación durante la ejecución de la obra.



Figura 4 - Boca de toma de aire en la fachada



Figura 5 - Equipo de ventilación

6. EFECTIVIDAD

Después de la mejora de la ventilación de los locales, el promedio de concentración de radón se reduce de 401 a 295 Bq/m³.



Reducción de la concentración promedio del 26 % frente a la concentración previa a la intervención.

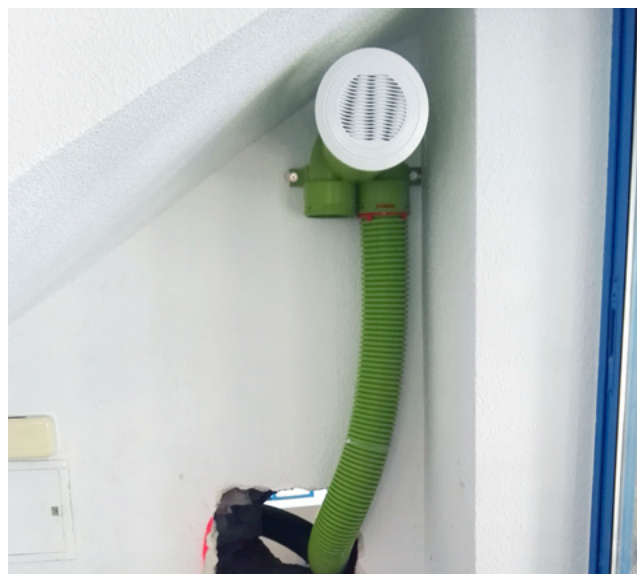


Figura 6 - Abertura de admisión de aire en un local seco y conducto de impulsión

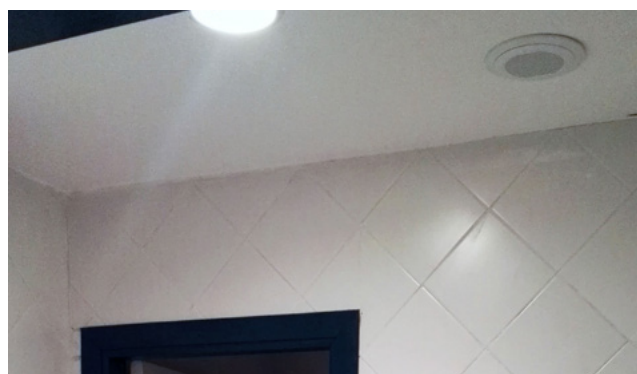


Figura 7 - Abertura de extracción de aire en un aseo



Figura 8 - Red de conductos de impulsión y expulsión



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL DE
AGENDA URBANA Y VIVIENDA

DIRECCIÓN GENERAL DE
AGENDA URBANA Y ARQUITECTURA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS