

## Experiencias en optimización de técnicas de remedio frente a la inmisión de gas radón

Autor: Eduardo Muñoz

Institución: IETcc-CSIC

Otros autores: Borja Frutos (IETcc-CSIC); Carmen Alonso (IETcc-CSIC); Fernando Martín-Consuegra (IETcc-CSIC); Manuel Olaya (IETcc-CSIC); Ignacio Oteiza (IETcc-CSIC)

Área temática: Calidad ambiental y salud

Comunicación:

Palabras Clave: radón; técnicas de mitigación; radiactividad natural; contaminación interior; caso práctico

### Resumen

En el ámbito de la calidad del ambiente interior, el radón es considerado un contaminante de origen natural, proveniente de la desintegración del radio presente en terreno, y con efectos cancerígenos al ser inhalado. En edificación se contemplan diversas estrategias constructivas para remediar o prevenir la acumulación de dicho gas. Sin embargo, a día de hoy la aplicación de las mismas no es una práctica habitual, y su efectividad puede verse afectada por un mal entendimiento del sistema. Con esta comunicación se pretende dar a conocer un trabajo de optimización de técnicas, en su diseño y puesta en práctica, con una evaluación comparativa de diferentes regímenes de funcionamiento en un caso práctico real ubicado en un lugar de altas concentraciones. El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación RADON CERO (BIA 2014-58887-R).

### 1. Objeto del trabajo

En el presente trabajo se muestran los resultados de una actuación completa de eliminación de gas radón en edificación correspondiente a una vivienda unifamiliar asilada ubicada en el municipio de Torrelodones mediante la despresurización o ventilación del espacio situado bajo la solera de la vivienda. Se ha realizado un diagnóstico previo, que ayudó a la correcta propuesta de remediación. Se analizaron las fases de ejecución de la obra y se realizó posteriormente un estudio de concentraciones en base a las dos soluciones propuestas: despresurización o ventilación\*, de manera activa y pasiva.

*\*La solución de ventilación se ha contemplado por la aparición en la fase de diagnóstico de una cámara ventilada en parte del suelo de la vivienda, la cual se abordará más adelante.*

### 2. Descripción de los espacios

El espacio propuesto para la actuación se corresponde con una vivienda unifamiliar aislada de una única planta. Se trata de una casa construida con muros de carga de piedra granítica de gran espesor sobre el que descansan tres vigas que reparten la vivienda en cuatro espacios, modificados con tabiques interiores no estructurales (Fig.

1).

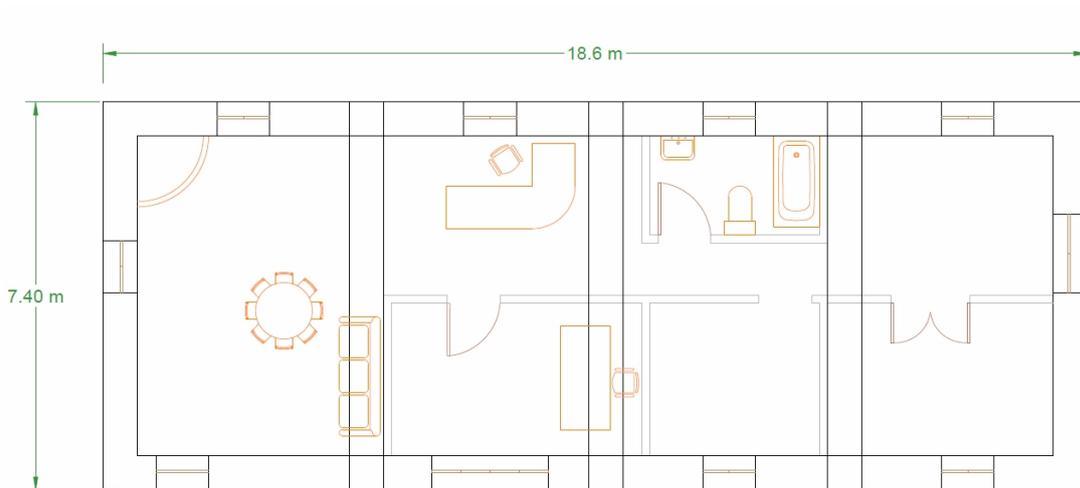


Figura 1. Plano que muestra resaltado en negro los muros exteriores y las tres vigas centrales.

El espacio interior ocupa una superficie aproximada de 110 m<sup>2</sup> repartidos en un salón comedor, un despacho, dos habitaciones, un baño y un espacio habilitado para cocina (Fig. 2).

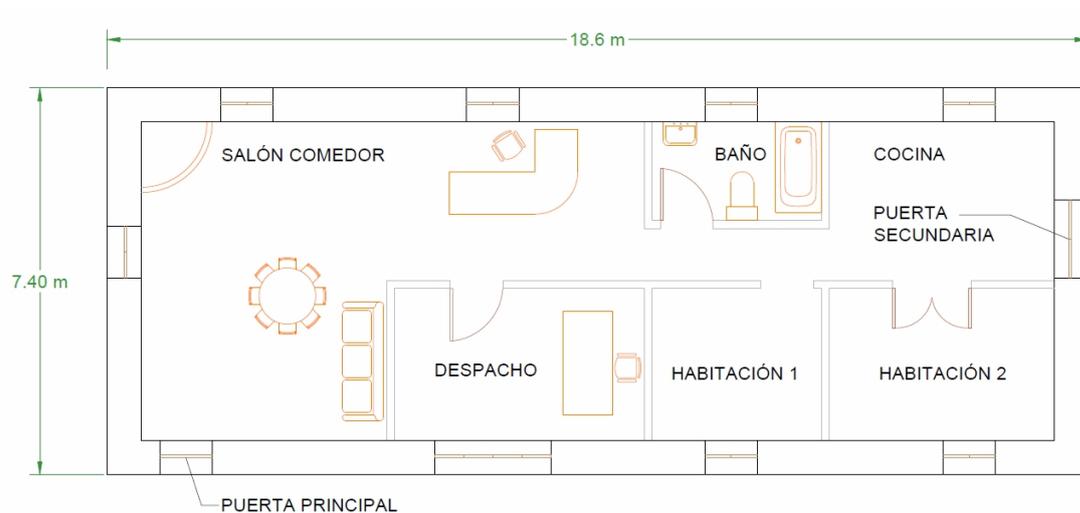


Figura 2. Plano de espacios interiores de la vivienda.

El salón comedor cuenta con una chimenea en la esquina que une la fachada lateral norte con la fachada posterior.

### 3. Metodología y fases del trabajo

La metodología realizada para la realización de esta actuación cuenta con una fase de diagnóstico, otra destinada al diseño de la propuesta, una fase de ejecución de la actuación elegida y finalmente una fase de estudio de las concentraciones interiores del espacio, en base a la combinación de las soluciones planteadas.

#### 3.1. Diagnóstico

##### 3.1.1. Estado inicial de concentraciones interiores

En esta fase previa, la parte del equipo de la Universidad de Cantabria, ha realizado medidas de concentración de radón en el interior de la vivienda usando dos tipos de dispositivos, pasivos (CR-39) y en continuo (RadonScout).

Como se aprecia en la Fig.3, las medidas adquiridas con el dispositivo RadonScout van desde el 08/03/16 hasta el 04/04/16, y fueron realizadas en el despacho principal de la vivienda.

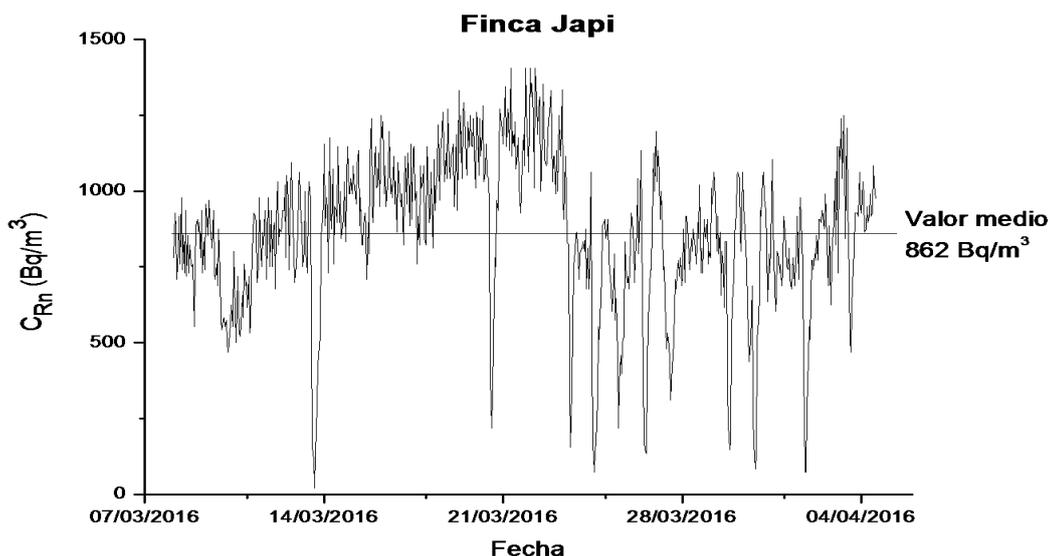


Figura 3. Variación de la concentración de gas radón en el despacho principal de la vivienda.

A través de la medición en continuo se puede observar los ciclos diarios y las tendencias debidas a cambios atmosféricos de mayor duración.

Los detectores CR-39 fueron ubicados en varias estancias de la vivienda abarcando un periodo de tiempo que va desde el 19/09/16 al 27/01/16. Los datos arrojados en la Tabla 1 detallan los resultados obtenidos.

Tabla 1. Concentración inicial de radón media obtenida mediante detectores CR-39.

	Despacho	Cocina	Habitación 1	Habitación 2
CRn (Bq/m3)	846 ± 61 765 ± 56	804 ± 57	760 ± 54	886 ± 64

Los CR-39 son detectores de trazas que calculan la concentración de radón a través del recuento de los impactos que las partículas alfa realizan en su sensor en función del tiempo.

Analizando los resultados, podemos apreciar que estamos en un nivel base que oscila entre 700 y 900 Bq/m3 de concentración en la vivienda considerada para la actuación.

### 3.1.2. Estudio de permeabilidad y concentración de radón en terreno

El Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universidad de Cantabria caracterizó la permeabilidad y la concentración de radón en el terreno adyacente a la vivienda.

Las medidas de permeabilidad fueron realizadas con el dispositivo RADON-JOK, un equipo portátil que ha sido desarrollado para la medición de la permeabilidad in situ en terrenos. El principio de este dispositivo consiste en la retirada de aire mediante la aplicación de una presión negativa. El aire es extraído desde una profundidad de 1 metro bajo una presión constante a través de una sonda. La permeabilidad es calculada conociendo el flujo de aire que circula a través de la sonda, el cual se deduce relacionando el volumen de aire y el tiempo del ensayo.

Por otro lado, las medidas de concentración en el terreno fueron realizadas con el dispositivo RADON DETECTOR RM-2.



Figura 4. Ensayo de permeabilidad y concentraciones en terreno. Preparación del dispositivo RADON-JOK.

Para la medición de estos parámetros se utilizaron cinco puntos situados muy próximos a la vivienda, los cuales se detallan en la Fig. 5.



Figura 5. Situación de los puntos utilizados para la medición de permeabilidad y concentración de radón en terreno.

En la Tabla 2 y la Tabla 3, se muestran los resultados del estudio de permeabilidad, concentración de radón terreno y concentración másica de los principales isótopos naturales obtenidos en la vivienda el día 19 de septiembre de 2016 a la profundidad z.

Tabla 2. Concentración de radón en el suelo y permeabilidad obtenida en el exterior del edificio.

Punto	CRn (kBq/m <sup>3</sup> )	k (m <sup>2</sup> )	z (cm)
1	93.6	6x10 <sup>-13</sup>	30
2	63.3	3x10 <sup>-12</sup>	30
3	183.0	9x10 <sup>-12</sup>	80
4	70.0	1x10 <sup>-11</sup>	50
5	53.0	2x10 <sup>-12</sup>	50

Tabla 3. Concentración másica de los principales isótopos naturales obtenidos.

Punto	Concentración de actividad (Bq/kg)			
	238U	226Ra	232Th	40K
2	154 ± 36	92 ± 5	166 ± 28	1500 ± 120
3	110 ± 15	95 ± 2	153 ± 13	1485 ± 60
5	140 ± 17	93 ± 2	88 ± 8	1447 ± 59

Media Mundial	35	35	30	400
---------------	----	----	----	-----

### 3.1.3. Estudio de capas de suelo interior

Al no contar con planos que especifiquen las diferentes capas que componen la cimentación de los espacios en cuestión, se ha procedido a realizar una serie de taladros para detallar los diferentes elementos de los que consta el suelo de la vivienda.

En una inspección previa, se observó la presencia de una rejilla de ventilación en la parte baja de la fachada principal, lo que hizo sospechar la existencia de un forjado sanitario bajo la vivienda (Fig. 6).



Figura 6. Rejilla de ventilación en la fachada principal de la vivienda.



Figura 7. Cámara sanitario localizada bajo parte de la vivienda.

Posteriormente, en la fase de diagnóstico, se pudo comprobar que la parte de la vivienda que corresponde con el despacho y el salón descansa sobre una solera ventilada apoyada en muros palomeros. La otra mitad de la vivienda, muestra presencia de tierra bajo la solera.

Figura 8. Esquema de la vivienda. En azul: solera ventilada. En verde: solera apoyada en terreno.

Como se puede observar en la Fig. 8, la altura de la cámara ventilada consta de 14 a 17 cm, mientras que la distancia desde el fondo de este espacio a la cota de suelo de la vivienda consta de 27 a 30 cm.

#### 3.1.4. Estudio de extensión del campo de presiones

Previo a la fase de propuesta de diseño y actuación, se va a realizar un diagnóstico para comprobar la movilidad de aire en la capa de terreno que se encuentra bajo la solera y así estudiar la extensión del campo de presiones. Se ha utilizado un aspirador industrial de 1300 W de potencia, y se ha procedido a generar una despresurización insertando el tubo de aspiración en diversos puntos distribuidos por la vivienda. Para ello, se ha realizado una serie de taladros con el fin de comunicar el espacio habitado con el espacio bajo solera (Fig. 9). También han sido medidos los caudales de extracción en dichos puntos. A continuación, se han medido las presiones diferenciales en diferentes puntos repartidos por cada una de las salas. Para ello, ha sido necesario practicar taladros de 6 mm de diámetro para introducir la sonda de medición de presión diferencial entre la vivienda y el espacio bajo losa.



*Figura 9. Ejecución del taladro correspondiente a la extracción número 1.*

La realización de las medidas de presión diferencial fue realizada con el dispositivo DM30 de la marca PCE.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la localización de los dos puntos de extracción y de los cuatro puntos de diagnóstico utilizados en esta actuación.

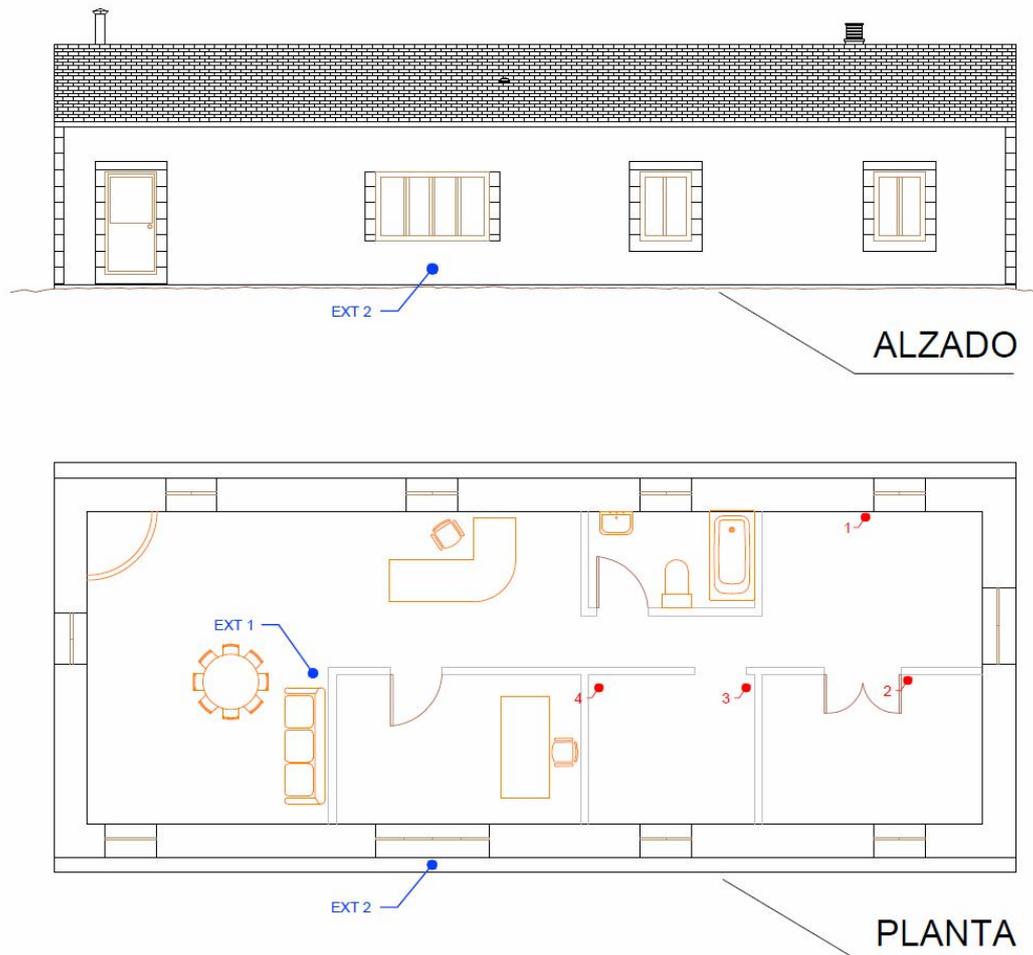


Figura 10. Esquema de la posición de los puntos de extracción (azul) y de diagnóstico utilizados (rojo).

Como se ha mencionado anteriormente, el punto de extracción número 1, realizado en el salón, corroboró la existencia de un espacio ventilado separado por muros palomeros.

El punto de extracción número 2, se hizo coincidir con la rejilla de ventilación de la fachada principal.

Los datos obtenidos de esta fase de diagnóstico se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados del diagnóstico. Dist: Distancia en metros desde el punto de extracción.  $\Delta P$  medido en Pascales.

	EXT 1				EXT 2					
	Dist	$\Delta P$ máx	Pot	$\Delta P$ mín	Pot	Dist	$\Delta P$ máx	Pot	$\Delta P$ mín	Pot
1	11	0		0		10.8	0		0	

2	11.5	-5	-2	9.9	-16	-8
3	8.4	-6	-2	7	-13	-6
4	5.5	-45	-20	4.7	-45	-20
EXT 1	-	-	-	4.4	-66	-30

Tabla 5. Presiones y velocidades de aspiración en puntos de extracción. Presión en Pascales y velocidad en m/s.

	Pot Máx				Pot Mín			
	Total	Estática	Dinámica	Velocidad	Total	Estática	Dinámica	Velocidad
EXT 1	-63	-150	58	9.83	-20	-40	15	5
EXT 2	-300	-980	670	33.41	-110	-335	220	19.14

Como se puede observar, los cuatro puntos elegidos para el diagnóstico se encuentran bajo la parte de vivienda que mantiene la presencia de terreno bajo solera. El punto de diagnóstico número 1 fue el único que no reaccionó a la despresurización planteada por las dos extracciones. Durante la extracción número dos, se utilizó el punto de extracción 1 como punto de diagnóstico.



Figura 11. Diagnóstico en punto de extracción número dos.

### 3.2. Propuesta de diseño y actuación conforme al diagnóstico

En vista de los resultados arrojados por la fase de diagnóstico, y de las diferentes tipologías que encontramos bajo la solera, se ha procedido a diseñar una solución que contemple dos opciones de actuación: Despresurización o ventilación del espacio bajo solera.

Ambas soluciones requieren de un sistema de extracción de aire desde el espacio ventilado, que puede trabajar de manera pasiva o de manera activa con el uso de un ventilador. La diferencia entre estas dos soluciones radica en el sellado de la rejilla de ventilación. La despresurización es más efectiva cuando el espacio en el que tiene actuar tiene sellados sus límites, es decir, es un área estanca. En cambio, la ventilación, funciona mediante la renovación de aire del espacio a tratar, por lo tanto, debe contar con una salida y una entrada de aire para conseguir las máximas renovaciones/hora.

Los elementos que componen esta actuación se desglosan a continuación

#### Extractor activo

La cámara sanitaria se ha conectado a un extractor que se ha colocado en el exterior de la vivienda y que cuenta con las siguientes características:

- Siber AXTP 100
- Caudal Máximo: 211 m<sup>3</sup>/h
- Potencia: 27 W

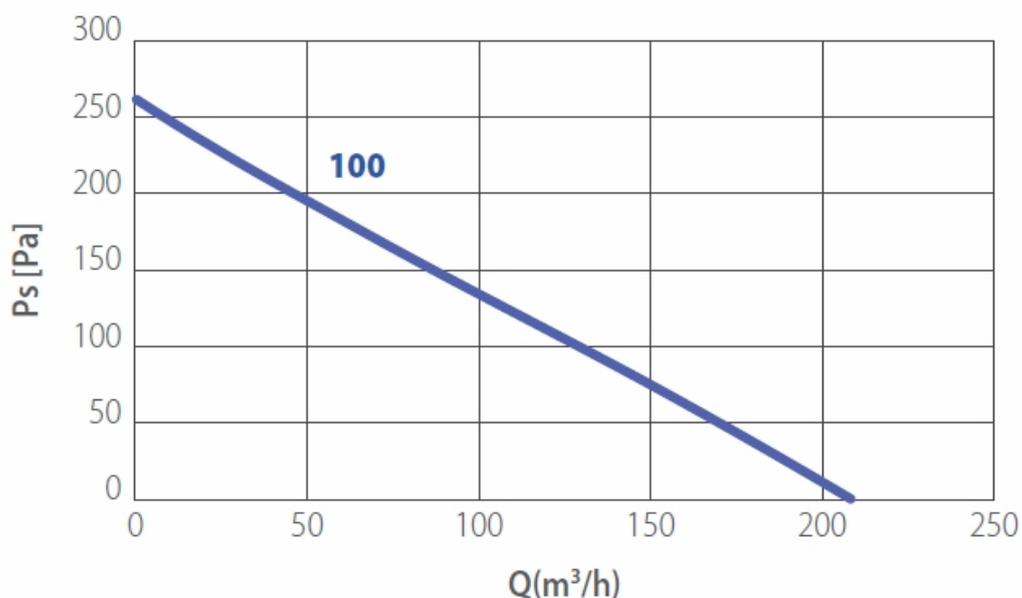


Figura 12. Curva del ventilador elegido para la remediación.

Para evitar que las condensaciones que consigan formarse en el interior de la tubería de PVC puedan interferir con el funcionamiento del ventilador se realizó un bypass.

## Extractor pasivo

En la parte superior de la tubería de exterior, se ha colocado un extractor eólico pasivo giratorio (Sombrete). Estos dispositivos, de manera dinámica, precisan de la fuerza del viento para aumentar la succión de la chimenea de extracción. Una de las ventajas de estos sistemas, es que conserva siempre su dirección de giro independientemente de la velocidad y sentido del viento.

## Tuberías, accesorios y válvulas

La red de tuberías de PVC y sus accesorios constan de 90 mm de diámetro, y fueron anclados a la pared o techo con bridas metálicas. Dicha red, se selló en todos sus encuentros con pegamento para PVC y con un cordón de polímero MS para asegurar su estanqueidad. Se utilizaron codos y piezas en "T" para conseguir la unión de todos los tramos.

En la siguiente figura se representa las diferentes vistas de la actuación que ha sido propuesto en la vivienda para su remediación.

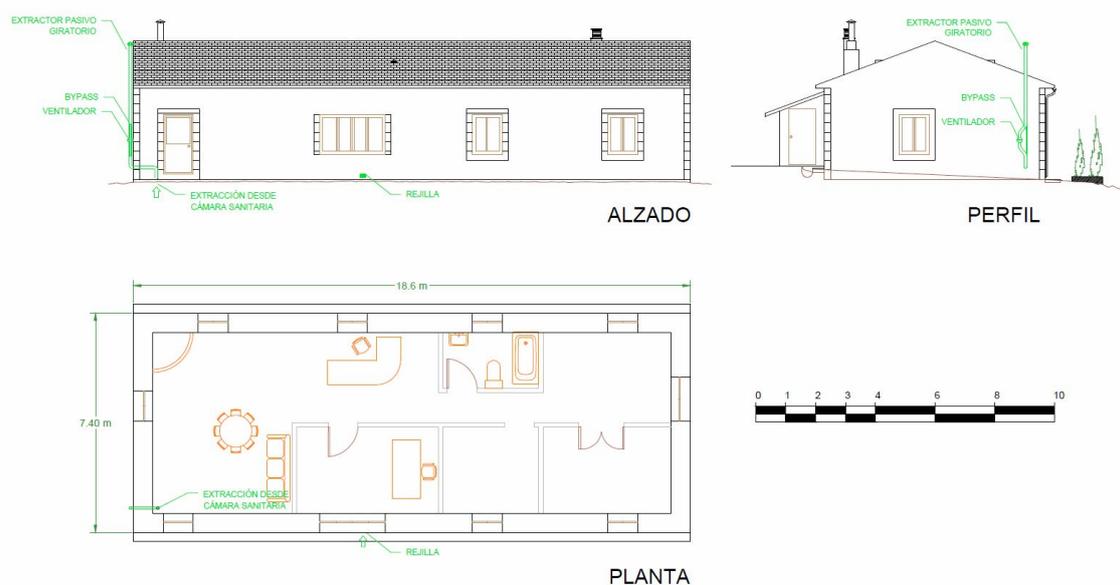


Figura 13. Esquema de la actuación propuesta en la vivienda para su remediación.

A continuación, se exponen las diferentes características que componen cada fase de actuación. Como se puede observar las principales diferencias radican del encendido y

apagado del extractor y de la abertura de la rejilla de ventilación de la fachada principal de la vivienda.

Tabla 6. Combinaciones propuestas para la eliminación de gas radón en la vivienda.

	Fase Despresurización		Fase Ventilación	
	Activa	Pasiva	Activa	Pasiva
Ventilador	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
Sombbrero	Sí	Sí	Sí	Sí
Rejilla	Cerrada	Cerrada	Abierta	Abierta

### 3.3. Ejecución de la obra de remediación

En la realización de la obra de actuación, se realizó la abertura que comunicaba con el forjado sanitario, próximo a la puerta principal de la vivienda. A continuación, se efectuó el conducto que atraviesa el muro de la vivienda para poder sacar la red de tuberías al exterior.



Figura 14. Ejecución del punto de extracción del sistema de actuación.

Los tubos de PVC fueron conectados con el espacio bajo solera y todas las juntas entre estos y las aberturas que se hicieron previamente fueron selladas para asegurar la

estanqueidad del sistema. El bypass, fue realizado en la instalación del ventilador para evitar problemas de condensación. La parte superior de la red se colmató con un tapón de PVC, ya que la primera semana posterior a la actuación se realizó una medición para ver el nivel de radón base del que se partía en la vivienda. Tras esta semana previa, se retiró el tapón y se instaló el extractor giratorio eólico.



Figura 15. Instalación del sombrerete eólico tras la semana de medición de concentración de radón de referencia.

### 3.4. Estudio de concentraciones tras la remediación

Tras las obras de ejecución de la actuación, se han realizado una serie de combinaciones con el fin de observar el comportamiento de la concentración de gas radón en los espacios de habitados. Dichas combinaciones, se van a mantener durante periodos de una o dos semanas para comprobar la eficiencia del sistema.

Las combinaciones efectuadas fueron las siguientes

Tabla 7. Planificación de las combinaciones de investigación.

	Referencia*	Fase Despresurización		Fase Ventilación	
		Activa	Pasiva	Activa	Pasiva
1º Semana					
Se retira el tapón y se incorpora el extractor eólico giratorio al sistema					
2º Semana					
3º Semana					
4º Semana					
Cierre de la rejilla					
5º Semana					
6º Semana					
7º Semana					
8º Semana					
9º Semana					

\*Referencia: Sistema de extracción tapado y rejilla abierta.

Para la realización de estas comprobaciones se han utilizado tres dispositivos de medición de concentración de radón en continuo Radon Eye RD200 en el salón, despacho y cocina. Los dispositivos colocados en despacho y cocina fueron instalados tras la cuarta semana de ensayo, por esa razón se ha repetido la fase de ventilación activa en la semana octava y novena.

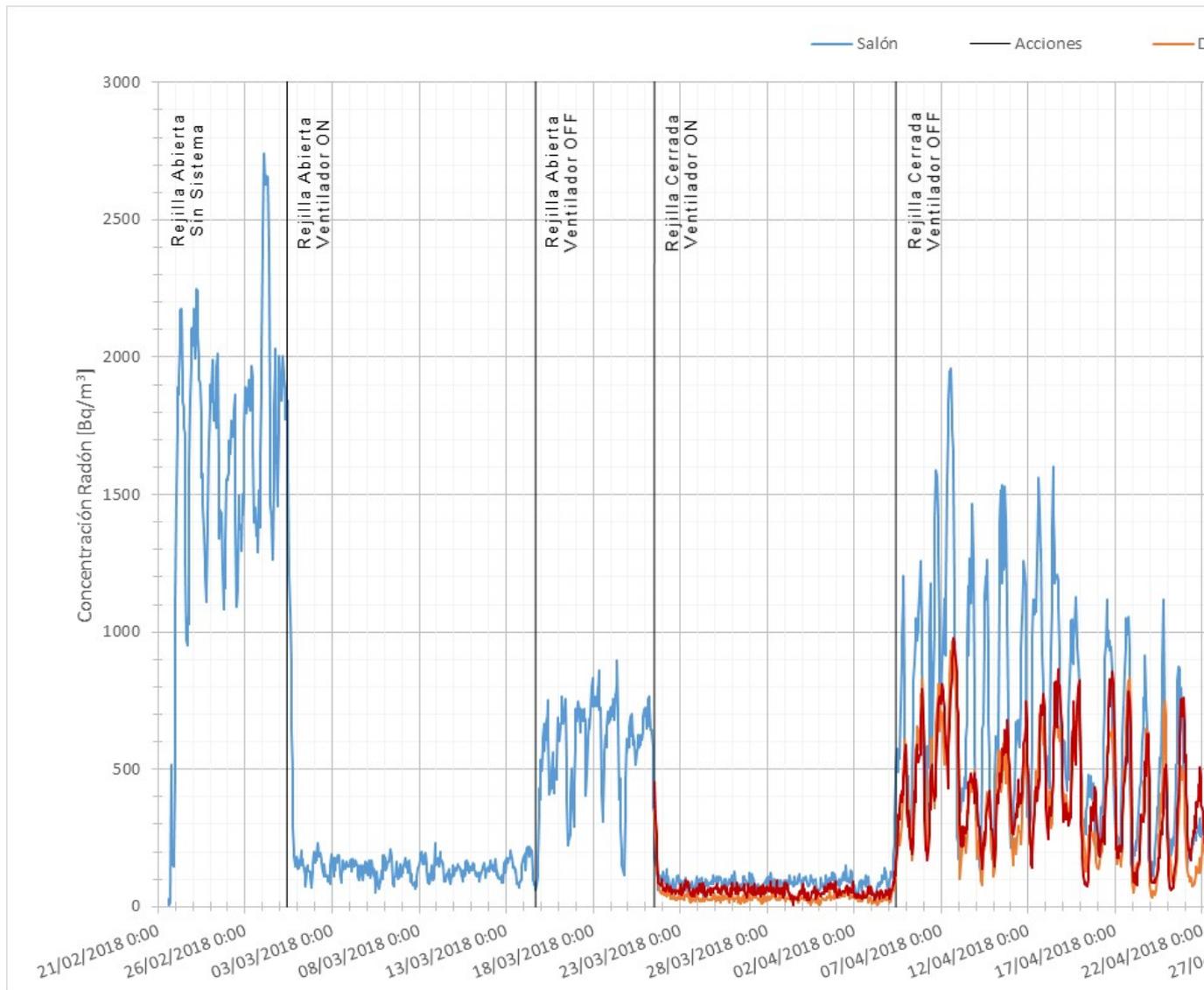


Figura 16. . Concentraciones de gas radón a lo largo de todas las fases de actuación en salón, despacho y cocina

Tabla 8. Concentraciones promedio de radón Bq/m3 en las diferentes fases y estancias estudiadas.

	Referencia	Fase Despresurización		Fase Ventilación	
		Activa	Pasiva	Activa	Pasiva
Promedio Salón	1626	89	634	161/177*	580
Promedio Despacho	-	35	369	85	-
Promedio Cocina	-	60	403	144	-

*\*Repetición fase ventilación activa (semana 8º y 9º).*

#### 4. Resultados y conclusiones

A la vista de los resultados arrojados por las fases de actuación recogidos en la Tabla 8, se desprenden las siguientes conclusiones.

En primer lugar, partimos de un nivel de referencia medio de  $1626 \text{ Bq/m}^3$ , más alto que el medido con anterioridad por los detectores pasivos en la fase de diagnóstico previa, que oscilaban entre  $700$  y  $900 \text{ Bq/m}^3$ . La variación de este fenómeno, viene motivada por efectos atmosféricos tales como precipitaciones, velocidad del viento, oscilaciones en la presión atmosférica y temperaturas.

*Figura 17. Relación entre concentraciones de gas radón y temperaturas exteriores medidas durante la fase de referencia.*

En la Fig. 17, se aprecia la relación antagónica entre las oscilaciones cíclicas diarias de la temperatura exterior, medida por la estación meteorológica del Servicio Municipal de Protección Civil de Torreldones, y la concentración de gas radón en el interior de la vivienda durante la fase de referencia posterior a la instalación de las medidas de actuación.

En cuanto a las actuaciones pasivas de despresurización y de ventilación, se ha demostrado que reducen la concentración de gas radón,  $634 \text{ Bq/m}^3$  y  $580 \text{ Bq/m}^3$  respectivamente, pero, aun así, los valores obtenidos son muy superiores a los recomendados por la normativa europea que regula la exposición al gas radón (2013/59/EURATOM), la cual, tiene como límite  $300 \text{ Bq/m}^3$ .

Las fases activas de actuación, tanto despresurizando como ventilando el espacio bajo solera, obtienen buenos resultados. No obstante, se aprecia como la despresurización activa consigue bajar los valores medios por debajo de  $100 \text{ Bq/m}^3$  ( $89$ ,  $35$  y  $60 \text{ Bq/m}^3$  en Salón, despacho y cocina respectivamente) en todos los casos. Por otro lado, la ventilación activa, consigue reducir los niveles de concentración por debajo del límite marcado por la directiva europea ( $161/177$ ,  $85$  y  $144 \text{ Bq/m}^3$  en Salón, despacho y cocina respectivamente), pero las oscilaciones de esta fase mostradas en la Fig.16, hacen sospechar que tiene una mayor sensibilidad a los cambios atmosféricos.

A pesar de estos resultados reflejados, se escogió la opción de ventilación activa como alternativa final de remediación, ya que los propietarios de la vivienda no hacen un uso cotidiano de la misma, por lo tanto, el ventilador no sería utilizado de forma continua, y

se primó tener un espacio ventilado bajo la vivienda con el fin de evitar humedades y concentración de radón excesiva cuando la vivienda no se encuentra habitada.

El trabajo desarrollado en esta publicación se enmarca dentro del proyecto de investigación RADON CERO (BIA 2014-58887-R) desarrollado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, la Universidad de Cantabria y la Universidad de Alicante.

Los autores quieren remarcar la contribución y la implicación del Servicio Municipal de Protección Civil de Torrelodones en las tareas de localización de demostradores, divulgación y cesión de los datos meteorológicos para el siguiente trabajo.

# RUMBO 20.30.



26  
NOV

29  
NOV

**CONAMA 2018**  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE