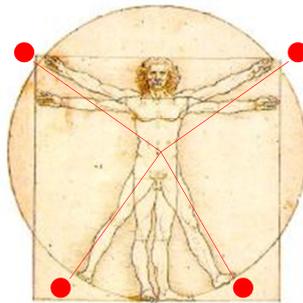


TECNOLOGÍ@ y *DESARROLLO*

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

VOLUMEN XVI. AÑO 2019

SEPARATA



DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL Y LA SIMULACIÓN A LA REALIDAD PARA COMBATIR AL GAS RADÓN. (TÓXICO Y RADIATIVO)

José Ramón Gómez Lameiro



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: José Ramón Gómez Lameiro
Junio, 2019.

© De la edición: *Revista Tecnol@ y desarrollo*
Escuela Politécnica Superior.
Universidad Alfonso X el Sabio.
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).
ISSN: 1696-8085
Editor: Javier Morales Pérez – tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL Y LA SIMULACIÓN A LA REALIDAD PARA COMBATIR AL GAS RADÓN. (TÓXICO Y RADIATIVO)

José Ramón Gómez Lameiro

Ingeniero de Edificación
Universidad Alfonso X el Sabio. Tlf: +56 9 50143625/ +34 647647159, email:
moncho.lameiro@constructorasanjose.com

RESUMEN: Lo que se pretende con este trabajo es, de alguna manera, desenmascararlo haciendo una analogía con el humo, cuya densidad también es mayor que la del aire, para poder observar su comportamiento en función de las medidas correctoras de ventilación adoptada en la vivienda o local en donde su concentración sea alta. “Ver para creer” Hoy el avance de la tecnología está fuera de toda duda, por lo que debemos aprovecharla, en este caso, en beneficio de nuestra salud y bienestar, tanto público como individual. Lo importante es darle una solución al problema con la finalidad de mejorar nuestra salud pública.

Como el Gas Radón es invisible, vamos a proceder en este trabajo a simular de forma análoga, con humo denso, su comportamiento a través de la ventilación natural.

PALABRAS CLAVE: Radón Viviendas, Radón Invisible.

ABSTRACT: The aim of this work is to somehow unmask it by making an analogy with smoke, whose density is also greater than that of air, in order to be able to observe its behavior according to the corrective measures of ventilation adopted in the house or place Where its concentration is high. "Seeing is believing"

Today the advance of technology is beyond doubt, so we must take advantage of it, in this case, for the benefit of our health and well-being, both public and individual. The important thing is to give a solution to the problem in order to improve our public health.

As the Radon Gas is invisible, we will proceed in this work to simulate in an analogous way, with dense smoke, its behavior through natural ventilation.

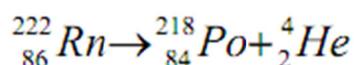
KEY-WORDS: Radon Homes, Invisible Radon.

SUMARIO: 1. Introducción 2. Detección de una amenaza 3. Grado de innovación que se pretende 4. Objetivos e hipótesis 5. Metodología 6. Conclusiones 7. Bibliografía básica.

1. INTRODUCCIÓN

El radón es un elemento químico perteneciente al grupo de los gases nobles. En su forma gaseosa es incoloro, inodoro e insípido y en forma sólida su color es rojizo. En la tabla periódica tiene el número 86 y símbolo Rn. Su masa media es de 222, lo que implica que por término medio tiene $222 - 86 = 136$ neutrones. Igualmente, en estado neutro le corresponde tener el mismo número de electrones que de protones, esto es, 86. Es un elemento radiactivo y gaseoso, encuadrado dentro de los llamados gases nobles.

El radón es un gas noble (el más pesado), incoloro e inodoro. Se origina en la desintegración del ^{226}Ra y, a su vez, el ^{222}Rn es radiactivo, emite una partícula α y se origina polonio según la transformación:



La cadena de desintegración a la que pertenece el ^{222}Rn y sus descendientes es la serie radiactiva del ^{238}U .

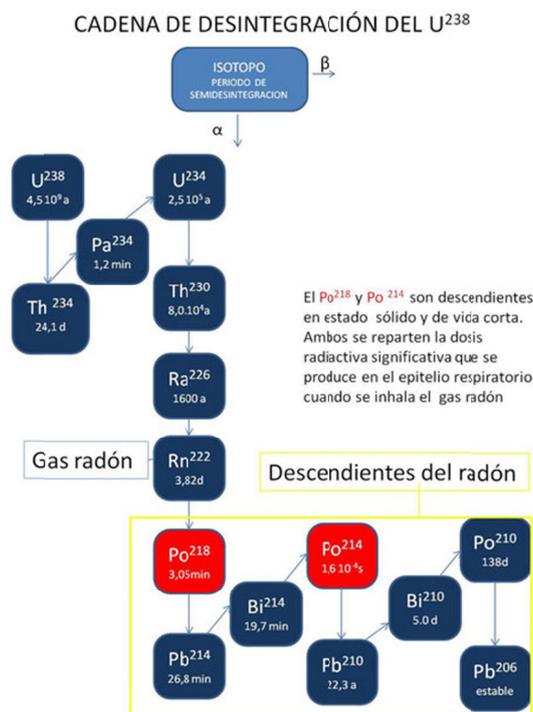


Figura 1.1 Cadena de desintegración del Uranio 238 y descendientes del Radón.

Las fuentes de radón en domicilios son principalmente: el suelo sobre el que se asienta el edificio, las paredes, piso, techo, agua y gas utilizados. El radón puede penetrar en el edificio por todas las aberturas, por mínimas que sean: desde pequeñas fisuras y orificios tales como los poros de bloques de cemento. Recordemos que el radón procede de la cadena de desintegración del uranio. Este último tarda en reducirse a la mitad unos 4.500 millones de años y en cambio el radón tarda 3,8 días. Es fácil deducir que siempre habrá uranio y radio para transformarse en radón, y por lo tanto podemos concluir que la exhalación media en los domicilios no sufrirá grandes fluctuaciones.

El radón es capaz de viajar entre los poros del suelo hasta alcanzar la superficie debido a la diferencia de presión entre los poros por donde viaja el gas y el espacio cerrado, estableciéndose un flujo desde el terreno hasta el interior de la edificación. Los mecanismos son por gradiente de presión (convección) y por gradiente de concentración (difusión). El tipo de suelo es el factor más importante, sobre todo si la roca madre sobre la que se asienta es rica en uranio. El ejemplo más representativo es el del granito. Además, cuanto más agrietado esté el suelo, mayor es probabilidad de emisión. Por este motivo el sótano, en caso de haberlo, es el que mayor concentración sufrirá ya que suele estar encajado en una cavidad rocosa. El radón acumulado en el sótano puede emigrar hacia la primera planta por convección y difusión a través del techo del mismo.

Sabemos que en el noroeste de España, existe un alto grado de concentración del gas radón, y es ahí en donde se encuentra situada la vivienda construida en la cual se va a llevar a cabo el estudio de investigación por ser ésta una región con un terreno mayoritariamente granítico, siendo uno de los terrenos más proclives a acumular gas radón y, como consecuencia es una zona con altas concentraciones, según los estudios realizados y, con los cuales Investigadores de la UNED y del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN GS-11.2/12) han elaborado el primer mapa que, basado en mediciones en viviendas, utiliza métodos estadísticos para delimitar las zonas con mayor riesgo de exposición a este gas en la península. Estas regiones se localizan, sobre todo, en la parte occidental (Figura 1.2)

Este trabajo se pretende llevar a la práctica real en una vivienda existente, los estudios e investigaciones realizadas de forma experimental y simulada, realizados por el Dr. Borja Frutos y el Dr. Antonio Rodríguez.

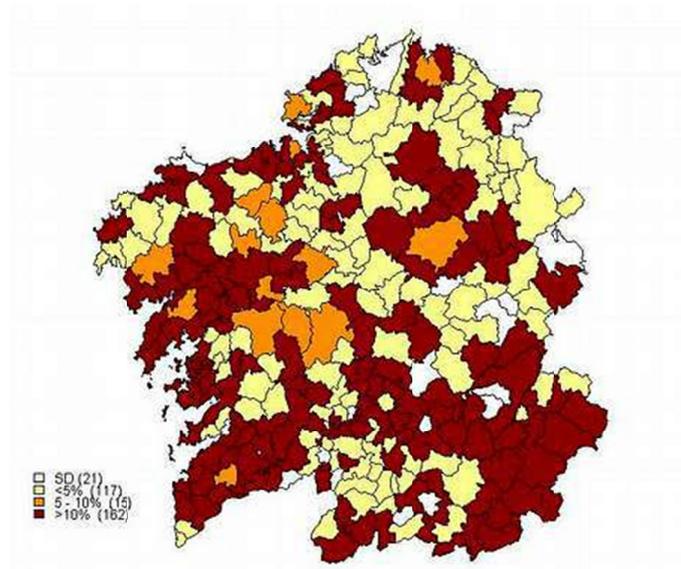


Figura 1.2 Mapa de Radón de Galicia por municipios.

Fuente: http://www.lavozdeg Galicia.es/sc/x/default/2014/12/14/0012_201412SX14P16F2jpg/Foto/SX14P16F2.jpg

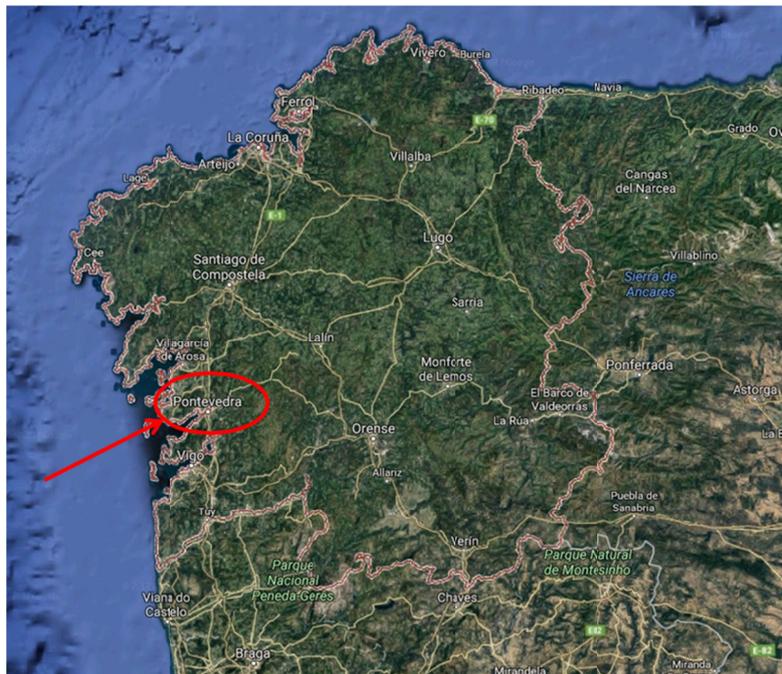


Figura 1.3 Emplazamiento de la vivienda en estudio.

Fuente: <https://www.google.cl/maps/place/Pontevedra,+Espa%C3%B1a/@42.4338595,-8.6568553,14z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd2f71cf339da6d7:0x6d5b163a1be431d4!8m2!3d42.4298846!4d-8.6446202?hl=es>

2. DETECCIÓN DE UNA AMENAZA

El gas radón es una amenaza invisible, aunque muy sencilla de neutralizar:

¿Por qué preocuparse por el radón?

Porque el radón contenido en el aire que se respira puede causar cáncer de pulmón. Las partículas radiactivas que el radón emite al descomponerse pueden quedar atrapadas en sus pulmones. A medida que continúan descomponiéndose en el interior de los pulmones, estas partículas despiden pequeñas cantidades de energía que pueden dañar los tejidos del pulmón y causar cáncer.

Equipos de Medición:

Para la prueba, los equipos de medición deben colocarse en un área que se use habitualmente (por ejemplo, la sala, el cuarto de juegos, el cuarto de estar o el de dormir), no siendo significativos, la cocina y el baño. Se colocarán por lo más próximos del piso, alejados de las paredes exteriores y, donde no sean perturbados por las corrientes de aire, del calor y la humedad excesivos. Hay que tener en cuenta que los niños se pasan mucho tiempo, andando y jugando, pegados al suelo.

El resultado de una prueba realizada por un vecino no es una buena indicación de que nuestra vivienda tenga un problema de radón porque los niveles de radón varían de una vivienda a otra. La única manera de saber si una vivienda tiene un problema de radón es hacer la prueba de detección.

El ser humano siempre ha estado expuesto a distintos tipos de radiación, mayoritariamente originadas por fuentes naturales.

En los últimos años se ha determinado que la fuente de radiación de origen natural que más contribuye a la dosis efectiva recibida por el ser humano es un gas (incolores, insípido e inodoro) denominado radón. Se ha estimado que el radón y los radionucleidos resultantes de su desintegración, conocidos como progenie del radón, contribuyen aproximadamente con la mitad de la dosis efectiva recibida de la totalidad de las fuentes naturales. La mayor parte de la dosis debida al radón proviene de su progenie.

El gas radón fluye de los suelos, rocas y aguas, dispersándose en la atmósfera, pero si entra en los edificios con poca ventilación, su concentración puede aumentar. El radón se encuentra en el aire que respiramos y se desintegra para formar otros átomos radiactivos que, al ser inhalados, pueden alojarse en el pulmón e irradiar el tejido.

¿Qué pasa con los Niños y la presencia de Gas Radón?

No hay evidencia concreta que sugiera que los niños corren un riesgo más grande que los adultos, aun cuando exista un tiempo más largo entre la exposición y el desarrollo del cáncer. Sin embargo:

- Los niños tienen pulmones más pequeños y por lo tanto una tasa de respiración más alta.
- Los niños pasan más del 70% de su tiempo dentro de la habitación que los adultos.
- Los niños pasan durante su infancia la mayor parte del tiempo muy cerca del suelo.
- El cáncer de los pulmones causado por el gas Radón se asocia con la cantidad total de exposición durante la vida, cualquiera exposición que se tuvo durante la niñez va a contribuir al riesgo de salud para dicho individuo.

Recordemos que la exposición a radiaciones ionizantes tiene un efecto acumulativo; por lo tanto, también es imprescindible evitar la exposición en los centros educativos, donde los niños pasan tanto tiempo.

Como el radón se acumula y tiene un periodo de semidesintegración de 3.8 días, ventilar diariamente las habitaciones reduce considerablemente el nivel de radón. Ventilar cada día es muy importante para la salud. No solamente por el radón, sino por la acumulación de vapores de los plásticos, disolventes o metales, etc. presentes en nuestra vivienda.

Medidas para reducir el nivel de radón en interiores.

Es difícil dar reglas generales aplicables a todas las situaciones en que pueda existir radón en un interior ya que la experiencia está demostrando que no hay dos edificios iguales y que las medidas a tomar dependerán del tipo de edificio, de su construcción y de la utilización que se le dé. Sin embargo, en líneas generales, las principales acciones que podrían tomarse para limitar la entrada y/o el nivel de concentración de radón serían las siguientes:

Despresurización del espacio entre el suelo del edificio y el terreno para reducir la entrada de radón. Un buen aislamiento térmico de ese espacio ayuda a conseguirlo.

Aumento de la tasa de ventilación del edificio para facilitar la eliminación de radón. Este es uno de los métodos más asequibles, pero hay que evitar que se generen depresiones en el edificio que pueden tener un efecto contrario. Con el aislamiento térmico evitamos que se provoque el efecto contrario.

Recubrimiento de los elementos con productos ligeros impermeables al paso del gas radón. (Suelo y/o paredes) que presenten una emisión de radón elevada y así reducir la acumulación de radón en el interior del edificio.

El gas radón no puede ser percibido por ningún sentido. Medir su concentración, es la única forma de saber si tu vivienda tiene una concentración que pone en riesgo tu salud. Para ello, según ha expuesto el director del Laboratorio de Radón de Galicia, hay una solución muy básica: "hacerle un camino al gas, que se cuele por todas partes, para que no suba por donde no debe".

Reducir los niveles de radón requiere conocimientos y habilidades especiales. Debe contratar a un profesional de radón calificado que esté capacitado en arreglar los problemas de radón y que pueda ayudarle a elegir el método de tratamiento adecuado.

Para poder detectarlo se utilizarán equipos de medición para saber su grado de concentración en el entorno donde habita con nosotros. Con las mediciones obtenidas se procederá a buscar la mejor solución correctora para mitigar la concentración del gas radón en su interior, previo análisis y posterior diagnóstico de cómo está construida la vivienda. En la figura 2.1 se puede apreciar la planta de la vivienda objeto de este trabajo.

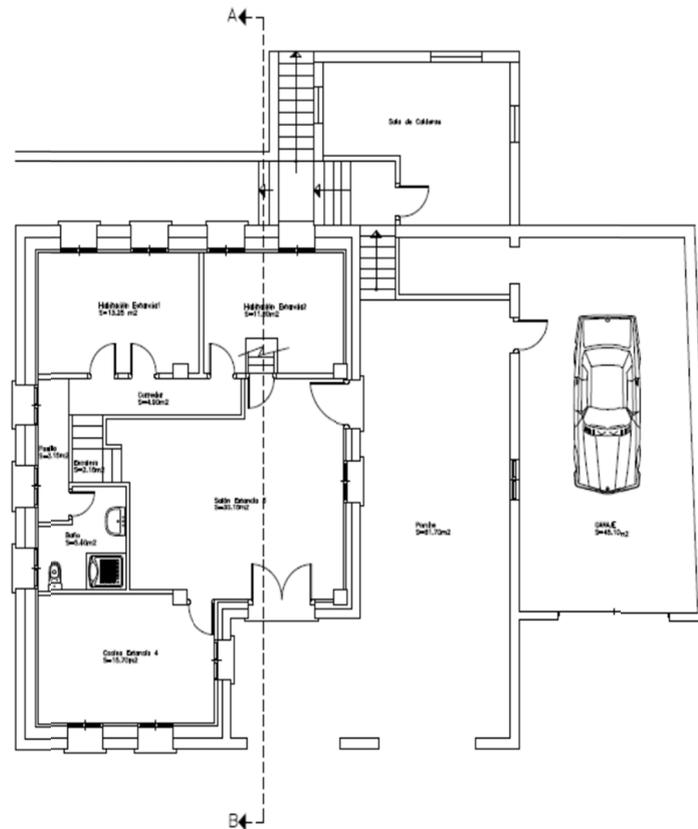


Figura 2.1. Planta de la vivienda afectada por la presencia del Gas Radón.

3. GRADO DE INNOVACIÓN QUE SE PRETENDE

Como bien dice el Dr. Antonio Rodríguez en su tesis “*Sobra decir que, al investigar en las soluciones sobre edificios construidos, se está dando un paso más en el desarrollo de los sistemas en edificios para construir y, en este caso, con una finalidad dirigida a conseguir una mayor protección de la salud de la población*”.

A continuación, se puede observar en la siguiente figura que las radiaciones (alfa) del radón, recorren en el aire, una distancia muy pequeña y son detenidas por una hoja de papel o la piel del cuerpo humano.

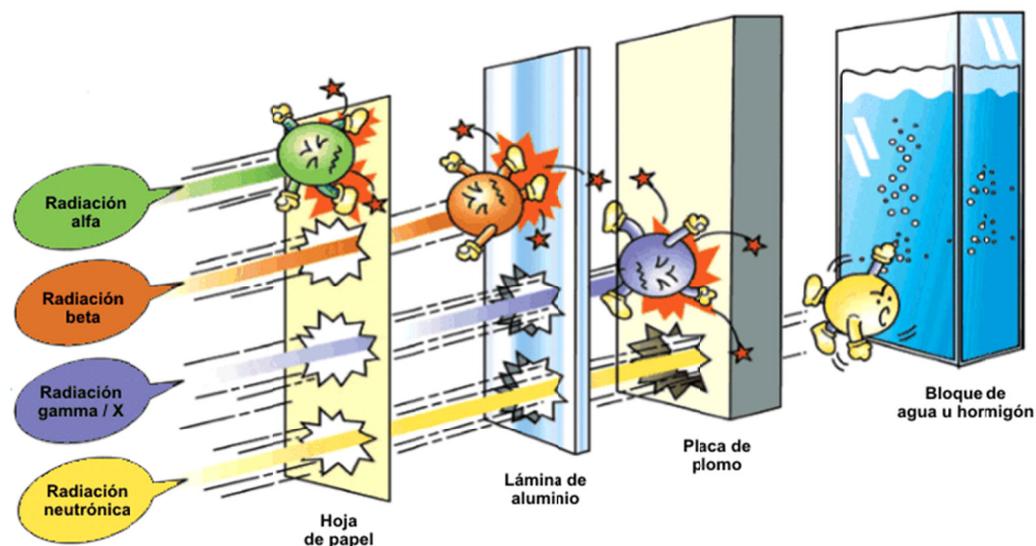


Figura 3.1 Distintas barreras contra la radiación.

La vivienda está construida con muros portantes de sillares macizos de piedra del país de 27 cm de espesor y los muros de contención de tierras, norte y este son de piedra de granito de porriño y está asentada sobre una superficie plana rocosa, cuya excavación ha sido realizada mediante la utilización de explosivos, con la consiguiente fracturación de la roca madre donde se asienta.

Como se ha dicho anteriormente, es importante la despresurización del espacio entre el suelo del edificio y el terreno para reducir la entrada de radón, para ello el suelo de la vivienda se encuentra separado de terreno a través de una cámara sanitaria en gran parte de la superficie de la vivienda excepto en la bodega, en la cual el suelo está asentado sobre una cama de grava con un drenaje con salida a la cámara sanitaria.

La roca existente en la parcela se denomina como “piel de sapo” por su compacidad y difícil fracturación.

La superficie de la vivienda sobre cámara sanitaria es de 61,45 m² y la correspondiente a la que está sobre la bodega es de 25,05 m².

Como el radón es más denso que el aire, lleva a que en locales cerrados y sin ventilación su concentración sea mayor a nivel de suelo. Es por ello que debemos tener presente que a ese nivel tan bajo su peligrosidad es mayor en los niños, ya que pasan su infancia prácticamente pegados al suelo y arrastrándose por él. Por esto, considero que las mediciones de concentración del radón deberían hacerse a ras del suelo.

Hay que estudiar y analizar cada vivienda en función de su construcción, situación, uso, orientación y hacer un diagnóstico para aplicar las soluciones constructivas más indicadas para corregir el problema para mitigar la concentración de gas radón en su interior.

En la figura 3.2, se pueden apreciar los puntos de ventilación realizados después del diagnóstico obtenido, permitiendo conseguir la ventilación de la cámara sanitaria existente y de la zona de la bodega, a través de la cámara de aire del cerramiento exterior de la vivienda, permitiendo así la renovación del aire, y a su vez mitigar la concentración de gas radón.

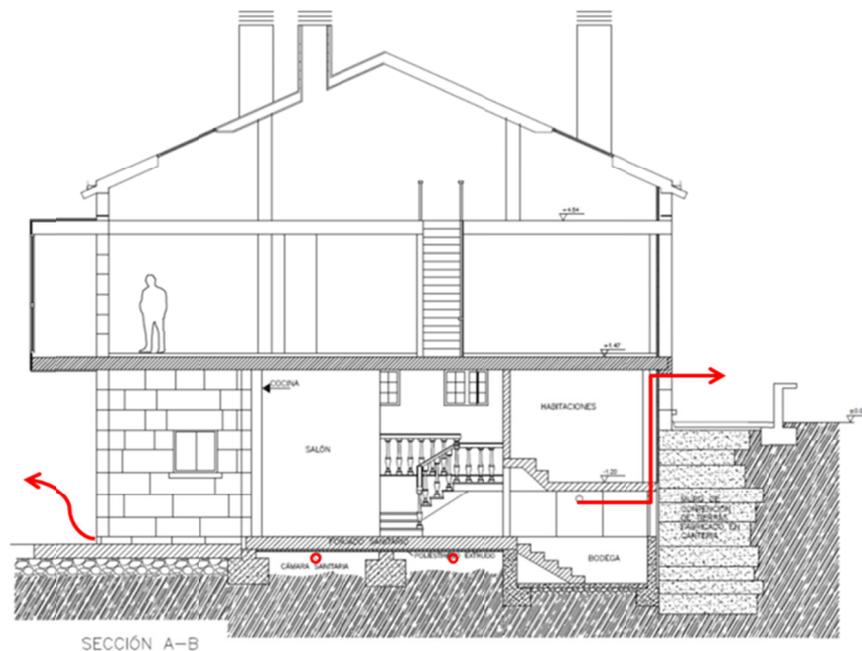


Figura 3.2. Sección transversal A-B

Si partimos de que innovar es introducir cosas nuevas, eso es lo que tenemos que hacer ante la presencia del gas radón en el ambiente que nos rodea en el interior de nuestras viviendas y lugares de trabajo.

La ventilación es uno de los mejores recursos para evitar la concentración de gas radón. Como medida preventiva y, a falta de una solución constructiva eficaz y económica, se puede proceder a instalar sistemas de detección con alarma para que en los momentos de alta concentración podamos ventilar la casa de forma manual, por nuestro propio bien.

Lo importante es ser conocedores de la realidad existente en nuestros hogares y centros de trabajo y estudio, así como en las guarderías de nuestros niños, las cuales suelen ser de planta baja.

Hoy el avance de la tecnología está fuera de toda duda, por lo que debemos aprovecharla, en este caso, en beneficio de nuestra salud y bienestar, tanto público como individual. Lo

importante es darle una solución al problema con la finalidad de mejorar nuestra salud pública.

¿Qué hacer entonces?

Podemos conocer la concentración del gas radón en un local y en un recipiente gracias a las mediciones realizadas con equipos especiales para ello. Pero como el gas radón es invisible, no lo podemos ver y por ello resulta difícil saber cómo se comportan, de forma visual, las soluciones adoptadas para su mitigación y su eficacia. Para ello vamos a proceder, de alguna manera, a desenmascarar al gas radón.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Para impedir la entrada del gas radón y, así su concentración, se puede colocar una barrera artificial, implementando diversos materiales de construcción, como pueden ser: impermeabilizantes y aislantes, pinturas de resinas, etc. o buscar una solución natural, que permita a través de las corrientes de aire, de forma natural o forzada, su salida al exterior mitigando la concentración.

En la vivienda que nos ocupa para realizar este trabajo, y dadas sus soluciones constructivas, vamos a buscar una solución de ventilación natural a través del movimiento del aire, el cual genera una fuerza capaz de transportar el gas radón hacia el exterior.

Como se ha mencionado anteriormente, se han estudiado soluciones constructivas, experimentales y simuladas, para evitar la acumulación de gas radón en los edificios, pero estos estudios raramente están fehacientemente contrastados en viviendas ya construidas y, entre estos, destaca por su calidad la ya citada tesis doctoral del Dr. Borja Frutos “*Tesis experimental sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en edificaciones*”, tesis experimental basada en la construcción de un módulo experimental. Y también la citada tesis doctoral del Dr. Antonio Rodríguez “*Soluciones constructivas para controlar la concentración de gas radón en edificación*”, tesis experimental basada en cajas-laboratorio. Pero ahora hay que intervenir al enfermo directamente para mejorar su salud.

¿Cómo desenmascarar al Gas Radón?

Como el gas radón es invisible y más denso que el aire, tiende a depositarse en las partes bajas de las viviendas y locales y por convección sube.

Lo que se pretende con este trabajo es, de alguna manera, desenmascararlo haciendo una analogía con el humo, cuya densidad también es mayor que la del aire, para poder observar su comportamiento en función de las medidas correctoras de ventilación adoptada en la vivienda o local en donde su concentración sea alta.

5. METODOLOGÍA

Después de haber hecho un análisis exhaustivo de la vivienda y obtenido el diagnóstico, se procederá al realizar las perforaciones necesarias para obtener una ventilación adecuada que permita la mitigación de la concentración de gas radón en el interior de la cámara sanitaria de la vivienda.

Para la realización de las perforaciones en la fachada se utiliza un taladro con una broca de diamante, al igual que si se fuera a sacar un testigo, según se puede apreciar en la fotografía. (Figura 5.1)



Figura 5.1. Maquinaria de perforación para realizar ventilaciones a través de la fachada y perforación inclinada hacia la cámara bajo el forjado sanitario.

Estos primeros taladros se realizan a nivel de solera. Con ello se supone que la concentración, y por consiguiente la presión que esta concentración ejerce, se verá liberada por las perforaciones realizadas y el gas tenderá a salir hacia el exterior debido a la diferencia de presión, que es menor en el exterior, debido al efecto que se produce de convección.

Esto se ha podido comprobar en las soluciones adoptadas en las tesis mencionadas de los Doctores, Borja y Antonio, a través de las arquetas.

La ventaja, en este caso de la vivienda, es considerable puesto que la teórica arqueta de dimensiones de 1,00 x 1,00 m. corresponde a la totalidad de la superficie de la vivienda en contacto con el terreno, con lo que la diferencia es muy de tener en cuenta debido a que la concentración de gas radón ocupa con su volumen toda la superficie a tratar.

En la figura 5.2 se puede apreciar el aislamiento térmico, formado por planchas de poliestireno extrusionado pegado al techo de la cámara sanitaria, evitando así diferencias de temperatura entre la vivienda y la cámara sanitaria. Con este aislamiento se evita en gran medida la migración del gas radón hacia el interior de la vivienda al minimizar el puente térmico y generar una barrera.



Figura 5.2. Aislamiento con planchas de poliestireno extruido pegadas a techo sanitario.

Para evitar posibles presiones y un vacío en el interior de la cámara sanitaria se procede a realizar nuevas perforaciones a una mayor altura que las iniciales, justo debajo del forjado de techo de la vivienda en planta baja, sobre la fachada lateral y opuesta para generar una corriente de aire a través de la cámara de aire de fachada haciendo de chimenea.

(Figura 5.3)



Figura 5.3. Ejemplos de perforación a distinto nivel en horizontal.

PRUEBA DE HUMO

“Una Imagen vale más que mil palabras”

Con botes de humo colocados en la cámara sanitaria, podremos ver los flujos de aire que se generan en su interior y a su vez el desplazamiento del humo hacia las perforaciones realizadas en las fachadas, obteniendo así una ventilación natural que, al igual que arrastra el humo, se llevará consigo al gas radón que se encuentre concentrado en su interior.

Ver para creer:

Independiente de que podamos observar cómo se va el humo, la única manera de tener la certeza de cuanta concentración de gas radón hay en un espacio, es midiendo y comprobando de vez en cuando, al igual que nos hacemos revisiones médicas periódicamente. La salud es lo importante y de ahí que sean aconsejables las revisiones periódicas para una buena prevención. (Figura 5.4).

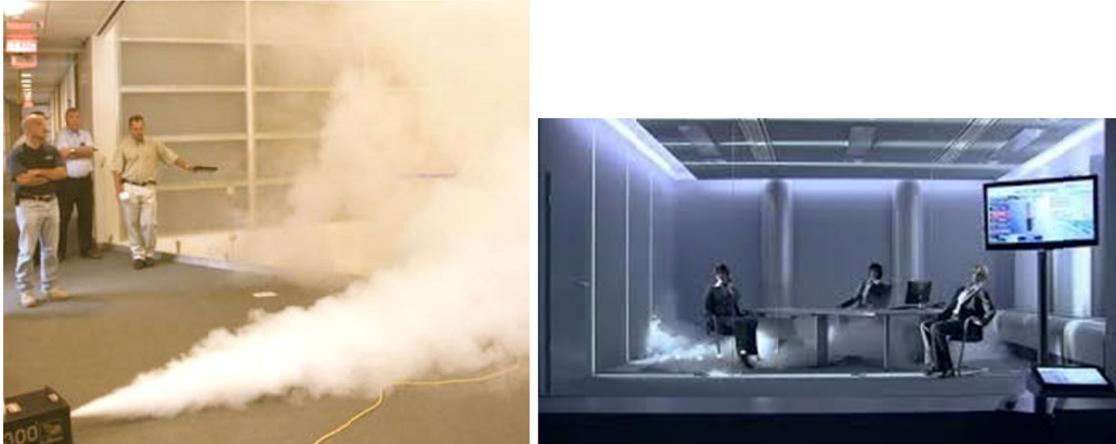


Figura 5.4. A medida que se dispersa el humo podemos observar cómo es evacuado por la ventilación.

Como se puede apreciar en la imagen de la figura 5.5, se coloca un bote de humo en el interior de la cámara sanitaria y se activa.



Figura 5.5 Bote de humo activado al interior de cámara sanitaria.

A continuación, se revisan las ventilaciones para ver por dónde sale el humo y así comprender la circulación del aire desde la cámara sanitaria, Como se puede apreciar en la figura 5.6.



Figura 5.6. Salida del humo por las ventilaciones de la cámara sanitaria.

La prueba se ha realizado el día 19 de junio del 2017 y corresponde a un mes del verano en Galicia. Es un día de calor, con el cielo limpio y no hay brisa alguna de aire. En la figura 5.7, se pueden apreciar los datos de la estación meteorológica que se encuentra en la misma zona, Lourizán, en donde está la vivienda.

Resultados da consulta para: Lourizán (Pontevedra)

Cod. Validación	Data	Parámetro (Unidades)	Valor
1	19/06/2017	Temperatura media (°C)	22,6
1	19/06/2017	Temperatura máxima (°C)	29,3
1	19/06/2017	Temperatura mínima (°C)	16,3
1	19/06/2017	Humidade relativa media (%)	83
1	19/06/2017	Humidade Relativa Máxima (%)	100
1	19/06/2017	Humidade Relativa Mínima (%)	60
1	19/06/2017	Temperatura de Orballo (°C)	19,2
1	19/06/2017	Temperatura de Orballo (°C)	19,2
1	19/06/2017	Horas de Frío (Base 7 °C) (h)	0
1	19/06/2017	Horas de Sol (h)	7,3
1	19/06/2017	Irradiación Global Diaria (10kJ/(m2.día))	2003
1	19/06/2017	Índice Ultravioleta Máximo ()	5
1	19/06/2017	Insolación (%)	48,4
1	19/06/2017	Velocidade do Vento (km/h)	1,48
1	19/06/2017	Refacho (km/h)	20,45
1	19/06/2017	Dirección do Refacho (Graos)	247
1	19/06/2017	Dirección do vento predominante (Graos)	-1
1	19/06/2017	Chuvia (L/m2)	0
1	19/06/2017	Balance hídrico (L/m2)	-4,5
1	19/06/2017	Evapotranspiración de Referencia (L/m2)	4,5
9	19/06/2017	Presión Barométrica (hPa)	-9999
9	19/06/2017	Presión reducida ao nivel do mar (hPa)	-9999

*O valor -9999 indica dato non rexistrado
No caso do parámetro **Dirección do vento predominante**, o valor -1 indica dirección variable.*

Lenda dos códigos de validación

Figura 5.7. Datos obtenidos de la estación meteorológica de Lourizán.

Fuente: <http://www2.meteogalicia.gal/galego/observacion/estacions/estacionsHistorico.asp?Nest=10064&prov=Pontevedra&tiporede=automaticas&red=102&idprov=3>

Como se puede apreciar, al no haber corrientes ascendentes de aire, el humo sale por la rejilla más baja, situada al final de la galería (figura 5.8) que recorre toda la cámara sanitaria y que a su vez también recoge las posibles aguas que se puedan filtrar del terreno, sobre todo en tiempo de lluvias.



Figura 5.8. Rejilla ubicada al final de la galería y salida de humo.

Para comprobar si las demás ventilaciones, colocadas a distintos niveles funcionan, se ha colocado un ventilador centrífugo en la rejilla a nivel de galería (figura 5.9) y se ha procedido a comprobar el resto de las ventilaciones que están a nivel de suelo (figura 5.10) y a nivel superior (figura 5.11)



Figura 5.9. Ventilador centrífugo colocado en la salida de la ventilación.



Figura 5.10. Ventilaciones a nivel del suelo.

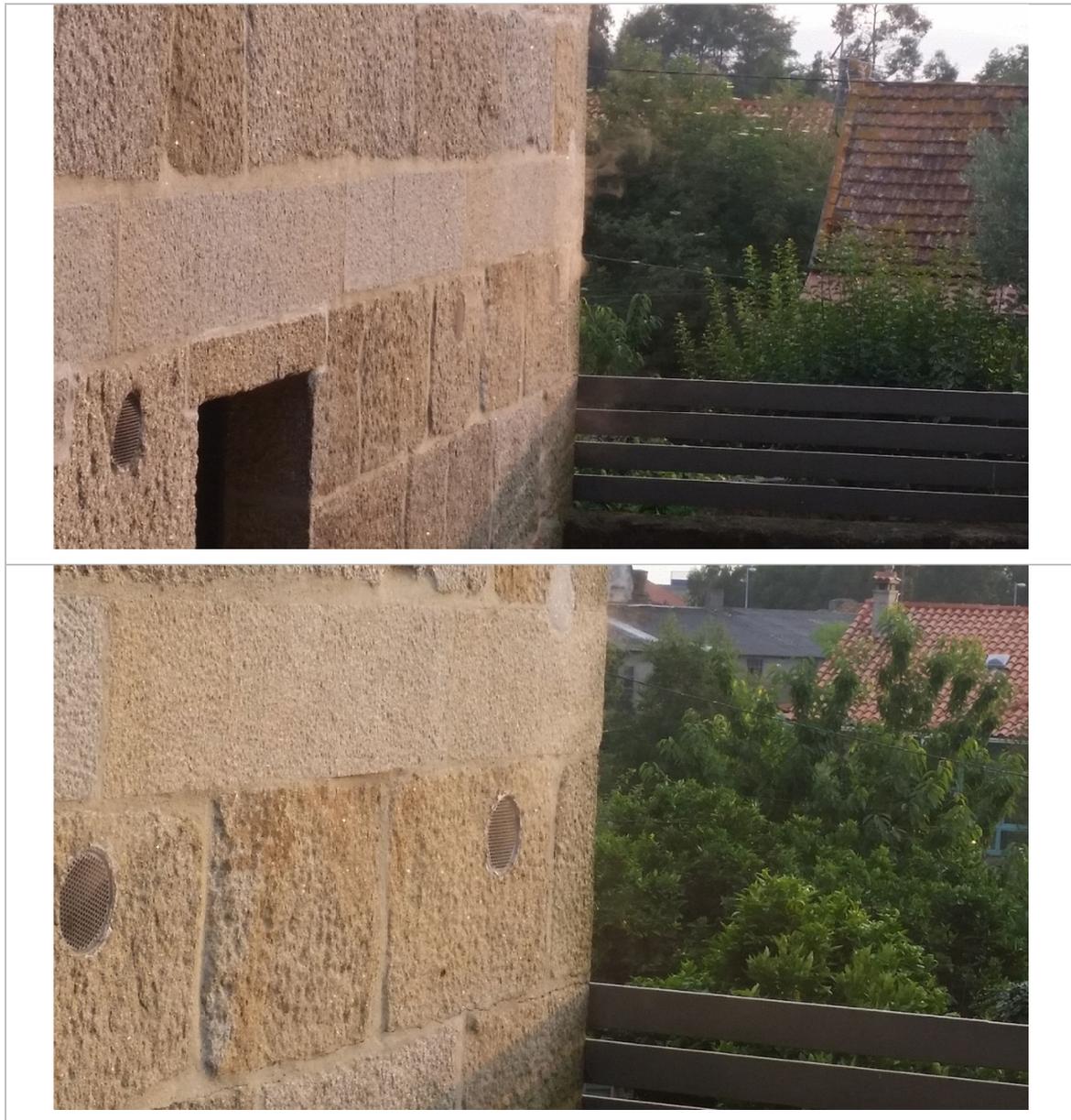


Figura 5.11. Ventilaciones a nivel superior.

De la prueba realizada es importante destacar las siguientes observaciones visualizadas.

- Por su densidad, el humo ha buscado la salida más fácil, siendo la ventilación más baja. Podemos deducir que eso mismo haría el agua.
- En su recorrido el humo no se detiene porque no hay depresión debido a las demás ventilaciones que permiten la entrada del aire por succión.

- Las ventilaciones cruzadas incrementar el flujo del aire tanto de salida como de entrada permitiendo la ventilación de la cámara sanitaria.
- Con las ventilaciones cruzadas es mucho más eficaz la ventilación forzada porque el aire al verse sometido a presión, sale por la ventilación que le resulta más fácil en función de la climatología del momento.

Independientemente de todo lo escrito hoy la tecnología nos ofrece diversidad de equipos de control, alerta y medición que debemos tener presentes para una segura estancia sin tener que correr riesgos que afecten a nuestra salud. En el apartado de conclusiones haremos mención a ellos.

6. CONCLUSIONES

Hay estudios experimentales y simulaciones, sobre soluciones para evitar que el gas radón penetre en las dependencias donde el ser humano desarrolla sus actividades cotidianas no laborables.

Con esta prueba podemos concluir que un buen drenaje que es eficaz para retirar las aguas que emanan del terreno, también será eficaz para mitigar la concentración de gas radón, debido a que su comportamiento es similar en cuanto a que ambos recurren a buscar la salida más fácil, siendo esa la que le tenemos que procurar.

Todos los estudios relacionados con el gas radón tienen una importancia especial en razón de la posibilidad de referencia como documento de consulta importante, de cara a servir de catalizador para la elaboración de una ineludible normativa que establezca unos niveles máximos de radón en los espacios habitacionales; para ello, se ha realizado este estudio real aplicado sobre una vivienda existente, para que así se vaya tomando conciencia de que hoy hay soluciones, posibles y al alcance, para que las condiciones de trabajo, estudio y vida de las personas se realicen en ambientes saludables para las personas.

De no poder intervenir de forma constructiva sobre la vivienda o por razones económicas, podemos acudir al mercado otras soluciones tecnológicas que no alarmen de la presencia de gas radón en nuestro entorno cercano.

7. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Andersen, C. E. (2001). Numerical modelling of radon-222 entry into houses: An outline of techniques and results. *Science of the total environment*, 272(1), 33-42.
- Ardila Bonilla, J. (2007). Radiactividad natural: el radón
- Auvinen, A., Mäkeläinen, I., Hakama, M., Castrén, O., Pukkala, E., Reisbacka, H., et al. (1996). Indoor radon exposure and risk of lung cancer: a nested case—control study in Finland. *Journal of the National Cancer Institute*, 88(14), 966-972.
- Barros-Dios, J. M., Barreiro, M. A., Ruano-Ravina, A., & Figueiras, A. (2002). Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study. *American Journal of Epidemiology*, 156(6), 548-555.
- Cadierno, J.-P. G. (2003). *Modelización de la concentración de radón en el interior de viviendas a partir de las tasas de exposición natural del proyecto MARNA*. Paper presented at the II Workshop Radon y Medio Ambiente.
- Cavallo, A., Gadsby, K., & Reddy, T. (1994). The use of computed radon entry rates to understand radon concentration in buildings. *Health physics*, 66(2), 178-184.
- Centre Scientifique et Technique de la Construction, C. (1999). Le radon dans les habitations. *Bélgica*.
- Commission, E. (2011). Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. . *European Commission*.
- Consejo de Seguridad Nuclear, C. (1998). *Medidas de radón en viviendas españolas : caracterización de sus fuentes*. Otros documentos CSN.
- Consejo de Seguridad Nuclear, C. (2000). Proyecto MARNA. *Mapa de Radiación Gamma Natural*.

- Darby, S., Hill, D., Deo, H., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., et al. (2006). Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 1-84.
- Darcy, H. (1856). *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*. Dalmont, París.
- Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes de 6 de julio de 2001 (2001).
- EB107, C. E. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.
- Assessment of Risks from Radon in Homes (2003).
- Europea, C. (1990). Recomendación del 21 de febrero (90/143 Euratom) from <http://vlex.com/vid/peligros-exposicion-radon-edificios-15488342>
- Recomendación de la Comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra peligros de una exposición al radón en el interior de edificios, 90/143/Euratom C.F.R. (1990).
- Fick, A. (1855). Ley de Fick. from http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Fick
- Font, L., & Baixeras, C. (2002). The RAGENA dynamic model of radon generation, entry and accumulation indoors. *Science of the total environment*, 307(1), 55-69.
- Frutos, B. (2010). *Estudio experimental sobre la efectividad y la viabilidad de distintas soluciones constructivas para reducir la concentración de gas radón en las edificaciones*. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid.
- Galicia, L. d. R. d. Mapa gallego de radón residencial. Retrieved 24-05-2013, from <http://www.usc.es/radongal/>
- Hintenlang, D. E., & Al-Ahmady, K. K. (1992). Pressure differentials for radon entry coupled to periodic atmospheric pressure variations. *Indoor Air*, 2(4), 208-215.

- Jirí Hulka, J. T. (2004). *"National Radiation Protection Institute"*. PRAHA, República Checa.
- Pacual Benés, A. (1999). *NTP 533: El radón y sus efectos sobre la salud*. Retrieved from http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_533.pdf.
- Quindós, L. (1995). *Radón: un gas radiactivo de origen natural en su casa*. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.
- Quindós Poncela, L., Arteché García, J., & Fuente Merino, I. (2006). Radón y meteorología.
- Radon, D. D. (2013). Marco Legislativo de la exposición al gas radón. from <http://www.detectivedonradon.com/2012/01/09/marco-legislativo-de-la-exposici%C3%B3n-al-gas-rad%C3%B3n/>
- Renault, P., Mohrath, D., Gaudu, J.-C., & Fumanal, J.-C. (1998). Air pressure fluctuations in a prairie soil. *Soil Science Society of America Journal*, 62(3), 553-563.
- Robinson, A. L., Sextro, R. G., & Riley, W. J. (1997). Soil-gas entry into houses driven by atmospheric pressure fluctuations—the influence of soil properties. *Atmospheric Environment*, 31(10), 1487-1495.
- Robles, B. (2004). *Fuentes de radón en el medio ambiente*. Paper presented at the III Workshop Radón y Medio Ambiente.
- Rodríguez Rodríguez, A. (2013). Soluciones constructivas para controlar la concentración de Gas Radón en Edificación. Universidad Alfonso X el Sabio. Escuela Politécnica Superior, Villanueva de la Cañada, Madrid.
- Roserens, G., Johner, H., Piller, G., Imbaumgarten, P., Binz, A., Fregnan, F., et al. (2000). Swiss Radon Handbook. *Swiss Federal Office of Public Health*.
- Sainz Fernández, C. (2005). *Radiación natural: radón*. Paper presented at the IV Workshop "Radiación natural y Medio Ambiente".

- Schery, S., Gaeddert, D., & Wilkening, M. (1984). Factors affecting exhalation of radon from a gravelly sandy loam. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 89(D5), 7299-7309.
- Schery, S., & Siegel, D. (1986). The role of channels in the transport of radon from the soil. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 91(B12), 12366-12374.
- Sesana, L., & Begnini, S. (2004). Hourly indoor radon measurements in a research house. *Radiation Protection Dosimetry*, 112(2), 277-286.
- Ward, D. C., Borak, T. B., & Gadd, M. S. (1993). Characterization of ^{222}Rn entry into a basement structure surrounded by low-permeability soil. *Health physics*, 65(1), 1-11.
- Washington, J. W., & Rose, A. W. (1992). Temporal variability of radon concentration in the interstitial gas of soils in Pennsylvania. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 97(B6), 9145-9159.
- Yu, K., Young, E., & Li, K. (1996). A study of factors affecting indoor radon properties. *Health physics*, 71(2), 179-184.
- Zhou, W., Iida, T., Moriizumi, J., Aoyagi, T., & Takahashi, I. (2001). Simulation of the concentrations and distributions of indoor radon and thoron. *Radiation Protection Dosimetry*, 93(4), 357-367.