

ESTUDIO DE LAS CONCENTRACIONES Y MECANISMOS DE DESPLAZAMIENTO DE RADÓN Y DESCENDIENTES EN RECINTOS CERRADOS

¹Puerto Ramírez, ²Carlos Morón, ³Alfonso García, ⁴Enrique Correa

¹ *Departamento de Sistemas Inteligente Aplicados, E.U. Informática, Universidad Politécnica de Madrid. puerto@eui.upm.es*

^{2,3} *Departamento de Tecnología de la Edificación, E.U. Arquitectura Técnica de Madrid*

⁴ *CIEMAT, Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid*

Palabras Clave: Radon 89.60-k; Indoor air Pollution 91.65.Dt; Semiconductor detectors 29.40 wk; Radiation dose 07.57 kp

Resumen

La importancia de la medida de concentración de radón en recintos cerrados radica en que la dosis debida a su presencia en el ambiente representa aproximadamente el 50% de la dosis total de la radiación de origen natural recibida por la población, estando presente tanto en espacios abiertos, como en el interior de edificios. Se han desarrollado numerosos estudios encaminados a determinar el riesgo radiológico por unidad de exposición. Para alcanzar este fin se han puesto a punto diversas técnicas que permiten analizar, tanto en una instalación de laboratorio como en espacios habitados, el factor de equilibrio, la fracción libre y el espectro dimensional de descendientes del radón en estado libre. Por otra parte, si tenemos en cuenta los mecanismos de desplazamiento del ²²²Rn sabemos que éste se difunde a través de las grietas del terreno y de los materiales de construcción. Por lo tanto, tendremos que en recintos cerrados el mecanismo difusivo es el más significativo, siendo en este caso determinante la longitud de difusión desintegrarse.

Abstract. The importance of radon's concentration indoors is due to its presence in the air being approximately 50% of natural radiation's total dose. It present in both closed and open-air environments. As a consequence the radiological risk due to natural radionuclides must be considered. Many studies have been developed in order to determine the radiological risk per exposition unit. To achieve this objective different techniques have been applied, which allow us analyze, in a laboratory or in habitable areas, the equilibrium factor, the free fraction and the dimensional spectrum of radon progeny.

Radon and Radon progeny concentration have been measured joint whit the meteorological conditions. The results obtained during the measuring of Radon and Radon progeny concentrations indoor and dose estimations have been analyzed. On the other hand, taking into account displacement mechanisms of ²²²Rn we know it spreads through land's pores and through construction's materials. Therefore indoors the diffusive mechanism is the most significant. In this case diffusion's length is important. It is defined as the average distance radon can displace in a determined material before disintegration.

Introducción

La importancia de la medida de concentración de radón en recintos cerrados radica en que la dosis debida a su presencia en el ambiente representa aproximadamente el 50% de la dosis total de la radiación de origen natural recibida por la población [1], estando presente tanto en espacios abiertos, como en el interior de edificios.

Se estima que una persona pasa alrededor de un 75 % de su tiempo en el interior de edificios. En consecuencia, en edificios de nueva construcción el diseño se realizará considerando la exposición a las concentraciones de radón y descendientes, de manera que no impliquen un riesgo para la salud de los ocupantes. Para conseguir este objetivo se propone como valor medio anual de concentración, a nivel de diseño, el indicado por la Unión Europea de 200 Bq/m³ [1,2], considerando que en promedio, la radiación total a la que el ser humano está expuesto representa una dosis equivalente de 1 mSv/año que se corresponde con lo que suele definirse como “fondo radiactivo”. La estimación de la dosis equivalente media recibida por los pulmones debida a radón se sitúa en 20 mSv/año [3] (dosis efectiva media de 2 mSv/año en todo el cuerpo)

En dosis altas, por encima de 1Gy [3], podemos asegurar que se van a producir efectos negativos para la salud. Por debajo de esta dosis umbral estaríamos considerando los efectos estocásticos. Se supone que no existe una dosis umbral que pueda asegurar que el efecto no aparezca [3].

Tabla 1

Emisor α	Energía	Periodo de semidesintegración
²²² Rn	5,49 MeV	3,82 días
²¹⁸ Po	6,00 MeV	3,05 min
²¹⁴ Po	7,69 MeV	164 μ s

partículas alfa en el aire no suele sobrepasar los 5 cm. Para penetrar la capa de la epidermis (0,07 mm) son necesarias partículas alfa con una energía por encima de 7,5 MeV. En consecuencia los emisores alfa tienen alta transferencia lineal de energía y su factor de ponderación radiológica es elevado.

El ²²²Rn es el más importante desde el punto de vista radiológico de las tres formas isotópicas del radón natural: ²²²Rn, ²²⁰Rn y ²¹⁹Rn. El ²²²Rn forma parte de la cadena radiactiva de origen natural del ²³⁸U (fig. 1) y se difunde a través de las grietas del

En la radiación de origen natural, las partículas α tienen un papel significativo en su contribución a la dosis efectiva. Los emisores alfa más habituales emiten partículas alfa con energías cinéticas del orden de los MeV. El alcance de estas



Fig. 1: Desintegración radiactiva del ²³⁸U

terreno y de los materiales de construcción.

En construcciones aisladas o en las plantas bajas de edificios sin sótano, la fuente más importante de radón es el radio presente en el terreno, estando la concentración de radio en el suelo comprendida en el intervalo de 10 y 50 Bq/kg, aunque puede alcanzar valores muy superiores. Podemos considerar que el valor promedio es de alrededor 40 Bq/kg. Por otra parte, las concentraciones de radón en suelos varían entre 10000 y 50000 Bq/m³. En algunos casos, la presencia de radón puede venir, además, aumentada por la existencia en la zona de materiales de desecho.

La cantidad de radón que entra en un interior a partir del suelo depende principalmente de la concentración de ²²⁶Ra en el subsuelo y de la permeabilidad de éste. Por lo tanto, tendremos que en recintos cerrados el mecanismo difusivo es el más significativo, siendo en este caso determinante la longitud de difusión, definida como la distancia media que el radón puede recorrer en un determinado material antes de desintegrarse. Cuando la principal fuente de radón procede del suelo hay que considerar también el mecanismo de convección.

El radón procedente del terreno y de los materiales pasa al aire interior por difusión molecular. En una fase inicial, por desintegración del radio se forma una fracción de radón que emana del medio sólido y ocupa los poros existentes pudiendo, a partir de ellos, desplazarse hasta alcanzar la superficie y pasar al aire. Este mecanismo vendrá afectado por el valor de la longitud de difusión, que para un suelo normal es de alrededor de 1 m. Este proceso puede ser acelerado por las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de la casa. A menudo la existencia de mecanismos extractores de ventilación o intercambiadores de aire para calefacción hace que en las habitaciones se generen corrientes de aire y depresiones que favorecen el paso de radón desde el suelo y desde la propia estructura a través de los poros y fisuras existentes, pasando al aire en cantidades importantes, lo que explica las elevadas concentraciones que se han encontrado en algunos interiores.

Los materiales de construcción son, en general, la segunda fuente en importancia de radón en interiores. La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores tales como la fracción de radón producido que es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Es frecuente encontrar entre los materiales de construcción productos con un contenido en radio y torio de hasta 50 Bq/kg. Algunos, conteniendo subproductos de yeso y hormigón con alumbre bituminoso, pueden presentar, incluso, concentraciones superiores.

Mecanismos de desplazamiento

El radón en condiciones normales de presión y temperatura es un gas, que emana al ambiente a través de los poros de los materiales de construcción. Podemos considerar tres mecanismos de desplazamiento: difusión, emanación y transporte.

La ***difusión*** dentro del agua o el gas del poro tiene características diferentes para

cada isótopo. El ^{222}Rn tiene una longitud de difusión de 2,2 m en aire, 1,55 m en poros de granos y 0,02 m en agua. La evolución de la concentración de radón a través de una superficie estará determinada por parámetros relacionados con el material (porosidad ε , densidad ρ , coeficiente de difusión efectiva D_e) y con la fracción de emanación (f), concentración de actividad del ^{226}Ra y constante de desintegración del ^{222}Rn ($2,1 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$). La densidad de flujo (J_d) de radón a través de una superficie viene dada por la ecuación (1)

$$J_d = C_{\text{Ra}} \lambda_{\text{Rn}} f \rho \left(\left(\frac{D_e}{\lambda_{\text{Rn}} \varepsilon} \right) \right)^{1/2} \quad (1)$$

La **emanación**, desde el grano de un sólido hasta los poros o grietas del terreno y de los materiales de construcción, dependerá de la concentración de radio (el radio en su desintegración emite una partícula α y un átomo de radón) y del tamaño de los granos. La distancia media de desplazamiento dentro del sólido podemos estimarla comprendida en el intervalo de 20 a 70 nm.

El tercer mecanismo de desplazamiento que hemos considerado es el **transporte** (convección, advección). Este mecanismo es función de los gradientes de presión, presiones diferenciales entre el gas del suelo y el interior de los recintos y le permite al radón desplazarse distancias significativas en el subsuelo, del orden de 10^2 m . Este mecanismo de desplazamiento es el predominante en subsuelos, y si los materiales de construcción básicos utilizados se han extraído de zonas con elevadas concentraciones de radiación natural.

Cuando el contenido en radón de los materiales de construcción es alto habría que considerar también el mecanismo de difusión, relacionado en primer lugar, ya que en el caso de un material tan común como el hormigón la longitud de difusión oscila entre 0,1 m y 0,2 m.

Objetivos

Se han desarrollado numerosos estudios encaminados a determinar el riesgo radiológico por unidad de exposición, siendo de gran interés para realizar esta estimación conocer las características físico-químicas del aerosol.

Para alcanzar este fin se han puesto a punto diversas técnicas que permiten analizar, tanto en una instalación de laboratorio como en espacios habitados, el factor de equilibrio, la fracción libre y el espectro dimensional de descendientes del radón en estado libre. Se ha determinado la concentración ambiental de radón y descendientes en recintos cerrados, mediante la utilización de diferentes equipos de medida. Las medidas se han realizado mediante un método de lectura continua, haciendo pasar un flujo constante de aire a través del detector, en consecuencia se ha realizado una evaluación en continuo de la concentración.

Los detectores utilizados están basados en cámara de ionización y barrera de silicio.

Resultados y Conclusiones

En la tabla 2 se relaciona los valores medios obtenidos para todo un intervalo de muestreo en los diferentes recintos utilizando diferentes detectores. Se han obtenido las concentraciones de Radón en Bq/m³ y las concentraciones de descendientes en mWL.

Tabla 2: Valores medios de las concentraciones de radón y descendientes. Han sido obtenidas utilizando diferentes detectores

Recinto	Radón	Descendientes
I	80 Bq/m ³	14 mWL 51,8 Bq/m ³
II	45 Bq/m ³	8,1 mWL 30 Bq/m ³
III	90 Bq/m ³	13,1 mWL 48,5 Bq/m ³

Con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos se ha utilizado el factor de conversión:

$1\text{Bq/m}^3 = 0,27 \text{ mWL}$ para una concentración en equilibrio. La unidad de concentración en energía potencial alfa en el S.I. es el Jm^{-3} , siendo habitual expresarlo en su unidad tradicional, el Working Level (WL). De modo que en la tabla se refleja también la concentración de descendientes en Bq/m³ utilizando este factor de conversión.

Para el factor de equilibrio, considerando los valores medios se han obtenido valores comprendidos entre 0,5 y 0,6. El factor de equilibrio habitual en recintos cerrados es 0,4, por tanto podemos considerar que el resultado no es significativamente diferente si se considera la variabilidad del radón incluso en dependencias cerradas.

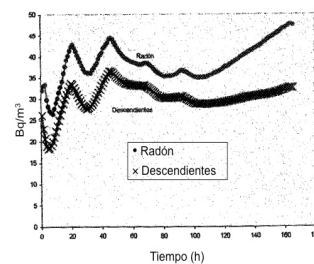


Fig. 2: Valores medios acumulados de la concentración de radón y descendientes en función del tiempo

Podemos observar (Fig.2) la correlación entre los valores medios acumulados de la concentración en Bq/m^3 de gas radón y descendientes en función del tiempo de medida para un intervalo de muestreo.

La correlación entre ambas gráficas es bastante precisa, lo que indica la fiabilidad en las medidas realizadas. Se ha reflejado (Fig.3) en el eje vertical de la izquierda los valores instantáneos de las concentraciones de radón y descendientes (Bq/m^3) en función de la hora de medida. En el eje vertical de la derecha se ha representado el factor de equilibrio en función de los mismos intervalos de tiempo. Como podemos observar el factor de equilibrio presenta una variabilidad significativa, que podríamos interpretar considerando los diferentes factores que influyen en la evolución de su concentración.

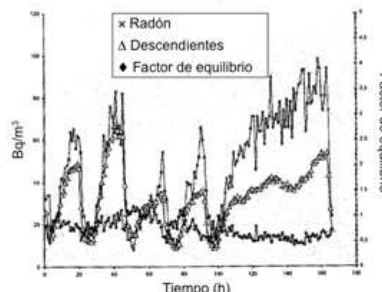


Fig. 3: Valores instantáneos de las concentraciones de radón y descendientes, eje vertical izquierdo, en función de la hora. Factor de equilibrio, eje vertical derecho, en los mismos intervalos de tiempo.

En los resultados obtenidos se ha comprobado que un aumento de la presión trae como consecuencia disminuciones en las concentraciones de radón y que un aumento de la humedad relativa del aire incrementa estas concentraciones, modificando la tendencia impuesta por las variaciones de presión.

Al analizar las medidas realizadas se ha puesto de manifiesto que para poder realizar una estimación suficientemente precisa de la dosis es necesario considerar distintos parámetros tales como el factor de equilibrio entre radón y descendientes, el espectro dimensional de los descendientes del radón adheridos a partículas de aerosol y el espectro dimensional de los descendientes en estado libre para los diferentes tamaños, en general del orden de nm. En consecuencia los valores dosimétricos de la exposición a radón y su progenie serán función de la determinación precisa de estos parámetros [4].

REFERENCIAS

- [1] Comisión de las Comunidades Europeas. Rec. 2121990 (90/143/Euratom). D.O.C.E. L80, 2628.
- [2] R.D. 783/2001. Art. 63 RPSRI. Tit. II, III y VII (96/29/EURATOM)
- [3] CSN (Nuclear) Dosis de Radiación CSN, Madrid, 1992. Consejo de Seguridad
- [4] EPA (U.S. Environmental Protection Agency). The Risk Assessment Guidelines of 1986. Office of Health and Environmental Assessment, EPA/600/887/045