

03-026

### IMPLEMENTATION OF THE RADON CHAMBER FOR DETECTORS VALIDATION

Noverques Medina, Aina <sup>(1)</sup>; Juste Vidal, Belén Jeanne <sup>(1)</sup>; Trull Hernándis, Cristina <sup>(1)</sup>; Verdú Martín, Gumersindo <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> ISIRYM, Universitat Politècnica de València

Radon exposure in workplaces is regulated by the new legislation based on health protection against the risks derived from ionizing radiation exposure (RD 1029/2022), also reinforced by the protection measures detailed in the new Technical Code of Building (RD 732/2019). Legislative requirements and the increase in demand for air radon measurements have boosted the setting up of accredited laboratories and entities for this purpose. To guarantee the reliability and quality of the results offered, it is necessary for these entities to participate in intercomparison campaigns for radon measurements in air, as required by the UNE-EN ISO/IEC17025. The ISIRYM has been participating in national campaigns for the detection and measurement of radon concentration, according to ENAC accreditation for measurements in air. Recently, through funding from the GENERALITAT VALENCIANA (IDIFEDER/2021/047), a 1 m<sup>3</sup> radon chamber has been purchased to verify radon measurement techniques. Therefore, the main objective of this research is the implementation of the radon chamber through the validation of passive detectors (electrets) and active detectors (Radon Scout Plus and Rad7) using the AlphaGuard calibrated detector as a reference. The sensitivity of the detectors into different concentrations of radon at standard environmental conditions is analyzed.

*Keywords:* radon chamber; AlphaGuard; detectors validation

### PUESTA A PUNTO DE LA CÁMARA DE RADÓN PARA VALIDACIÓN DE DETECTORES

La exposición de radón en lugares de trabajo está regulada por el nuevo Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes (RD 1029/2022), reforzado por medidas de protección detalladas en el Código Técnico de la Edificación (RD 732/2019). Las exigencias legislativas y el aumento de la demanda de las mediciones de radón en aire han impulsado la puesta en marcha de laboratorios y entidades acreditadas para ello, que, según la norma UNE-EN ISO/IEC17025, deben participar en campañas de intercomparación de medidas de radón en aire. El ISIRYM, lleva una década participando en campañas nacionales de detección y medida de concentración de radón, con acreditación de ENAC para medidas en aire. Recientemente, mediante financiación de la GENERALITAT VALENCIANA (IDIFEDER/2021/047) ha adquirido una cámara de radón de 1 m<sup>3</sup> para verificar todas las técnicas de medida. Así, el objetivo principal de esta investigación es la puesta en marcha de la cámara de radón mediante la validación de detectores pasivos (Electretes y trazas) y detectores activos (Radon Scout Plus y Rad7) utilizando como referencia el equipo calibrado AlphaGuard. Se analiza la sensibilidad de los equipos a diferentes concentraciones de radón en condiciones ambientales estándar.

*Palabras clave:* cámara de radón; AlphaGuard; validación detectores

Agradecimientos: Generalitat Valenciana por la financiación en el proyecto (IDIFEDER/2021/047)



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

El gas radón es un elemento radiactivo, procedente de la desintegración radiactiva del uranio, considerado como un elemento cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud. Se origina de manera natural en suelos, y aguas, con cierto contenido en uranio y en radio, así como en materiales de construcción cuya materia prima contenga también estos dos elementos. La peligrosidad de la exposición al radón en lugares de trabajo, viviendas y espacios públicos ha impulsado la mejora de la regulación europea y nacional, basadas ambas en numerosas investigaciones que analizan el comportamiento del radón en sus diferentes fuentes (Nuccetelli et al., 2020), los procesos de transferencia (Calugaru et al., 2002) y liberación a la atmósfera (Rodríguez-Losada et al., 2022) o la dosis recibida por las personas expuestas (Carballo et al., 2022).

En la actualidad, la Directiva 2019/59/EURATOM, marco regulador europeo, establece las normas básicas para la protección frente a la exposición a radiaciones ionizantes como las emitidas por el gas radón. Destacan los requisitos de control para su medida y control, así como la obligatoriedad, por parte de los estados miembros de la Unión Europea de transponer esta legislación. Estas medidas se han incluido en el Código Técnico de la Edificación, en un nuevo apartado de salubridad, HS-6 (RD 783/2019), aplicable a edificios de nueva construcción. Esto ha supuesto un aumento de la demanda de medidas de radón en aire por parte de empresas privadas, constructoras y usuarios particulares. Asimismo, en esta legislación, se insta por primera vez un nuevo requisito para las entidades de medida de radón: estar acreditadas de acuerdo con la normativa UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).

Esta Norma Internacional, que determina los requisitos para la competencia de los laboratorios en la realización de ensayos, exige que los equipos utilizados deban participar en programas de calibración y de intercomparación de manera periódica con el objetivo de garantizar la validez y trazabilidad de los resultados ofrecidos. El Consejo de Seguridad Nuclear, es el organismo nacional responsable de la organización de estas campañas cada dos años para validar los protocolos y la respuesta de medida de los detectores utilizados en los diferentes laboratorios.

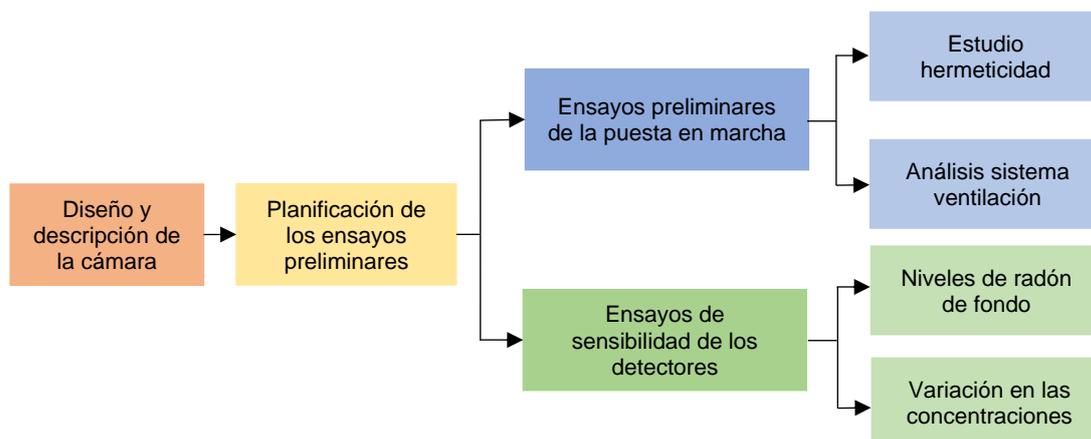
En este contexto, el grupo SENUBIO-ISIRYM de la Universitat Politècnica de València ha adquirido una cámara de radón de 1 m<sup>3</sup>, un equipo que permite realizar ensayos para la medida y control de la concentración de radón en condiciones controladas, y que se utiliza para calibraciones y programas de intercomparación de los detectores de radón en aire. Se pretende adaptar esta reciente adquisición a la normativa vigente, bajo la acreditación de ENAC y poder así ser un sistema de referencia.

Por ello, uno de los objetivos principales de esta investigación es diseñar y poner en marcha esta nueva cámara de radón teniendo en cuenta diferentes ensayos preliminares que verifiquen su correcto funcionamiento. El segundo de los objetivos es estudiar la sensibilidad de diferentes detectores a niveles de radón de fondo ambiental y a cambios bruscos en la concentración de radón en aire para dar una aplicación real a esta cámara. Ambos objetivos suponen el punto de partida del proceso de acreditación de la cámara de radón RND-SENUBIO-UPV.

## 2. Metodología

En este apartado se detallan los procedimientos seguidos en cada tipo de ensayo para la consecución de los objetivos principales, así como la instrumentación empleada en cada caso. En la siguiente Figura 1 se muestra un esquema de la metodología:

**Figura 1. Resumen de la metodología seguida durante la investigación**



El paso inicial para la puesta en marcha de la cámara consiste en su diseño y descripción según las necesidades del laboratorio. Posteriormente, se realiza una planificación de los ensayos a realizar que incluyen tanto aquellos pasos preliminares para la puesta en funcionamiento de la cámara como los ensayos para estudiar la sensibilidad de los detectores. En el primer caso, se lleva a cabo el estudio de la hermeticidad de la cámara y el análisis del sistema de ventilación. En el segundo caso, se incluyen los ensayos para analizar la respuesta de los detectores a niveles de radón de fondo, así como a cambios repentinos en las concentraciones.

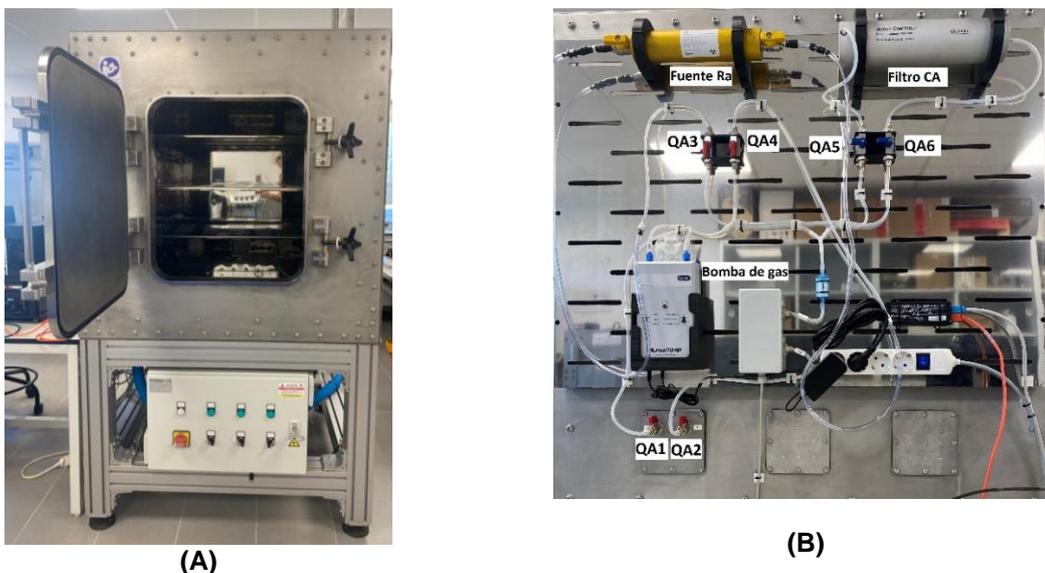
Estos estudios establecen las bases sobre el modo de operación de la cámara y su uso óptimo, así como la posibilidad de conocer la sensibilidad y capacidad de respuesta de los detectores a diferentes concentraciones, aislados del exterior en condiciones controladas.

### 2.1. Diseño y descripción de la cámara de radón

La cámara de radón RDN-SENUBIO-UPV del Instituto de Seguridad Industrial Radiofísica y Medioambiental de la Universitat Politècnica de València ha sido diseñada como una caja hermética, de acero inoxidable con dimensiones internas de  $(100 \times 100 \times 100) \text{ cm}^3$ , cuyo volumen es de  $1 \text{ m}^3$ . Esta cámara ha sido fabricada por Tecnologías Asociadas S.A, (TECNASA), mediante financiación de la GENERALITAT VALENCIANA (IDIFEDER/2021/047) y se muestra en la Figura 2.

El interior de la cámara, Figura 2 (A), se ha dotado con tres bandejas de acero inoxidable, donde se sitúan los detectores; dos ventiladores a ambos extremos de la cámara para garantizar la homogeneidad de gas radón en su interior; una sonda metrológica (Sonda COMET T7610) que analiza la temperatura, la presión atmosférica y la humedad relativa del interior de la cámara, y una webcam (Logitech C-270) que muestra las imágenes en directo. En la parte inferior de la cámara, se ha instalado un panel de control, compuesto por un interruptor general, así como los selectores para el encendido y apagado de los sistemas de iluminación, circulación de aire del interior de la cámara y ventilación de esta con aire exterior.

**Figura 2. Cámara de radón RND-SENUBIO-UPV. (A) Vista frontal. (B) Vista pared lateral**



En la Figura 2 (B) se muestra el panel frontal de la cámara, una placa externa sobre la que se han colocado los dispositivos que permiten el uso de la cámara de radón

- Válvulas QA1 y QA2, controlan la entrada y salida de aire entre el circuito y la cámara.
- Válvulas QA3 y QA4, permiten abrir y cerrar la rama del circuito que pasa por la fuente de radio ( $\text{Ra}^{226}$ ). Para inyectar el radón en la cámara, se hace pasar flujo de aire a través de la fuente.
- Válvulas QA5 y QA6, abren y cierran la rama del circuito que pasa por el filtro de carbón activo para eliminación de los descendientes del radón.

El equipo de referencia de medida de concentración de radón en aire de la cámara RND-SENUBIO-UPV es el monitor AlphaGUARD S/N AG000395 (Bertin GmbH). La trazabilidad de la concentración de la actividad de radón en aire, en  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , está referida al “Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)”, con certificado de calibración nº 1570/D-K-15063-01-00.

El monitor AlphaGUARD es un detector en continuo que analiza la concentración de radón mediante proceso de difusión y bomba de flujo. Esta bomba, integrada en el equipo, facilita la regulación del flujo de bombeo entre  $0.05 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  hasta  $2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Su principio de funcionamiento se basa en una cámara de ionización pulsada de 0.56 litros Su rango de medida oscila entre  $2 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  y  $2 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-3}$ , y presenta una sensibilidad de 300 cph (cuentas por hora) a  $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . La incertidumbre a  $1000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  es inferior al 3% (Bertin, 2019)

## 2.2. Planificación de los ensayos

Uno de los objetivos específicos de la investigación es la correcta planificación de los ensayos preliminares. Estos permiten entender el funcionamiento de la propia cámara, así como protocolizar las diferentes metodologías de medida. Este procedimiento se ha elaborado en dos fases: en la primera, se incluyen protocolos que analizan el correcto funcionamiento de la cámara, mediante la verificación de su hermeticidad y del efecto del proceso de ventilación. En la segunda parte, se analiza la sensibilidad de medida de diferentes detectores, a diferentes concentraciones: niveles de radón de fondo y a cambios de concentración en el interior de la cámara.

### 2.3 Verificación de la hermeticidad de la cámara de radón

Para garantizar la hermeticidad de la cámara de radón se debe realizar una prueba de resistencia al paso del gas radón, evaluando la tasa de fugas del sistema, siguiendo el procedimiento de la ISO 11665-13 (2017). *Determinación del coeficiente de difusión en materiales impermeables*. Esta verificación de fugas nulas se basa en inyectar una alta concentración de actividad de radón en el interior de la cámara mediante la apertura de las válvulas QA1, QA2, QA3, y QA4, produciendo la acumulación del gas.

Posteriormente, se cierran las válvulas y se monitoriza la disminución de la concentración de radón en la cámara. La tasa de fugas se determina analizando la desviación de los resultados experimentales respecto a la ley de desintegración, que corresponde a la siguiente ecuación:

$$C_{Rn}(t) = C_0 e^{-\lambda_{ef} t} \quad (1)$$

donde  $C_0$  es la concentración de radón en aire medida ( $Bq \cdot m^{-3}$ ),  $\lambda_{ef}$  la constante efectiva ( $h^{-1}$ ) y  $t$  el tiempo de exposición (h). A su vez, se define la constante  $\lambda_{ef}$  como

$$\lambda_{ef} = \lambda_{Rn} + \lambda_p \quad (2)$$

siendo  $\lambda_{Rn}$  la constante de desintegración del radón ( $h^{-1}$ ), y  $\lambda_p$  la constante de pérdidas del sistema (tasa de fugas).

Si el sistema es hermético, la constante de pérdidas ( $\lambda_p$ ) debe ser inferior a  $0.00378 h^{-1}$ , la mitad de la constante de desintegración del radón ( $\lambda_{Rn} = 0.00756 h^{-1}$ ).

La verificación de la hermeticidad de la cámara se ha llevado a cabo mediante el detector de referencia AlphaGUARD, en modo difusión durante un periodo de 90 horas. El ajuste de los datos experimentales se realiza mediante el software Matlab R2020b, con el paquete *Curve Fitting Toolbox*.

### 3.4 Análisis del sistema de ventilación de la cámara de radón en aire

Uno de los aspectos clave en el diseño de la cámara de radón es el análisis de su ventilación. Cuando se activa este sistema, se abren unas electroválvulas que permiten bombear aire del exterior e introducirlo dentro de la cámara, al mismo tiempo que el aire contenido en la cámara se extrae. El análisis de la ventilación ha consistido en dos fases:

- **Fase 1: Análisis del correcto funcionamiento de la ventilación.** El procedimiento se basa en encender el sistema de ventilación a través del panel frontal de la cámara que permite la circulación de aire entre el interior de la cámara y el exterior del laboratorio, y monitorizar durante 72 horas las variaciones de radón en aire (día/noche) para verificar la adecuada ventilación (entrada y salida de aire) del sistema.
- **Fase 2. Análisis de la efectividad del sistema de ventilación para la eliminación completa del radón contenido en el interior de la cámara.** Inicialmente, se inyecta radón en el interior de la cámara a través de la fuente de  $Ra^{226}$ , alcanzando concentraciones del orden de  $kBq \cdot m^{-3}$  durante un corto periodo de tiempo (3 horas). La ventilación se lleva a cabo durante al menos 14 horas.

En ambos casos las concentraciones de radón en aire se miden mediante el detector de referencia AlphaGUARD. Durante la Fase 1, se opera en modo difusión en periodos de muestreo de 60 minutos mientras que en la Fase 2, en periodos de muestreo de 10 minutos. Esto se debe a que en esta fase el cambio de concentración es más repentino y brusco y se

requiere de una mayor precisión en la medida de resultados, que cuantifique un mayor número de intervalos de tiempo.

### 3.5 Análisis de sensibilidad a diferentes concentraciones

#### Caso 1: sensibilidad de los detectores a concentraciones de radón de fondo

La evaluación de niveles de fondo en el interior de la cámara se basa en la exposición de los detectores en continuo en el interior de la cámara, garantizando la homogeneización del aire mediante la activación de los dos ventiladores.

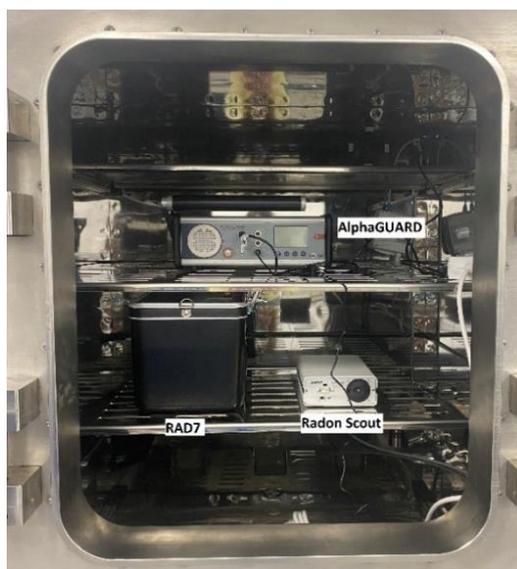
En esta parte de la investigación se han utilizado dos tipos de detectores: Radon Scout Plus (SARAD Company) y RAD7 (DurrIDGE, Co.), en ambos casos con periodos de muestreo de 60 minutos.

El Radon Scout Plus es un equipo de pequeñas dimensiones ( $175 \times 135 \times 559 \text{ mm}^3$ ) que trabaja en modo difusión. La concentración de radón en aire se analiza cuando este circula a través del detector de silicio de estado sólido situado en el interior de su cámara de difusión, cuantificando las partículas *alpha* que emiten sus descendientes (Sarad, 2017).

El RAD7 presenta unas dimensiones mayores ( $295 \times 215 \times 279 \text{ mm}^3$ ) y trabaja con una bomba de muestreo, capturando el aire del exterior. Formado por un material semiconductor (silicio) de iones implantados, permite la transformación de la radiación *alpha* recibida en una señal eléctrica. Basado en espectrometría Alpha, permite distinguir qué isótopo, descendiente del radón, produce la radiación (DurrIDGE, 2000).

Para la medida de fondo se ha utilizado el monitor de referencia AlphaGUARD, con la modalidad de muestreo de difusión de radón durante 60 min. El tiempo de ensayo es de 140 horas. Los tres equipos están ubicados tal y como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3. Montaje de los tres detectores en el interior de la cámara**



El criterio utilizado para la interpretación de estos resultados, dado que la concentración de fondo debe mantenerse constante, es el criterio z-score, que permite la comparación de

resultados, generalmente utilizados en los ejercicios de intercomparación (Softic et al., 2012). Este parámetro se calcula según la ecuación (3):

$$z = \frac{C_{eq} - C_{ref}}{\sigma_{ref}}, \quad (3)$$

Siendo  $C_{eq}$  el valor promedio de las medidas de concentración de radón en aire del equipo expuesto ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $C_{ref}$  la media de las medidas de concentración de radón en aire obtenidas con el equipo de referencia AlphaGUARD ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y  $\sigma_{ref}$  su desviación estándar ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

La interpretación del parámetro viene definida según los siguientes criterios:

$|z| \leq 2$  Resultado satisfactorio

$2 < |z| < 3$  Resultado cuestionable

$|z| \geq 3$  Resultado insatisfactorio

### **Caso 2: sensibilidad del detector a cambio brusco en la concentración**

El procedimiento se basa en inyectar radón en la cámara a razón de  $Q=0.3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$  durante 7 horas produciendo una acumulación del gas en el interior. Se cierran las válvulas de entrada a la cámara y se enciende la ventilación exterior. En ese momento, se analiza la caída de concentración durante 14 horas.

La concentración de radón en aire se mide con el detector de referencia AlphaGUARD y con el detector expuesto Radon Scout. Ambos operan en modo difusión, con una resolución temporal de medida horaria (60 minutos). Durante el proceso de inyección y acumulación de radón en la cámara, se activan los dos ventiladores para garantizar la homogeneización del aire interior. En la Figura 4 se muestra la ubicación de los detectores.

**Figura 4. Ubicación detectores para análisis de la respuesta a cambios de concentración**



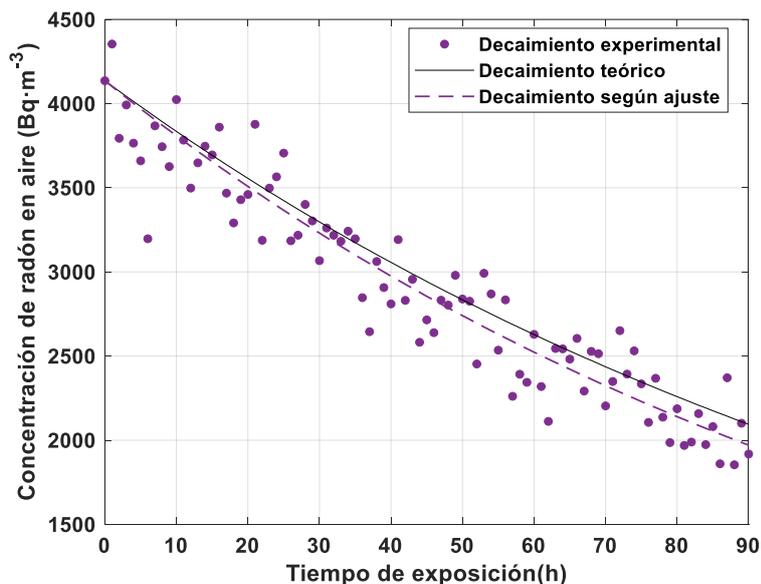
La interpretación de los resultados se basa en el análisis de la incertidumbre asociada a cada medida de concentración en aire dado que se trata de cambios bruscos en las concentraciones y, por tanto, no son valores constantes sobre los que utilizar ensayos de aptitud (ISO/IEC 17043:2010).

## 4. Resultados

### 4.1 Verificación de la hermeticidad de la cámara de radón

Una vez enriquecido en aire del interior de la cámara mediante la inyección de radón, se cierran las válvulas de entrada y salida del sistema y se monitoriza la disminución de la concentración de radón en aire. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5.

Figura 5. Resultados de verificación de la hermeticidad de la cámara de radón



Los puntos morados representan los resultados experimentales medidos con el AlphaGUARD, la línea negra es el decaimiento teórico según la *ley de desintegración radiactiva* y la línea discontinua, también en color morado, el decaimiento según el ajuste realizado con Matlab para el cálculo de la constante efectiva. La diferencia entre ambas líneas representa las posibles pérdidas del sistema.

Los valores experimentales se han ajustado a la ecuación (1) fijando la concentración de radón inicial,  $C_0 = (4136 \pm 351) \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , y se obtiene la constante efectiva  $\lambda_{ef} = 0.008235 \text{ h}^{-1}$ . La constante de pérdidas, calculada según la ecuación (2), es  $\lambda_p = 0.000675 \text{ h}^{-1}$ , inferior a  $0.00358 \text{ h}^{-1}$ , valor aceptable según la ISO 11665-13. Por lo tanto, se verifica la hermeticidad de la cámara de radón.

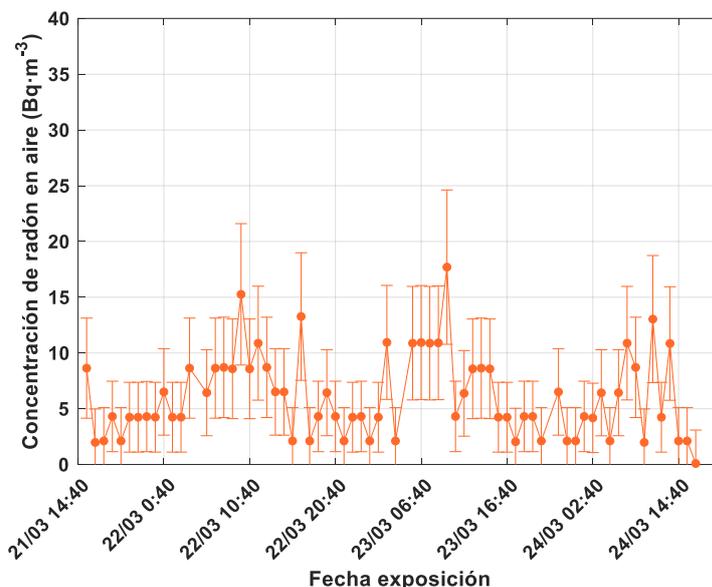
### 4.2 Análisis del sistema de ventilación de la cámara de radón en aire

Tal y como se detalla en la metodología, el análisis del sistema de ventilación se ha llevado a cabo en dos fases con el objetivo de validar su efectividad a concentraciones de radón de fondo como método de purga, y extracción en caso de elevados niveles en el interior de la cámara.

#### ***Fase 1: ventilación de la cámara***

En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos durante la activación del sistema de ventilación durante 72 horas.

**Figura 6. Resultados de la fase 1 del análisis del sistema de ventilación**



Tal y como se observa en la Figura 6, las concentraciones de radón medidas con AlphaGUARD son inferiores a  $25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ , valores habituales para València, no clasificada en Zona I ni Zona II, en las que deben establecerse soluciones de control y mitigación del gas radón, establecidas en el nuevo Real Decreto 732/2019. Asimismo, estos resultados verifican las variaciones de radón diarias (OMS, 2015). Se observan ligeros incrementos de las concentraciones durante las primeras horas de la mañana mientras que durante la tarde-noche los niveles caen cerca de los  $5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Esto se debe a cambios en las condiciones ambientales externas (temperatura, humedad, presión) (Porstendorfer et al., 1994; Víctor et al., 2019).

Una vez comprobado el sistema de ventilación de la cámara en condiciones de radón de fondo, es necesario analizar su funcionamiento a concentraciones elevadas para verificar su efectividad durante el proceso de purga y extracción.

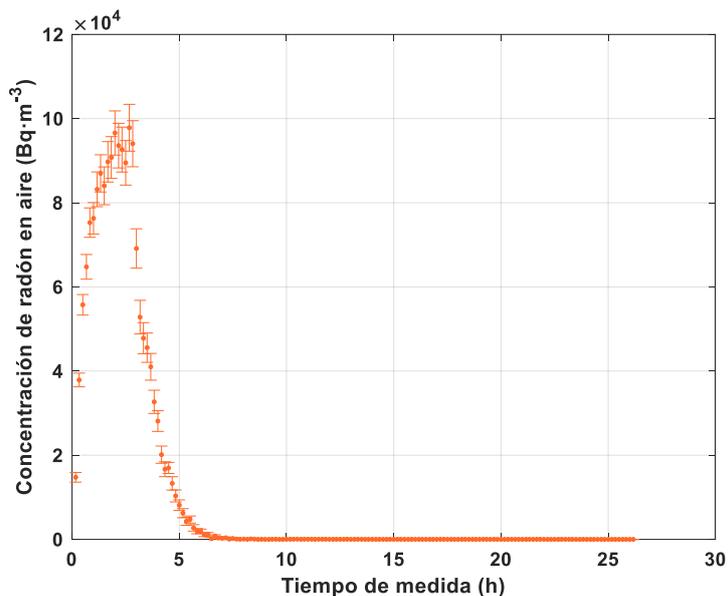
### ***Fase 2: eliminación de altas concentraciones de radón***

A continuación, se muestran las concentraciones de radón durante el proceso de inyección y una vez activado el sistema de ventilación.

Tal y como se observa en la Figura 7, hay un incremento de la concentración de radón hasta alcanzar  $(9.7 \pm 0.5) \cdot 10^4 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  en menos de 3 horas debido a la inyección de gas radón desde la fuente de  $\text{Ra}^{226}$ . En ese momento, se cierra el sistema de generación de radón y se abre el de ventilación, observándose una brusca caída de la concentración en apenas 3 horas más. En ese momento, los niveles oscilan en torno a los  $300 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

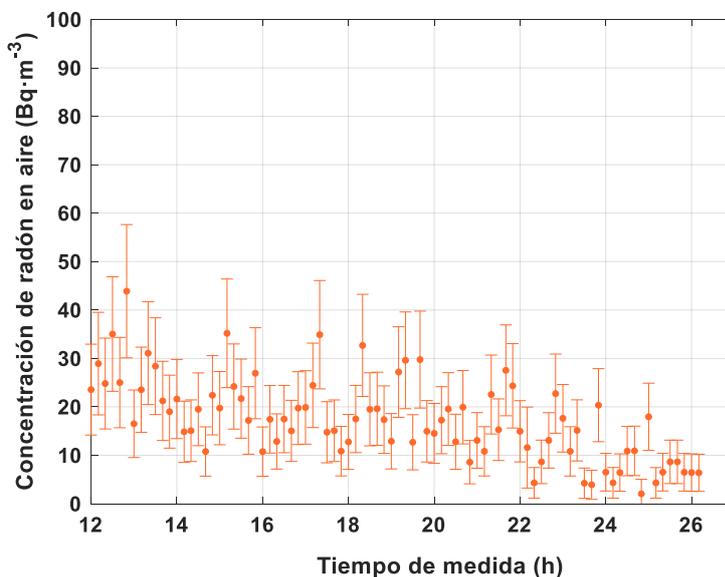
Pasadas 12 horas desde el inicio del ensayo, y 9 desde la apertura de la ventilación, las concentraciones de radón en aire en el interior de la cámara caen hasta valores de fondo, por debajo de los  $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  cuando finaliza el ensayo.

**Figura 7. Resultados de la fase 2 del análisis del sistema de ventilación**



En la Figura 8, se presentan los resultados obtenidos entre las 12 y las 26 horas de ensayo, cuando la concentración de radón en aire vuelve a situarse en niveles de fondo.

**Figura 8. Ampliación de los resultados de la fase 2 del análisis del sistema de ventilación**



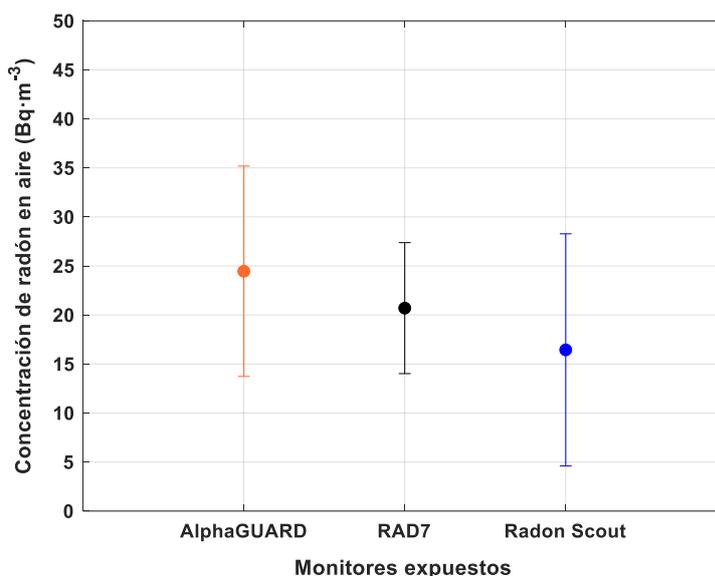
Tal y como se observa, en un breve periodo de tiempo (< 10 horas) la concentración de radón se ha reducido a valores ambientales. Se valida, por lo tanto, la efectividad del sistema de ventilación de la cámara, lo que facilita su uso y la posible exposición a concentraciones de diferentes rangos.

Asimismo, estos resultados ratifican la importancia de la ventilación en espacios cerrados en los que se pueden alcanzar niveles de radón que podrían ser perjudiciales para las personas expuestas.

#### 4.3 Análisis de sensibilidad a concentraciones de radón de fondo

A continuación, se presentan los resultados de concentración de radón promedio medidos a niveles de radón de fondo. En la Figura 9 se muestra el valor medio de la concentración con la desviación estándar de cada uno.

Figura 9. Resultados de análisis de sensibilidad de los detectores a concentraciones de fondo



Tal y como se observa, la concentración medida para el detector de referencia AlphaGUARD es de  $24 \pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  mientras que los detectores expuestos RAD7 y Radon Scout han medido, en valor promedio,  $21 \pm 7 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  y  $16 \pm 12 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  respectivamente.

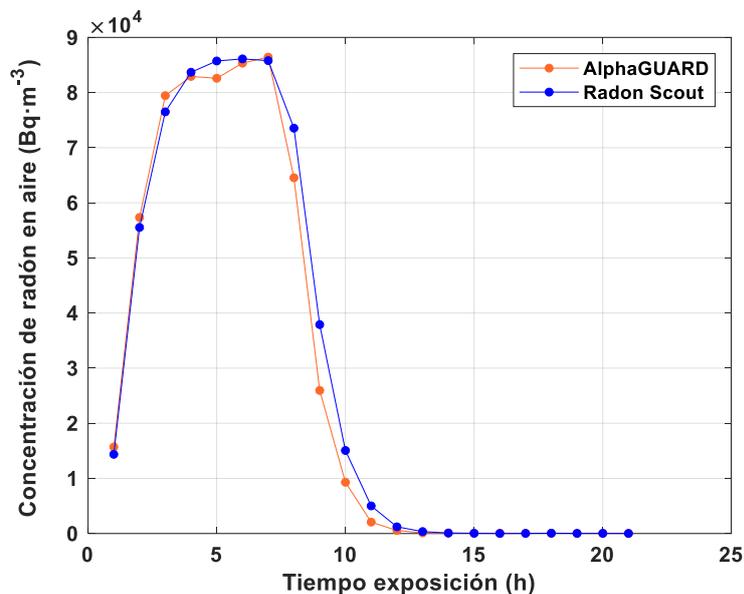
Se ha calculado el parámetro z-score, siendo para el RAD7  $|z|=0.35$  y para el Radon Scout,  $|z|=0.75$ . En ambos casos, el parámetro calculado es  $|z|<2$ , por lo que el resultado es satisfactorio, y se puede afirmar que los dos detectores presentan una adecuada sensibilidad para niveles de radón de fondo ambiental.

#### 4.4 Análisis de sensibilidad del detector a cambio brusco en la concentración

En este último apartado, se analiza la sensibilidad y respuesta del detector Radon Scout al cambio brusco en la concentración de radón en aire.

En la Figura 10 se observa la acumulación de radón, entre el instante inicial hasta las 7 horas, debido a su inyección a través de la fuente. Posteriormente, se produce una brusca caída debido a la apertura del sistema de ventilación, verificando de nuevo su correcto funcionamiento ya que la concentración de radón se ve disminuida en el interior de la cámara debido a la extracción de aire. La desviación de la concentración medida con el Radon Scout respecto al detector de referencia AlphaGUARD no supera el 25%, valor aceptado por el laboratorio.

Figura 10. Resultados del análisis de sensibilidad del detector



Asimismo, se observa que ambos monitores, operando con una resolución temporal baja (periodos de muestreo de 60 minutos) pueden tender a suavizar esta variación rápida de la concentración. Para ensayos futuros, se modificará el tiempo de muestreo del detector de referencia a 10 minutos para así realizar un análisis más preciso

## 5. Conclusiones

En esta investigación se ha llevado a cabo la puesta en marcha de la nueva cámara de radón RND-SENUBIO-UPV para verificar su adecuado funcionamiento y se ha estudiado la sensibilidad de los detectores para niveles de radón de fondo y para cambios bruscos en la concentración.

Se ha verificado la hermeticidad de la cámara, obteniendo una constante de pérdidas inferior al valor aceptado por la ISO 11665-13,  $\lambda_p = 0.000675 h^{-1}$ . Asimismo, se ha validado el correcto funcionamiento del sistema de ventilación, a partir del análisis de los niveles de fondo ambiental y mediante la eliminación total del radón contenido en el interior de la cámara, expuesta a elevadas concentraciones.

En cuanto a los ensayos de sensibilidad de los detectores, se ha observado que, para niveles de fondo, los dos equipos (RAD7 y Radon Scout) presentan concentraciones similares a la medida con el equipo de referencia AlphaGUARD. Los resultados son satisfactorios en ambos casos según el criterio z-score aplicado ( $|z| < 2$ ).

Por último, se ha analizado la sensibilidad del detector Radon Scout frente a una caída brusca de concentración, comparándolo con los resultados obtenidos por el detector de referencia AlphaGUARD. Se observa que ambos presentan una respuesta similar, con desviaciones inferiores al 25%. No obstante, dado que la resolución temporal es baja (periodos de muestreo de 60 minutos) se considera que se pueden haber suavizado los resultados y se propone

modificar los tiempos a periodos de 10 minutos para el detector de referencia y realizar así un análisis más preciso.

## Referencias

- Calugaru, D. G., and Crolet, J. M. (2002). Identification of radon transfer velocity coefficient between liquid and gaseous phases. *Comptes Rendus Mecanique*, 330(5), 377-382.
- Carballo, P. Á. S., López-Pérez, M., Martín-González, M. E., Suarez, F. H., and Martín-Luis, M. C. (2022). Radon dynamics and effective dose estimation in a volcanic cave: La Cueva del Viento, Tenerife (Canary Islands, Spain). Authorea Preprints.
- UNE- EN ISO/IEC 17043:2010. Evaluación de la conformidad — Requisitos generales para los ensayos de aptitud. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso-iec:17043:ed-1:v1:es>
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v2:es>
- UNE-EN ISO/TS 11665-13:2017. Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon 222 — Part 13: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane two-side activity concentration test method
- Nuccetelli, C., Leonardi, F., and Trevisi, R. (2020). Building material radon emanation and exhalation rate: Need of a shared measurement protocol from the european database analysis. *Journal of Environmental Radioactivity*, 225, 106438.
- Porstendorfer, J., Butterweck, G., and Reineking, A. (1994). Daily variation of the radon concentration indoors and outdoors and the influence of meteorological parameters. *Health physics*, 67(3), 283-287.
- Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Rodríguez-Losada, J. A., Eff-Darwich, A., Gutiérrez, L. E. H., & Pérez, R. V. (2022). Characterizing regional radon-in-air levels in rocks of the Canary Islands (Spain): new data and results. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-21.
- Softić, A., Zaimović-Uzunović, N., & Basić, H. (2012). Proficiency testing and interlaboratory comparisons in laboratory for dimensional measurement. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 16(1), 115-118.
- User Manual Radon Scout Plus, (2017). Sarad Company User Manual Rad7 (2000), DURRIDGE Co.
- User Manual AlphaGUARD (2019). Doc ref: 20190603A
- Victor, N. J., Singh, D., Singh, R. P., Singh, R., and Kamra, A. K. (2019). Diurnal and seasonal variations of radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) and their dependence on soil moisture and vertical stability of the lower atmosphere at Pune, India. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 195, 105118.

## Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

