

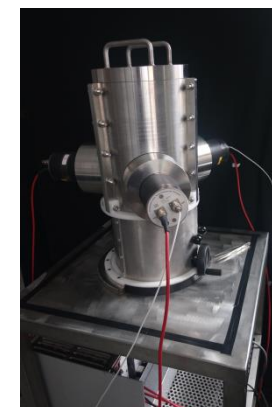
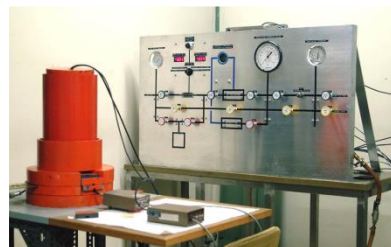
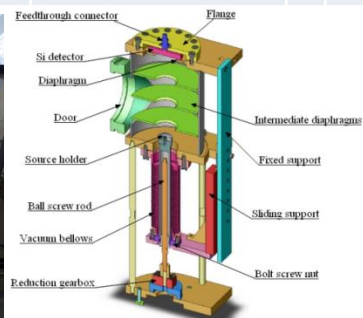
LMRI

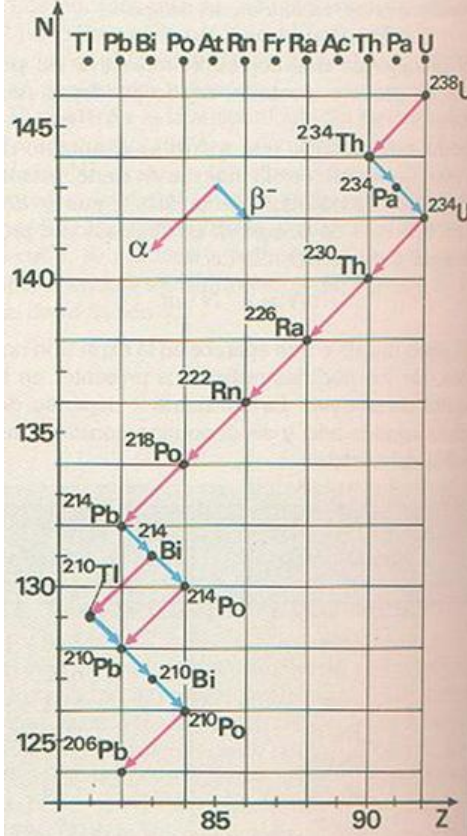
Miguel Roteta Ibarra<sup>(1)</sup>, M.Teresa Crespo Vázquez, Nuria Navarro Ortega, Marcos Mejuto Mendieta, Virginia Peyrés Medina, Marco A. Lombana Rodríguez

De acuerdo con el Real Decreto 533/1996, se declara al Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT como:

- Laboratorio depositario de los Patrones Nacionales de medida de las unidades derivadas de Actividad (de un radionucleido), Exposición (Rayos X y c), Kerma y Dosis absorbida (artículo 1).
- Laboratorio Asociado al Centro Español de Metrología (CEM) en el campo de las radiaciones ionizantes (artículo 2).
- Responsable, en nombre del Estado, de la custodia, conservación, mantenimiento y difusión de los Patrones Nacionales de dichas unidades, en coordinación con el Centro Español de Metrología (artículo 3)
- Asegura la trazabilidad internacional de los Patrones Nacionales para radiaciones ionizantes y además asume la representación nacional en el campo de la metrología de las radiaciones ionizantes ante organismos internacionales

<p>Cámara <math>2\pi\alpha</math> (Patrón Nacional Primario) LABORATORIO ALFA</p>	<p>Cámara de Baja Geometría (Patrón Nacional Primario) IR13C</p>	<p>Contador de coincidencias (Patrón Nacional Primario) IR13C</p>	<p>Cámara <math>4\pi\gamma</math> (NaI) (Patrón Primario) IR13C</p>	<p>Espectrómetro de Centelleo Líquido (Patrón Nacional Secundario) IR13B</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------





## RADÓN

- La Instrucción IS-33 del CSN sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural establece:

El nivel para la protección de los trabajadores frente a la exposición al Rn-222 en sus puestos de trabajo debe ser de **600 Bq/m<sup>3</sup>** de concentración media anual de Rn-222, durante la jornada laboral.

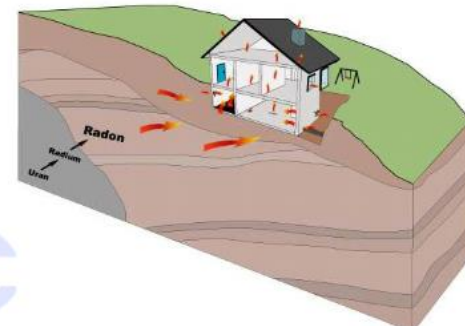
- La directiva europea 2013/59 / EURATOM entró en vigencia recientemente en nuestro país (febrero de 2018). En ella, el nivel se reduce de 600 Bq/m<sup>3</sup> a **300 Bq/m<sup>3</sup>**.

- En España, actualmente solo hay cuatro laboratorios o empresas acreditadas para medir radón en aire según la norma ISO/IEC 17025, mientras que otro laboratorio, el laboratorio de estudios del radón del INTE-UPC, dispone de una cámara de radón para calibraciones e inter-comparaciones de equipos de medida de radón.
- Ninguno de estos laboratorios o empresas dispone de los medios para producir fuentes patrón de radón, teniendo que adquirirlas en otros países para obtener la trazabilidad.

El [Real Decreto 732/2019](#), por el que se modifica el Código Técnico de Edificación (CTE), incorpora la exigencia de que los laboratorios que realicen dicha medida deben estar acreditados por ENAC según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025, ya que solamente los laboratorios acreditados aporten la máxima fiabilidad en la validez de sus resultados.

## Origen del radón, Rn

- El Rn es un **gas** noble incoloro, inoloro, insípido y **radiactivo**, que se **inhala** como un componente más del aire.
- El Rn se **origina de modo natural** en la corteza terrestre a través de las cadenas de desintegración del Uranio y Torio, cuya vida media es similar o superior a la edad de la Tierra ( $4.5 \times 10^9$  a):
  - $^{238}\text{U}$ : genera  $^{222}\text{Rn}$  ( $t_{1/2} = 3.8$  d) que se **difunde con facilidad** en sólidos (emanación) y gases, pudiendo salir de la superficie terrestre (exhalación) y alcanzar la atmósfera. Además, es **soluble en agua**.
  - $^{232}\text{Th}$ : genera  $^{220}\text{Rn}$  que debido a su  $T_{1/2} = 54.5$  s, tiene menos facilidad para la difusión y presenta menores concentraciones que el  $^{222}\text{Rn}$  en el suelo o en el aire.
- Estos isótopos (incluido los de Rn) **existirán siempre**, su presencia es **inevitable**.
- **Todos estamos expuestos** en todo lugar (incluidas viviendas) e instantes (incluido ocio) a concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  que varían órdenes de magnitud dependiendo de múltiples factores.
- **No existen fuentes artificiales** que liberen cantidades apreciables de Rn a la atmósfera.



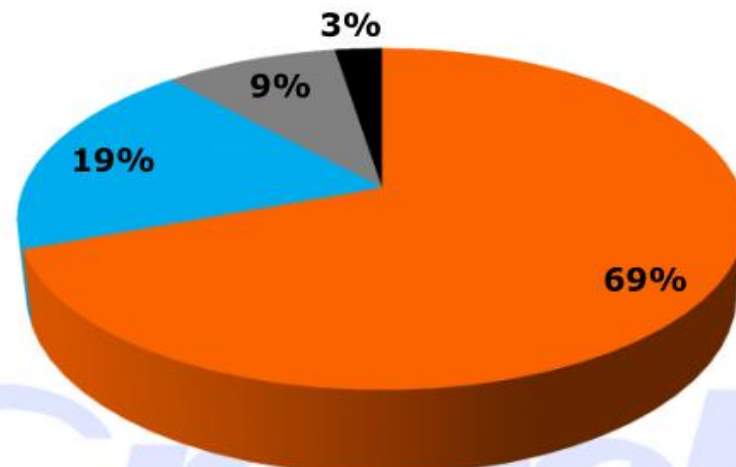
# El Rn en interiores

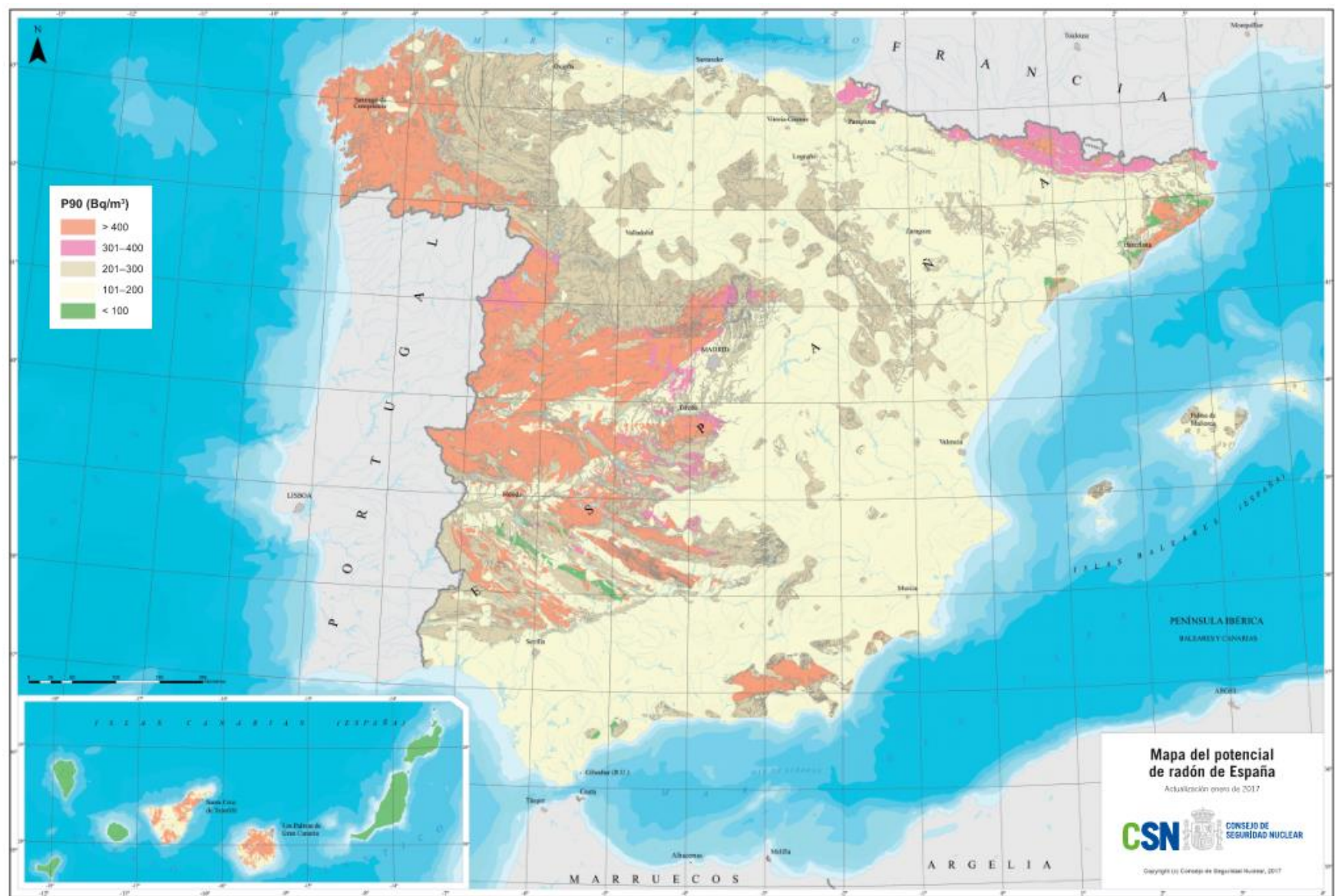
- El Rn es nueve veces más denso que el aire, por lo que tiende a **acumularse en recintos bajos, subterráneos y cerrados**.
- Aproximadamente el 90% del gas Rn que entra en los edificios **proviene del propio terreno** a través del suelo o del suministro de aguas subterráneas. El resto proviene del gas **Rn exterior** que entra a través de ventanas o grietas, o el generado por los **materiales de construcción**.
- La cantidad de Rn en un recinto cerrado **cambia incluso órdenes de magnitud** dependiendo del momento del día, la estación del año, la climatología, la ventilación, la altura del piso, etc.

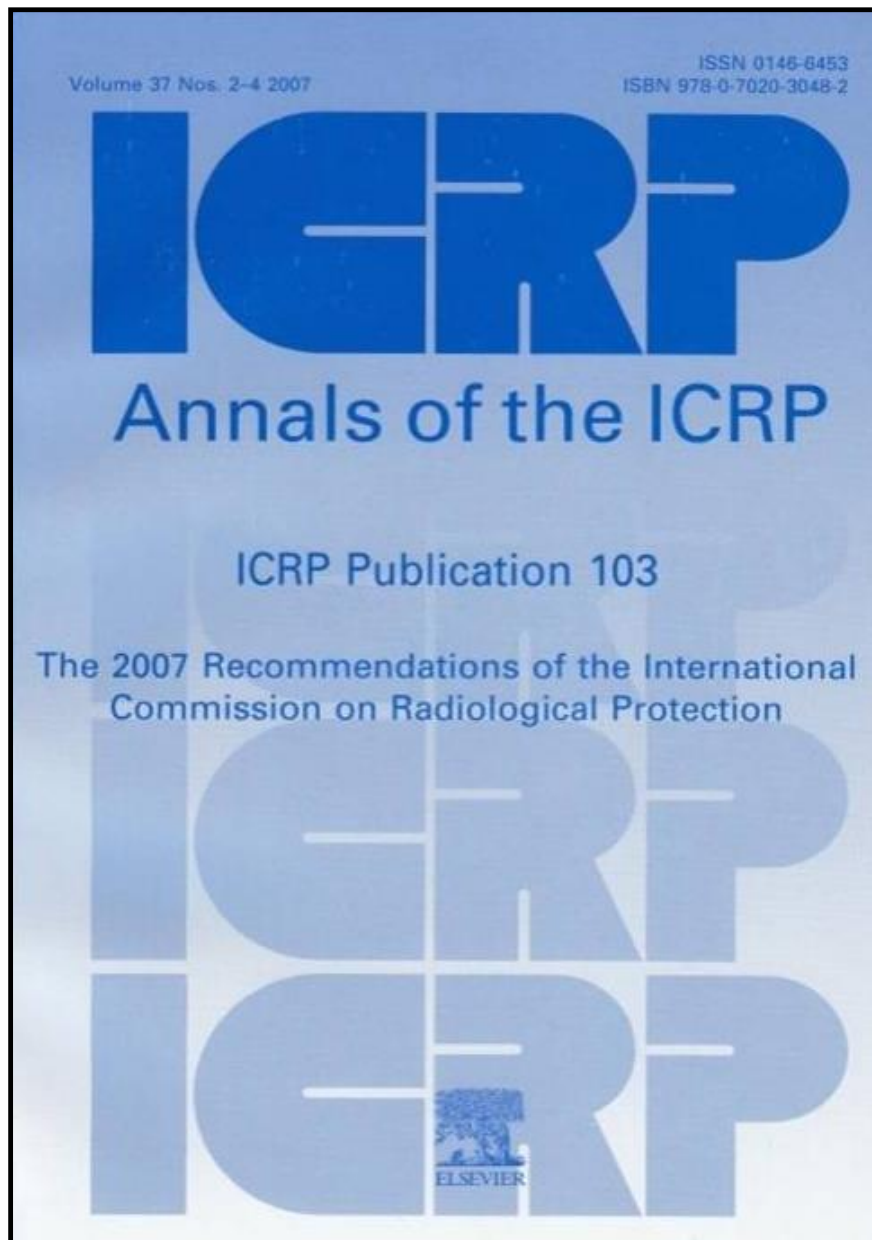


## Origen del Rn en interiores

■ Suelo ■ Agua subterránea ■ Exteriores ■ Construcción







El modelo basado en “Prácticas e Intervenciones” cambia por uno referido a **“Situaciones de Exposición”**

El radón en edificios supone una contribución muy importante a la dosis poblacional

Los pasos a seguir para tener un laboratorio de referencia de radón serían:

- Acondicionar una instalación radiactiva para este fin. IR-14-A Edificio 12, S2. Visitado con la Unidad de Arquitectura y Obras. Se han dado las indicaciones necesarias en cuanto a nivel de depresión, estanqueidad, sistema de filtración de aire y acabado de paredes y suelos.
- Diseño y construcción del patrón primario.
- Obtención de patrones secundarios para la trazabilidad de los laboratorios o empresas que lo requieran.
- Diseño y construcción de una cámara de atmósfera controlada de radón.

- **Métodos tradicionales basados en un patrón de  $^{226}\text{Ra}$ .**

- El LMRI dispone de patrones de  $^{226}\text{Ra}$ , calibrados con métodos propios desarrollados para este nucleido y validados en una intercomparación internacional.

A Second Intercomparison of  $^{222}\text{Rn}$  Measurement Systems in European Laboratories

J. C. J. DEAN\*, S. A. WOODS and N. E. BOWLES

Centre for Ionising Radiation and Acoustics, National Physical Laboratory, Queens Road, Teddington, Middlesex TW11 0LW, England

A recent intercomparison exercise (established under the auspices of EUROMET) involving seventeen laboratories was conducted by NPL, who generated and standardised a set of glass-encapsulated  $^{222}\text{Rn}$  samples and then dispatched a unique subset of the samples to each participant. The reported measured activities of the samples were normalised to the NPL values. The spread of results, for the laboratories who had participated in an earlier exercise, was of the order of  $\pm 5\%$ ; the results of 12 of the participants agreed at the  $1\sigma$  level. Copyright © 1996 Elsevier Science Ltd

Table 2.  $^{222}\text{Rn}$  measurements—reported results at reference time 1200 GMT, 1 January 1994 (uncertainties quoted at  $1\sigma$ )

Laboratory code	Sample code	Reported result	NPL value	n-test value
C	A694/93	$303.9 \pm 8.9$ Bq/g	$289 \pm 4$ Bq/g	1.53
D	A687/93	$90.899 \pm 0.946$ kBq	$88.68 \pm 1.12$ kBq	1.53
L(1)	A686/93	$5.26 \pm 0.03$ kBq/g	$5.27 \pm 0.07$ kBq/g	0.13
L(2)	A686/93	$5.30 \pm 0.04$ kBq/g	$5.27 \pm 0.07$ kBq/g	0.37
O	Source sent to NPL	$176 \pm 0.7$ Bq/g	$174 \pm 5$ Bq/g	0.40

- **Métodos basados en el propio patrón de  $^{222}\text{Rn}$ , sin relación de trazabilidad con el  $^{226}\text{Ra}$ .**

- Método de ángulo sólido definido: PTB (Alemania), IRA-METAS (Suiza), KRISS (Corea del Sur) and LNHB (Francia)

## CONCLUSIONES DE LA REUNIÓN: (CORREO ELECTRÓNICO DEL 25/05/18)

- Es conveniente desarrollar en España una estructura metrológica para la medida de radón que contemplará el desarrollo de un patrón primario en el CIEMAT y de una cámara de Rn secundaria.
- El LMRI tomará la iniciativa sobre las especificaciones iniciales de estos sistemas, estando prevista la visita al INTE-UPC, a las instalaciones de la UC y posiblemente a otros centros europeos con experiencia en la metrología del Rn. Así mismo, dispone de locales en el Edificio 12 que podrían ser adaptados para un futuro laboratorio primario de Rn.
- Se debe evitar la duplicidad de equipos y capacidades ya existentes, fomentándose la colaboración leal entre los asistentes a la reunión.
- Se informará al CSN sobre las conclusiones de esta reunión.

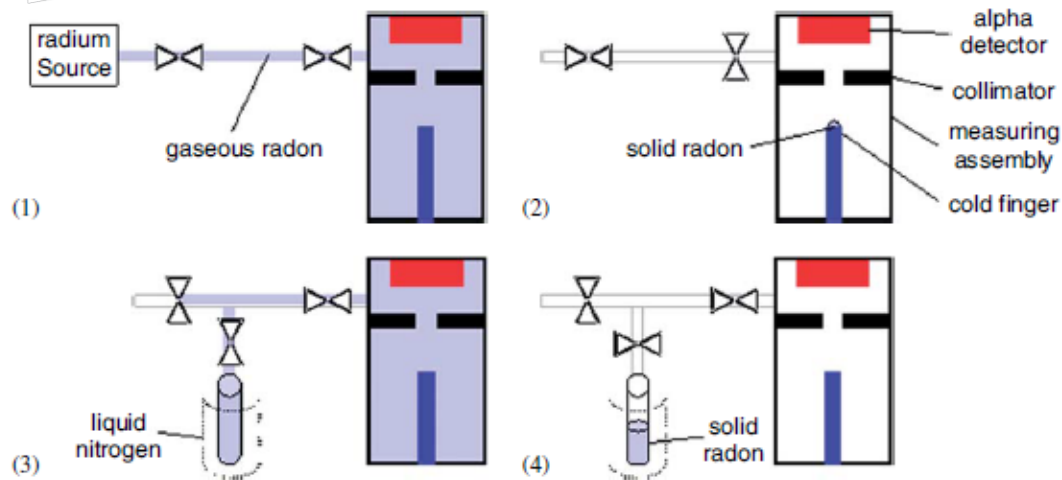
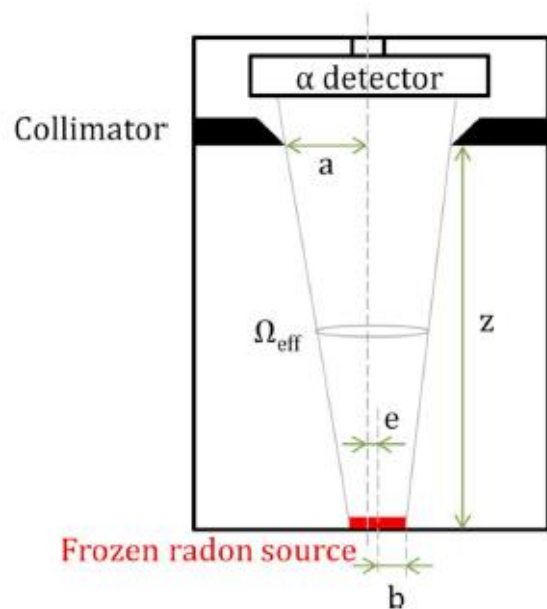


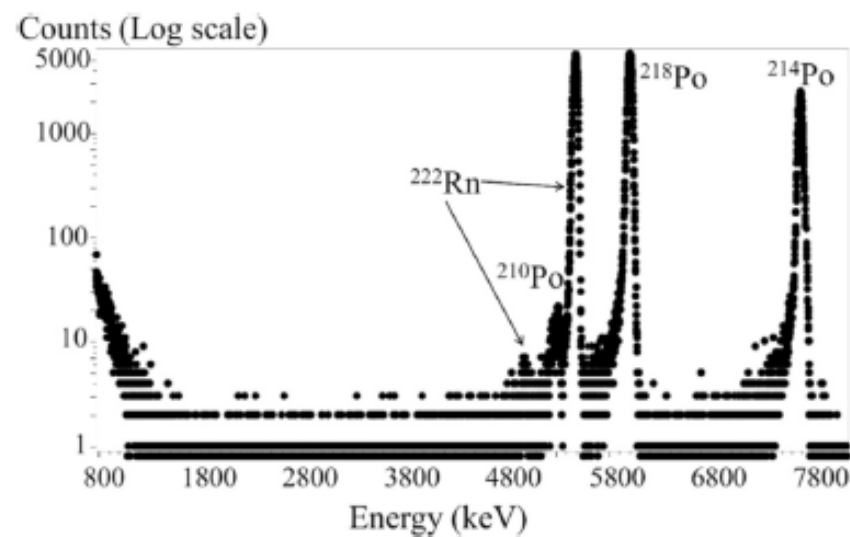
Fig. 1. General scheme of the measuring method: (1) radon gas is introduced into the system, (2) radon is frozen on the cold finger and measured by alpha spectrometry, (3) radon is heated and then frozen into an ampoule bathing in liquid nitrogen and (4) the ampoule is sealed while radon is still solid.



Model RN-1025



**Fig. 1.** Scheme of the DSA measurement system:  $a$ , radius of the collimator;  $b$ , radius of the source;  $z$ , distance between source and diaphragm;  $e$ , eccentricity if the source and collimator axis are different.



**Fig. 3.** Typical alpha spectrum of the frozen radon source.

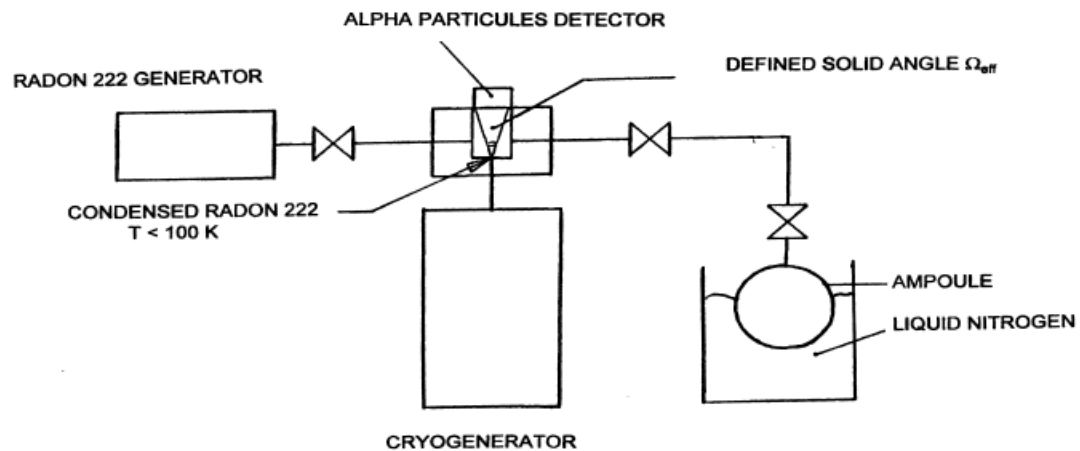


Fig. 2. Preparation of static secondary standards of  $^{222}\text{Rn}$ .

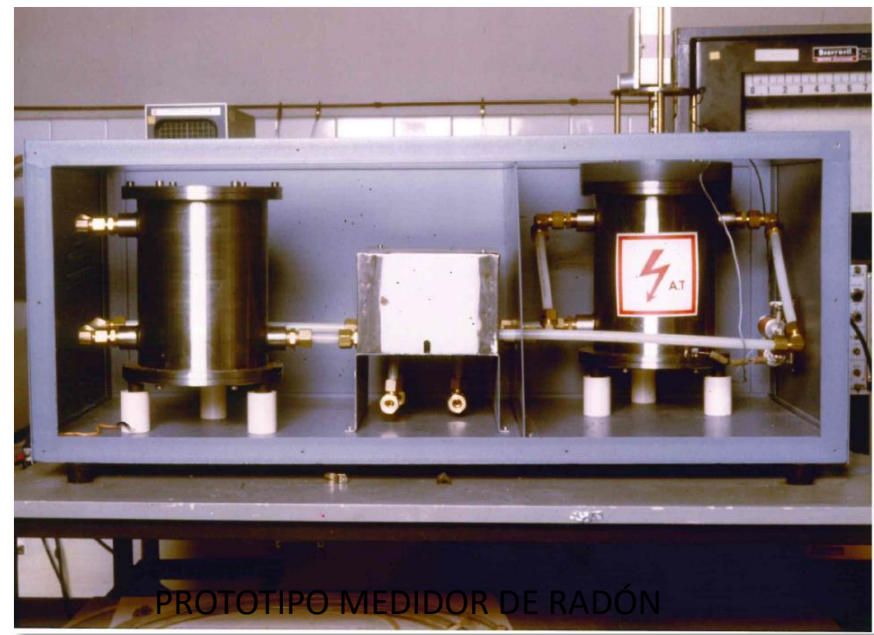
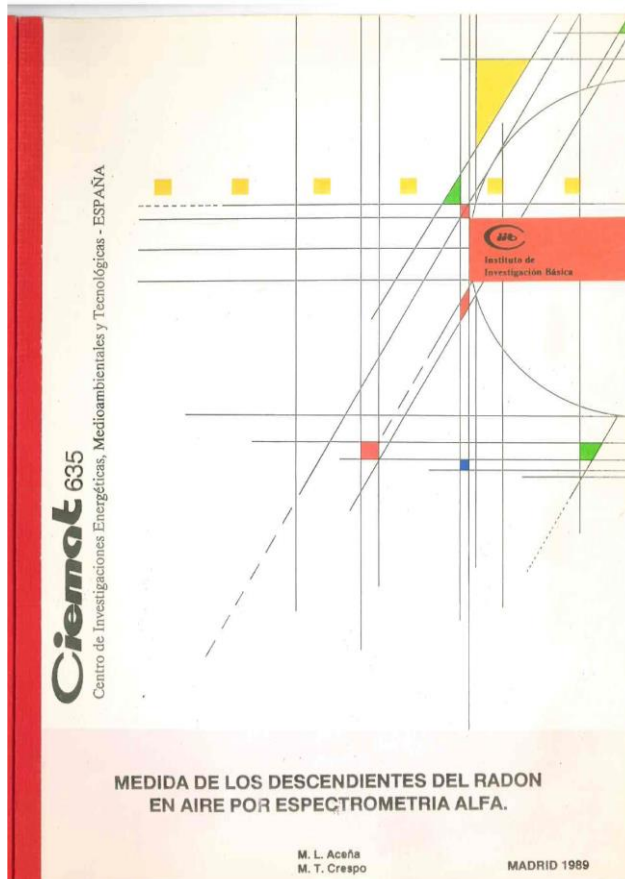
Otros métodos de medida del patrón secundario: LSC y espectrometría gamma.

## RADÓN: EXPERIENCIA PREVIA DEL LMRI

TABLA 7

Concentración de descendientes del Radón determinada por la medida del  $^{214}\text{Po}$  y por la del  $^{218}\text{Po}$

Concentración de descendientes de radón según método de $^{214}\text{Po}$ PAEC (WL)	Concentración de descendientes de radón según método de $^{218}\text{Po}$ PAEC (WL)
(6-2-89) interior del laboratorio	
$3,1 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$
$2,5 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$
$1,1 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-2}$
(6-2-89) medida en la calle	
$1,6 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-3}$



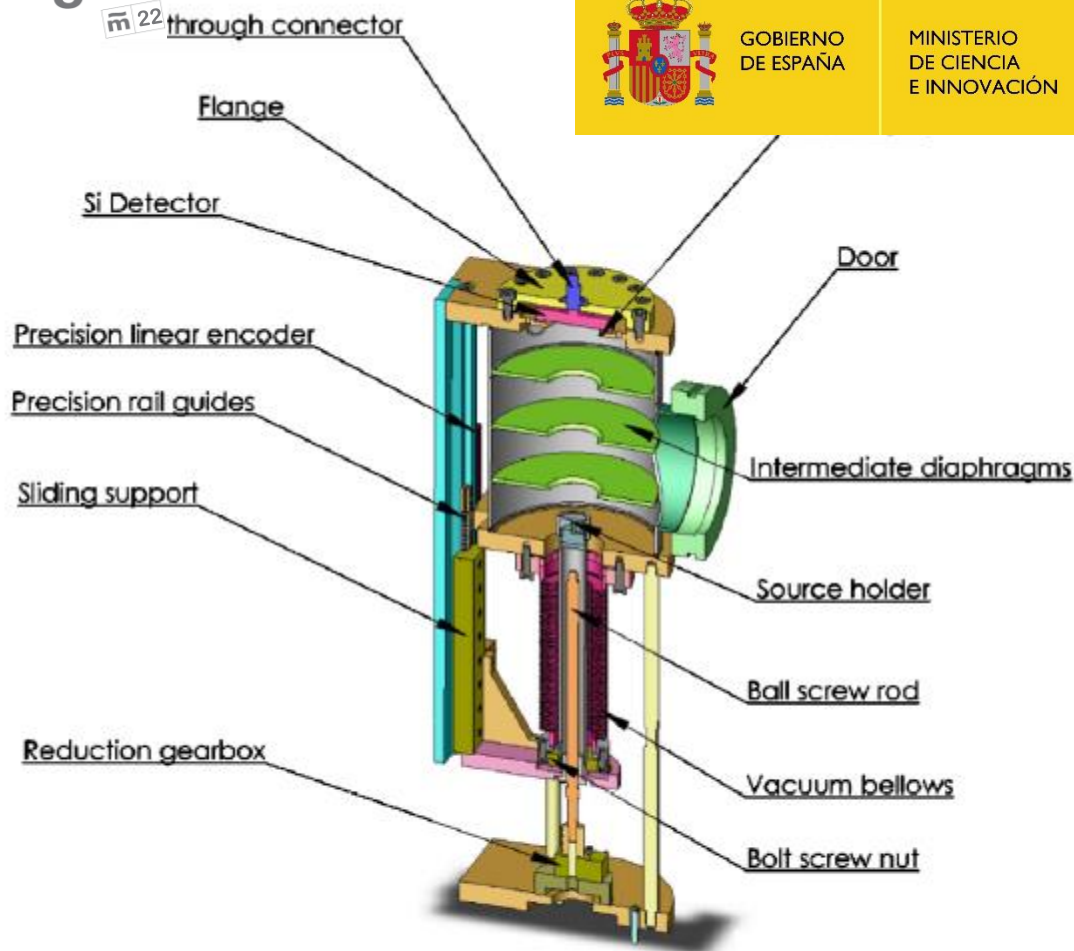


Fig. 1. Diagram of the counter showing the main components. Alpha particles are detected with a  $2000 \text{ mm}^2$  Si detector. Diameter of the main diaphragm, source-to-detector distance and activity distribution of the source define the geometry of the measurement. Source to detector distance can be continuously varied between 80 and 190 mm.

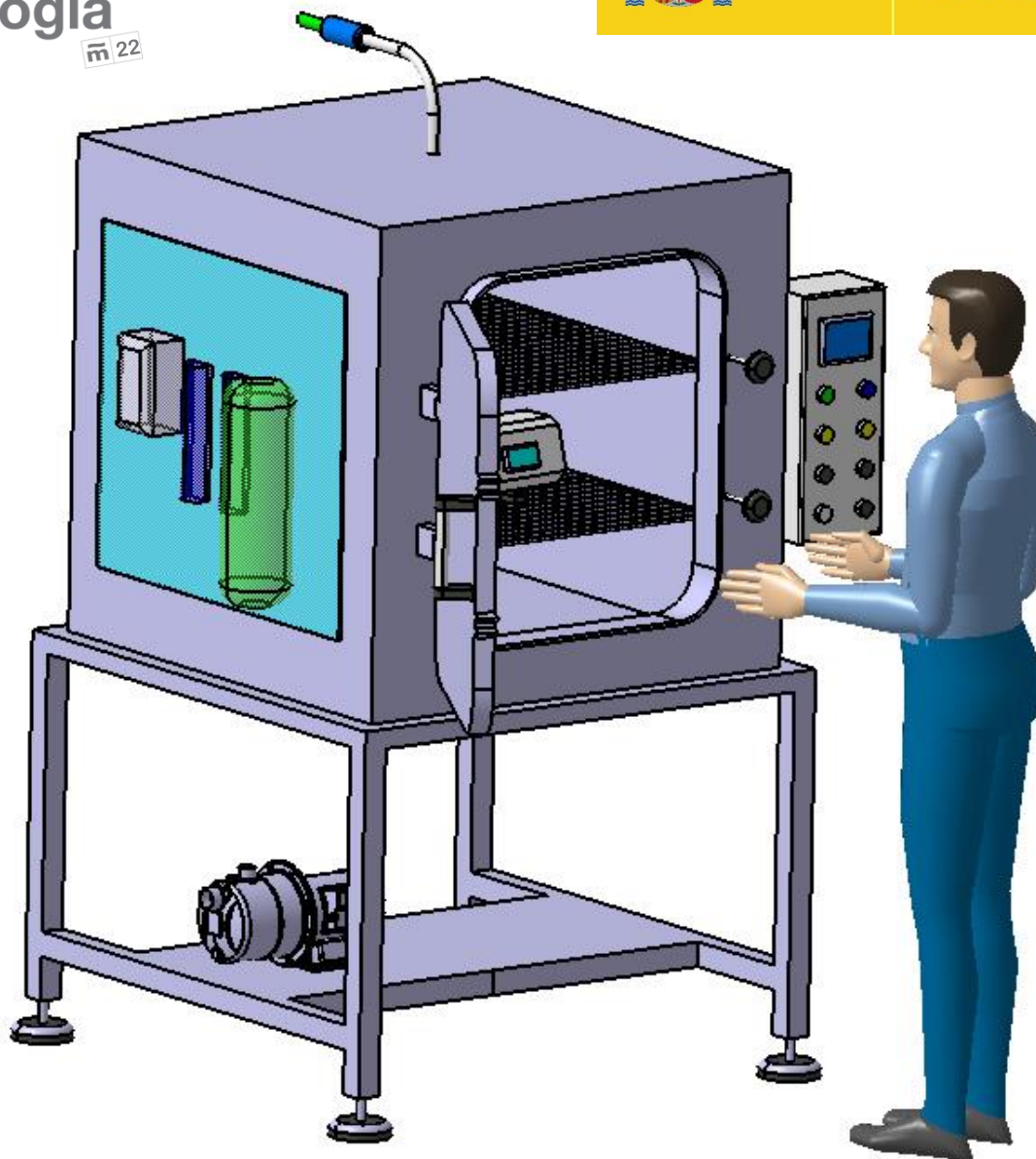
## CÁMARA DE ATMÓSFERA CONTROLADA DE RADÓN

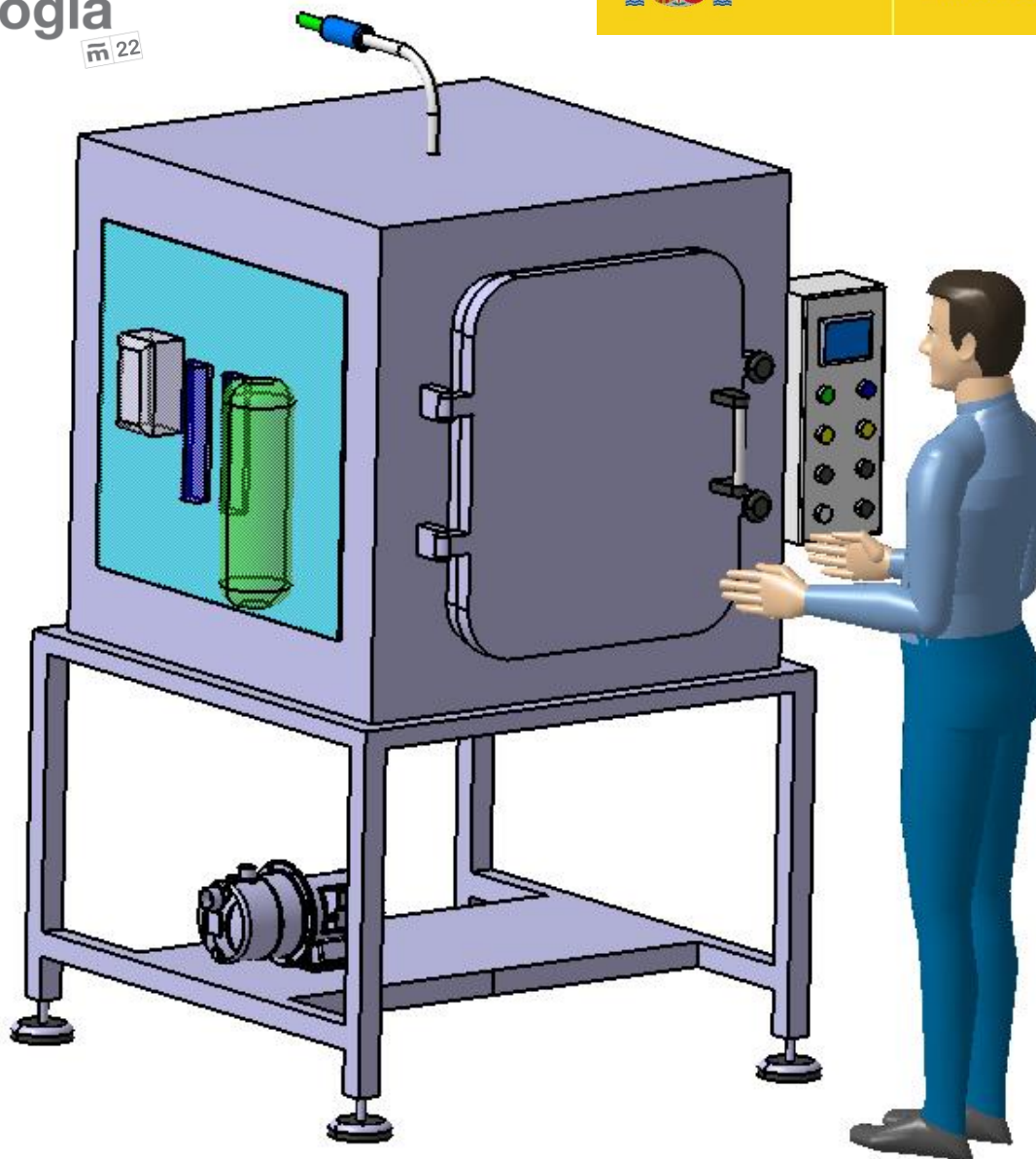
- Sirve para la calibración de los instrumentos de medida de radón simulando las distintas condiciones ambientales con las que trabajan estos equipos.
- Condiciones ambientales: temperatura, presión y humedad
- La ventaja de disponer de un patrón primario de radón junto con la cámara de atmósfera controlada es la posibilidad de introducir en la cámara una actividad conocida de radón obtenida de su medida en el patrón primario y su posterior transferencia a la cámara.
- Las hay de distintos volúmenes (entre 1 m<sup>3</sup> y 25 m<sup>3</sup>).
  - Las grandes requieren disponer de un gran espacio y recursos para su montaje y mantenimiento.
  - Las pequeñas no permiten el acceso de una persona a su interior para las operaciones de mantenimiento y descontaminación, ni la instalación de varios equipos de medida simultáneamente

## CÁMARA DE ATMÓSFERA CONTROLADA DE RADÓN

Opción que plantea el LMRI:

- Pequeña ( $\approx 3 \text{ m}^3$ ) pero que permita el acceso de una persona y que pueda alojar al menos tres soportes para trabajar con tres monitores de detección de radón simultáneamente
- Cilindro de 1,10 m de diámetro y 2 m de altura.
- Paredes interiores de acero inoxidable para prevenir la difusión del radón
- Aislada exteriormente para ayudar al mantenimiento de temperatura constante
- Dotada de un sistema de regulación de temperatura, humedad y presión, a la vez que se garantiza la homogeneidad de la atmósfera en su interior.
- El control de las sondas y medidores se hará de forma automática y se almacenarán todos los registros.
- Dispondrá de dos sistemas de introducción de radón: 1) a través de un bulbo de recolección del radón medido en el patrón primario, 2) mediante una conexión directa con la fuente de radio y un divisor de flujo.





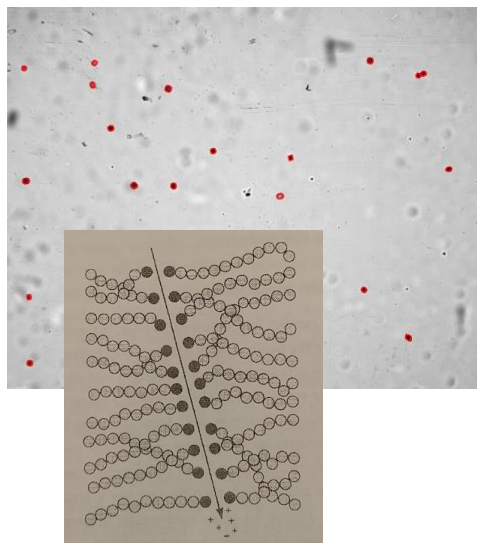
## Medida de la concentración de radón en aire con detectores pasivos integradores

Integradores  $\longleftrightarrow$  La magnitud física que miden es la Exposición  $\chi$  ( $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ )

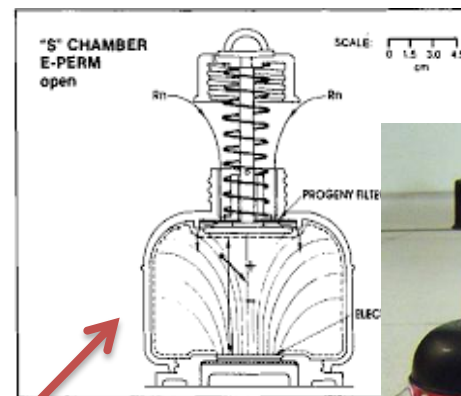
$$\chi = \int_0^t C_{Rn}(t) dt = \overline{C_{Rn}} \cdot t \quad \longrightarrow \quad \overline{C_{Rn}} (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{\chi}{t}$$

Las radiaciones emitidas por el radón y sus descendientes dejan una señal (S) en el detector que no desaparece con el tiempo.

### Detectores de trazas



### Electretes



Cámara de ionización



El Laboratorio de Medidas de Radón (LMRn) del Centro de Investigaciones Energéticas y Tecnológicas, CIEMAT, ha recibido por parte de la Entidad Nacional de Acreditación, ENAC, el Certificado de Acreditación con nº 144/LE2667, que atestigua que el laboratorio cumple con los requisitos de acreditación recogidos en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” y que dispone de la competencia técnica necesaria para llevar a cabo las actividades de medida de radón en aire, Categoría I (Actividades “in situ”), mediante la instalación de detectores pasivos (electretes) y posterior medida de la concentración de actividad de radón. El procedimiento de ensayo se basa en la norma UNE-EN-ISO 11665-1 ‘Measurements of radioactivity in the environment –Air: radon-222- Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis’ y cumple lo establecido en el RD 732/2019 por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación (DB-HS Sección H-6).

En los próximos años el LMRn tiene previsto solicitar la acreditación ENAC para la medición de Rn en continuo según la norma EN-ISO 11665-5 y la producción de atmósferas de referencia conteniendo isótopos de radón y sus descendientes según la norma EN 61577-4.

Detectores PIPS de silicio	3.800
Sistema de vacío con bomba turbomolecular	55.000
Divisor de flujo	8.000
Monitor portátil de gas radón	20.000
Cámara de radón	290.000

## 9. Gastos de Personal

Perfil	Coste imputable	Justificación de necesidad y tareas que realizará
		Para el desarrollo del patrón primario de radón y alcanzar los objetivos que se han planteado en este proyecto, es fundamental contratar a un investigador, que
		absorción y la retrodispersión de la fuente de radón. Experiencia en otras técnicas de medida para comprobación de los patrones secundarios.
<b>Total</b>	<b>118.483,00 €</b>	

### Viajes y dietas

Descripción	Coste imputable	Justificación de uso
Dos viajes de dos personas a instalaciones que están desarrollando patrones de radón y dos viajes para participación en congresos internacionales.	9.000,00 €	Conocer directamente los desarrollos que se están implementando en el IRA-METAS de Suiza y en LNHB en Francia. Difusión de resultados en las conferencias organizadas por el ICRM.
<b>Total Viajes y dietas:</b>	<b>9.000,00 €</b>	

### Otros gastos

Descripción	Coste imputable	Justificación de uso
Gastos de publicación	2.000,00 €	Difusión de resultados
<b>Total Otros gastos:</b>	<b>2.000,00 €</b>	

### Adquisición de inventariable

Descripción	Coste imputable	Justificación de uso
Detector de silicio	3.000,00 €	Elemento fundamental de la cámara de ángulo sólido definido para la calibración de las fuentes de radón.
Preamplificador	2.000,00 €	Módulo electrónico conectado al detector de silicio de la cámara de baja geometría.
Amplificador espectroscópico	4.500,00 €	Amplificador de altas prestaciones conectado al detector de silicio de la cámara de baja geometría.
Fuente de alta tensión	3.500,00 €	Necesaria para polarizar el detector de silicio de la cámara de baja geometría
Fuente de radio-226 para generación de radón	30.500,00 €	Es necesario disponer de una fuente de este nucleido para el suministro del radón. Existen en la actualidad fuentes de 226Ra adecuadas para proporcionar gas radón a los instrumentos de medida de este gas, cámaras ambientales, recintos de radón y otros sistemas cerrados. Son, finalmente, fuentes de radón que proporcionan cantidades del orden de actividad deseado de este gas. Se comercializan en varias actividades. La fuente de 226Ra interna está calibrada, confinada de forma segura y permanente y se suministra con una tapa extraíble, que se utiliza para sellar el contenedor. Solo se dispersará el gas radón contenido en el interior cuando se retire la tapa.
<b>Total Adquisición de inventariable</b>	<b>43.500,00 €</b>	

## **RADÓN EN LUGARES DE TRABAJO:**

### Servicios de Medida (según Guía CSN 11.01):

*“Agente responsable de hacer las medidas de radón, incluyendo la exposición de los detectores y de elaborar el informe final de resultados”*

### Laboratorio de Lectura (según Guía CSN 11.01):

*“Agente encargado de realizar las lecturas de los detectores de lectura indirecta, de cuya exposición se responsabiliza el servicio de medida.  
El laboratorio puede estar integrado en el propio Servicio de Medida o bien actuar como laboratorio externo”.*

### UTPR (según Instrucción Técnica IS-33 y Circular CSN 4/2018):

*“Facilita asesoramiento específico en protección radiológica a los titulares de prácticas que requieran medidas correctoras o superen los niveles de dosis establecidos ”*