

# Protección Frente al Gas Radón en Edificios

---

## TIPOS DE MEDICIÓN DE GAS RADÓN EN AIRE, SUELO Y AGUA



Dr. D. Julián de la Torre Pérez (jdltp@unex.es)

Técnico de Apoyo a la investigación. Dpto. Física.  
Área de Física Atómica, Molecular y Nuclear. Universidad de Extremadura

---

# TIPOS DE MEDICIÓN DE GAS RADÓN EN AIRE, SUELO Y AGUA

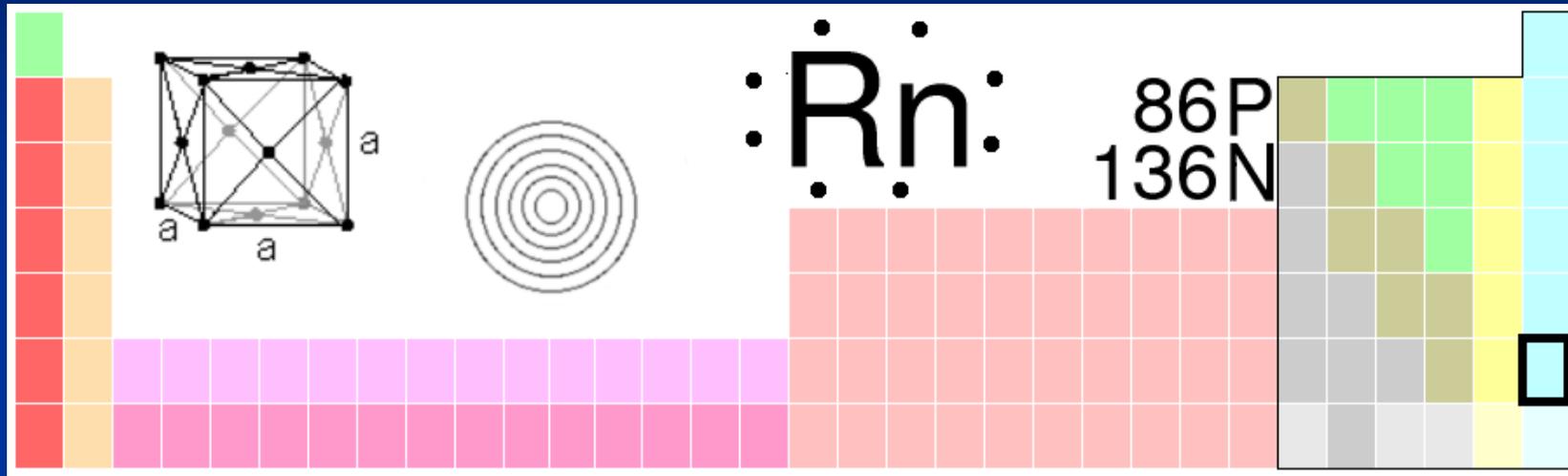
---

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  2. MÉTODOS DE MEDIDA
    1. MEDIDA EN AIRE
    2. MEDIDA EN SUELO
    3. MEDIDA EN AGUA
  3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD
-

# 1. INTRODUCCIÓN

## Radón



Gas radiactivo de origen natural que emana de la superficie terrestre

Gas noble más pesado. Incoloro, inodoro. Se difunde fácilmente en aire y agua.

Imperceptible para los sentidos humanos. Debemos medir para detectar su presencia.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

¿Dónde tenemos/medimos gas Radón?



Suelo



Agua



Aire

(Protección Radiológica de las personas)

---

# 1. INTRODUCCIÓN

Tabla 5. Estimaciones de la proporción de casos de cáncer de pulmón atribuible al radón en algunos países

País	Concentración media de radón en interiores [Bq/m <sup>3</sup> ]	Estimación del riesgo usada para el cálculo	Porcentaje de los casos de cáncer de pulmón atribuible al radón [%]	N.º estimado de muertes anuales por cáncer de pulmón inducido por radón
Alemania (Menzler et al. 2008)	49	Análisis agrupado europeo <sup>a</sup>	5	1 896
Canadá (Brand et al. 2005)	28	BEIR VI	7.8	1 400
Estados Unidos (BEIR VI, 1999)	46	BEIR VI	10-14	15 400 - 21 800
Francia (Catelinois et al. 2006)	89	Análisis agrupado europeo <sup>a</sup>	5	1 234
		BEIR VI	12	2 913
Reino Unido (AGIR 2009)	21	Análisis agrupado europeo <sup>a</sup>	3.3	1 089
		BEIR VI	6	2 005
Suiza (Menzler et al. 2008)	78	Análisis agrupado europeo <sup>a</sup>	8.3	231

<sup>a</sup> Datos ajustados para tener en cuenta la variación interanual en las concentraciones de radón.

# 2. MÉTODOS DE MEDIDA

---

## 2. MÉTODOS DE MEDIDA

### 2.1. MEDIDA EN AIRE

### 2.2. MEDIDA EN SUELO

### 2.3. MEDIDA EN AGUA



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

Son muchos y variados los dispositivos de medida de radón en aire.



La elección del dispositivo a utilizar es muy importante.

## 2.1. MEDIDA EN AIRE

Dispositivos de medición de radón más populares (OMS):

Tipo de detector	Pasivo/ Activo	Incertidumbre Típica * (%)	Período típico de muestreo	Coste económico
<b>Detector Trazas</b>	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	Bajo
<b>Carbón Activo</b>	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	Bajo
<b>Electret</b>	Pasivo	8 – 15	2 días – 1 año	Medio
<b>Integrador electrónico</b>	Activo	~ 25	2 días - años	Medio
<b>Monitor Continuo</b>	Activo	~ 10	1 hora - años	Alto

*Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores.  
[World health Organization, 2009]. \* Incertidumbre para 200 Bq/m<sup>3</sup>*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

Sistema de detección: Detectores de trazas de estado sólido



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

Material plástico (CR39, LR1115 o Makrofol) en el interior de una cámara de difusión.

Tiempo Muestreo:  
1 mes – 1 año



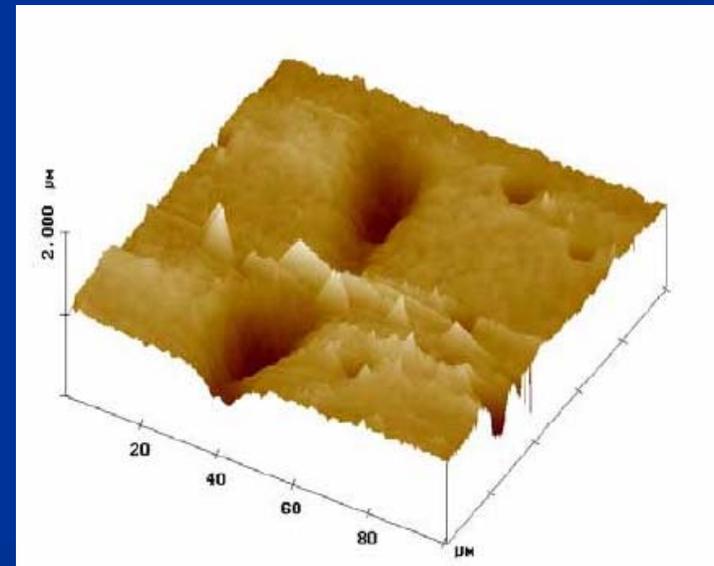
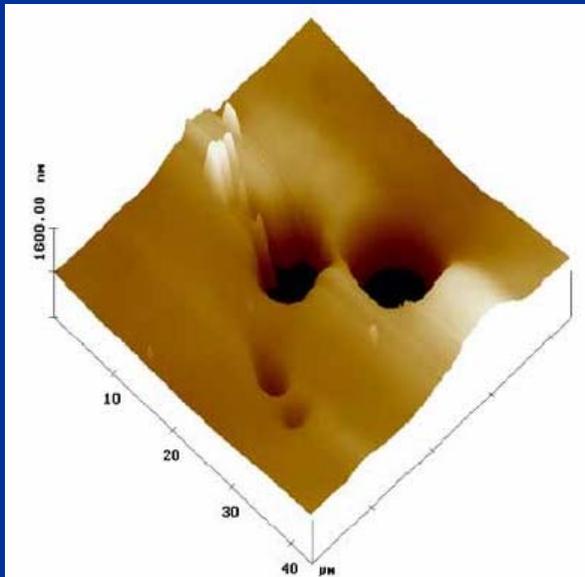
Insensibles a la humedad, temperatura, radiaciones beta y gamma de fondo

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

Daño microscópico: trazas latentes (CR39)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REALIZANDO EL MUESTREO

- Se extrae del envoltorio original (papel de aluminio)



- Colocar convenientemente de acuerdo pautas (tomar datos)
  - Finalizada la exposición (unos 3 meses); retirar (cerrar, envolver papel aluminio, enviar al laboratorio para análisis)
-

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO

- Revelado químico de los detectores (Etching)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO

- Preparación disolución: 1 kg de NaOH en 4L H<sub>2</sub>O(DD)  
(No superar 100°C)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO

- Extracción CR39 de los botes
- Colocación en dispositivo “porta-muestras”



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO

- Colocación del “porta-muestras” en carrusel (12x36 = 432)



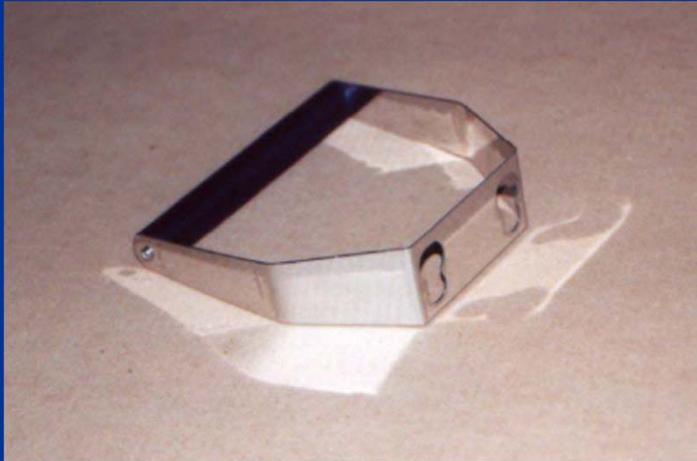
# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO

- Preparación “Etching”:



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - REVELADO QUÍMICO



- Seleccionar tiempo de “Etching” según serie detectores:
  - Serie “419 \_ \_ \_”: 3 horas 40 minutos
  - Serie “3E \_ \_ \_ \_”: 4 horas 30 minutos

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

- REVELADO QUÍMICO



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### - MEDIDA/ANÁLISIS

- Lectura de trazas en microscopio:



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## A) DETECTORES DE TRAZA (DTPA)

### VENTAJAS

- Promedios anuales
- Gran número de muestras
- Bajo coste
- No les afectan variables

### INCONVENIENTES

- Posible saturación
  - Pérdida de detectores
  - Residuos químico
  - Dependencia fabricación
  - Actualización Software
-

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

Dispositivos de medición de radón más populares (OMS):

Tipo de detector	Pasivo/ Activo	Incertidumbre Típica * (%)	Período típico de muestreo	Coste económico
<b>Detector Trazas</b>	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	Bajo
<b>Carbón Activo</b>	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	Bajo
<b>Electret</b>	Pasivo	8 – 15	2 días – 1 año	Medio
<b>Integrador electrónico</b>	Activo	~ 25	2 días - años	Medio
<b>Monitor Continuo</b>	Activo	~ 10	1 hora - años	Alto

*Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores.  
[World health Organization, 2009]. \* Incertidumbre para 200 Bq/m<sup>3</sup>*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

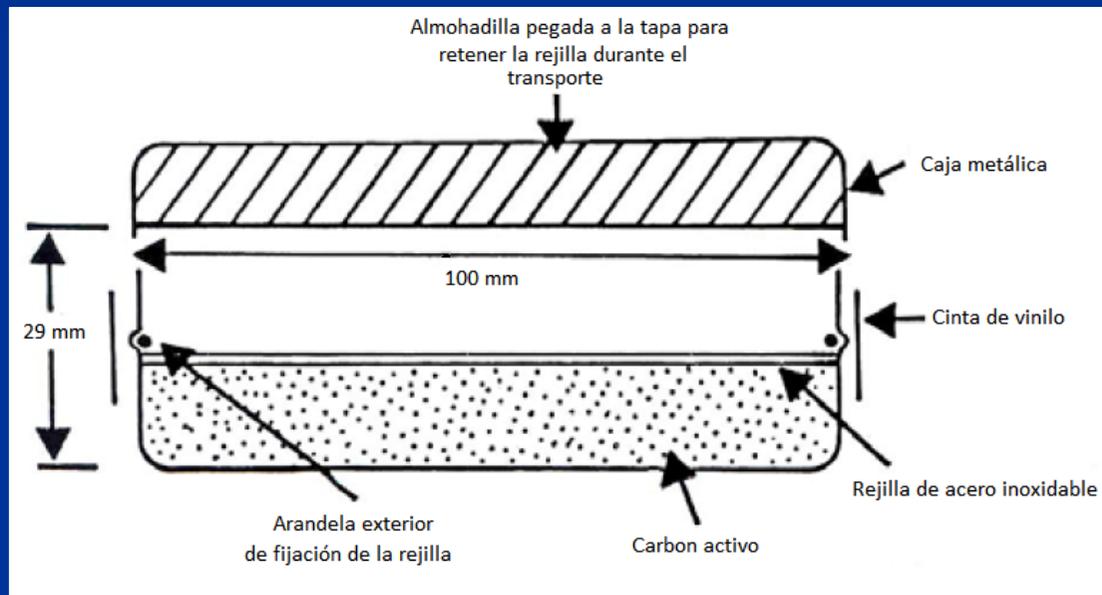
## B) CARBÓN ACTIVO (DCA)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## B) CARBÓN ACTIVO (DCA)

Sistema de detección: Espectrometría de rayos gamma



$70 \pm 1$  gramos de carbón activo de malla 6x16 (3,35mmx1,19mm)

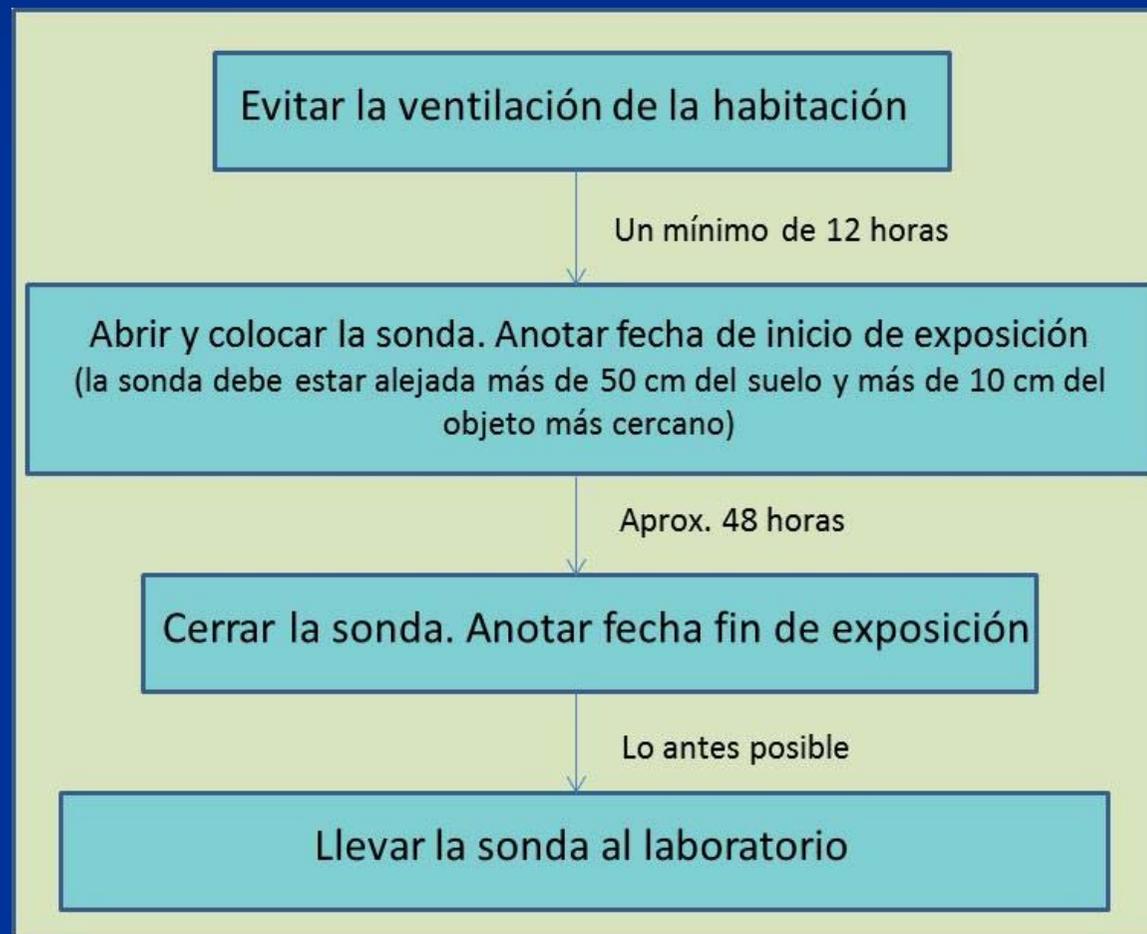
Tiempo Muestreo:  
1 – 7 días

Les afecta la humedad  
Calibración Humedad  
Calibración Tiempos

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## B) CARBÓN ACTIVO (DCA)

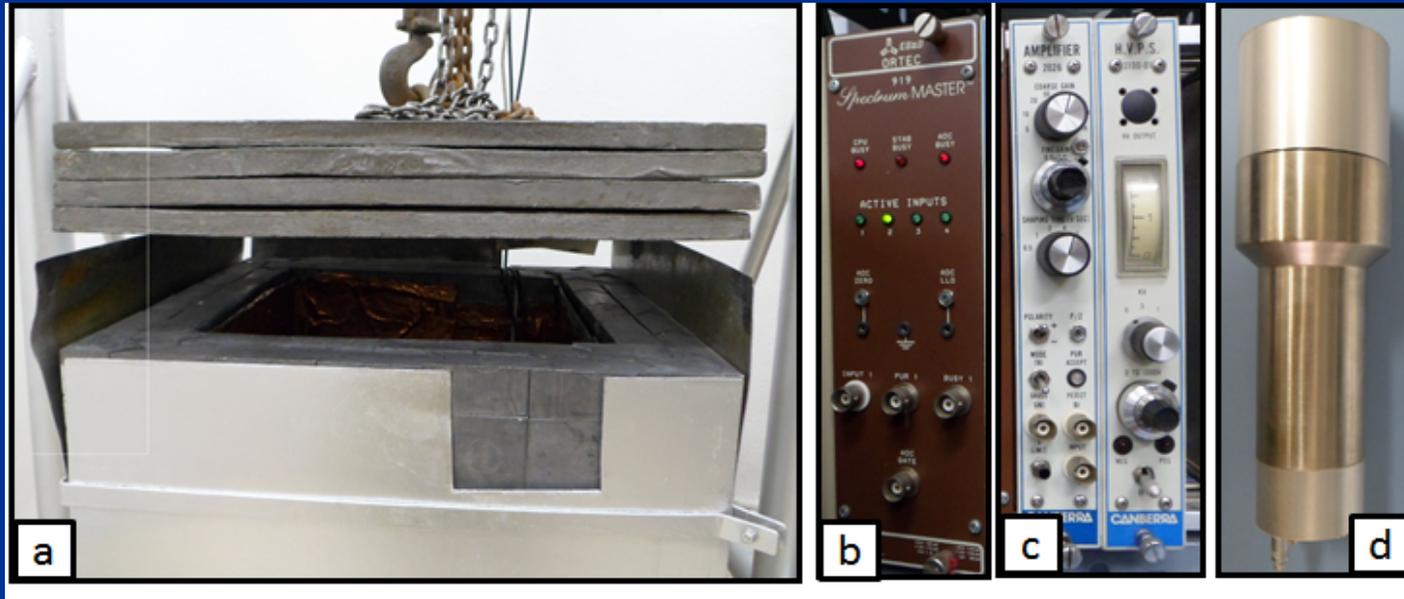
### - REALIZANDO EL MUESTREO



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## B) CARBÓN ACTIVO

- MEDIDA/ANÁLISIS



a) *Blindaje de plomo*

b) *Analizador multicanal*

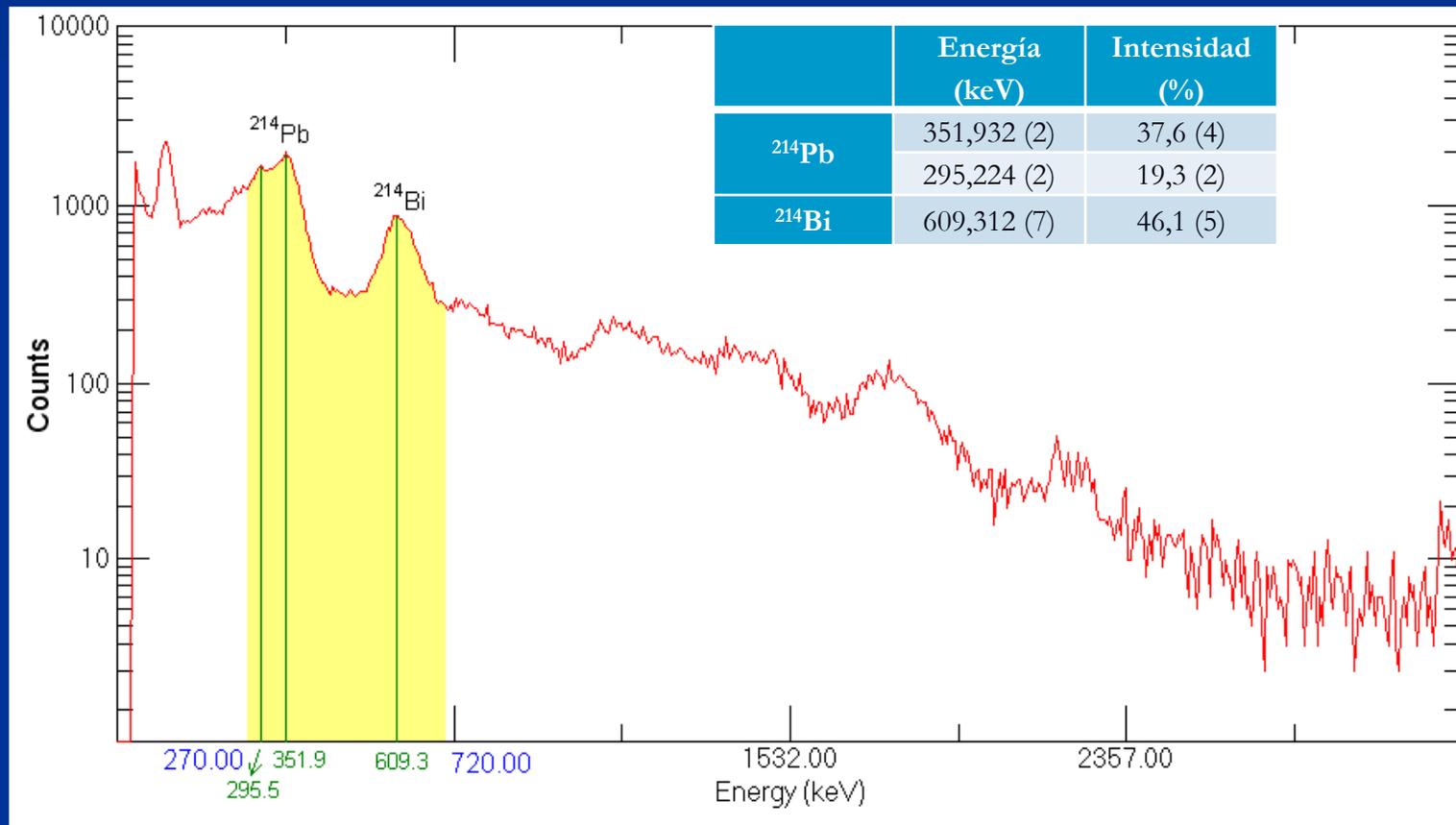
c) *Amplificador y fuente de tensión*

d) *Detector de NaI (Tl) con tubo fotomultiplicador y preamplificador incorporados*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## B) CARBÓN ACTIVO

- MEDIDA/ANÁLISIS



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## B) CARBÓN ACTIVO

### VENTAJAS

- Resultado rápido
- Gran número de muestras
- Reutilizable
- Independencia absoluta
- Bajo coste

### INCONVENIENTES

- No válido para promedios anuales
  - Tener detectores HpGe ó NaI(Tl)
  - Fuente de Ra-226 para calibración
  - Posible saturación humedad
  - Pérdida de detectores
-

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

Dispositivos de medición de radón más populares (OMS):

Tipo de detector	Pasivo/ Activo	Incertidumbre Típica * (%)	Período típico de muestreo	Coste económico
<b>Detector Traza</b>	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	Bajo
<b>Carbón Activo</b>	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	Bajo
<b>Electret</b>	Pasivo	8 – 15	2 días – 1 año	Medio
<b>Integrador electrónico</b>	Activo	~ 25	2 días - años	Medio
<b>Monitor Continuo</b>	Activo	~ 10	1 hora - años	Alto

*Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores.  
[World health Organization, 2009]. \* Incertidumbre para 200 Bq/m<sup>3</sup>*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

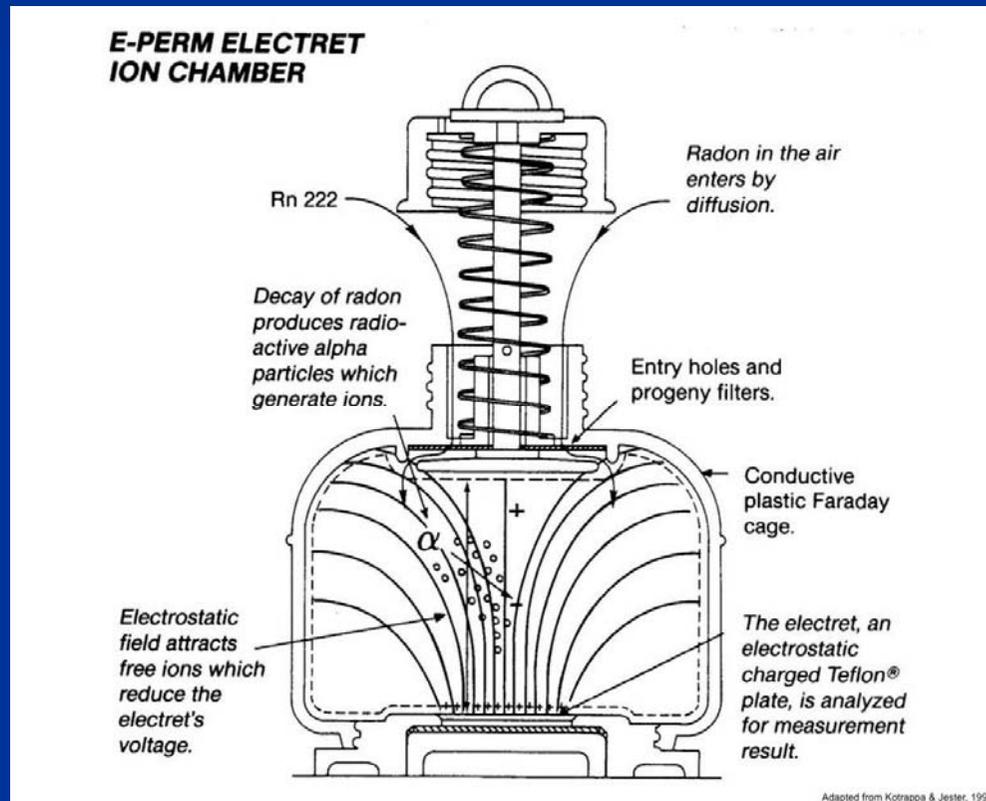
## C) ELECTRET (CIE)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## C) ELECTRET (CIE)

Sistema de detección: Descarga de una superficie polarizada dentro de una cámara de ionización



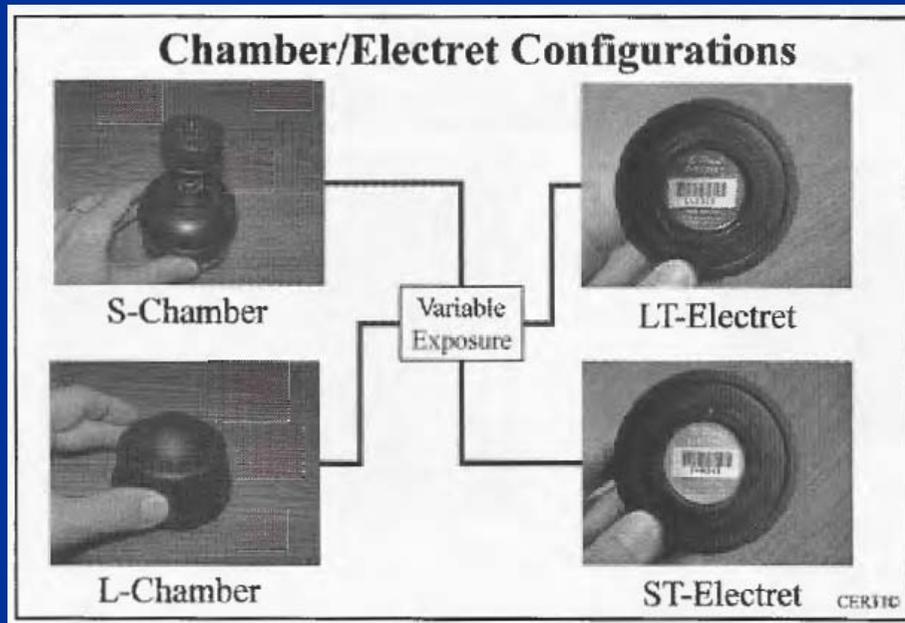
Tiempo Muestreo:  
2 días – 1 año

Les afecta la humedad  
Necesitan lector de voltaje

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## C) ELECTRET (CIE)

- Tiempo de exposición (2 días – 1 año) depende de los tipos de electrets y volúmenes de cámaras.



**Chamber Configurations and Estimating Voltage Drops**

Chamber	Electret	Configuration Abbreviation	Typical Use for 4 pCi/L
S	ST	SST	2 - 7 days
S	LT	SLT	1- 4 months
L L-OO	ST	LST/LST-OO	1- 4 months
L L-OO	LT	LLT/LLT-OO	4 months - 1 Year

CERTIG

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

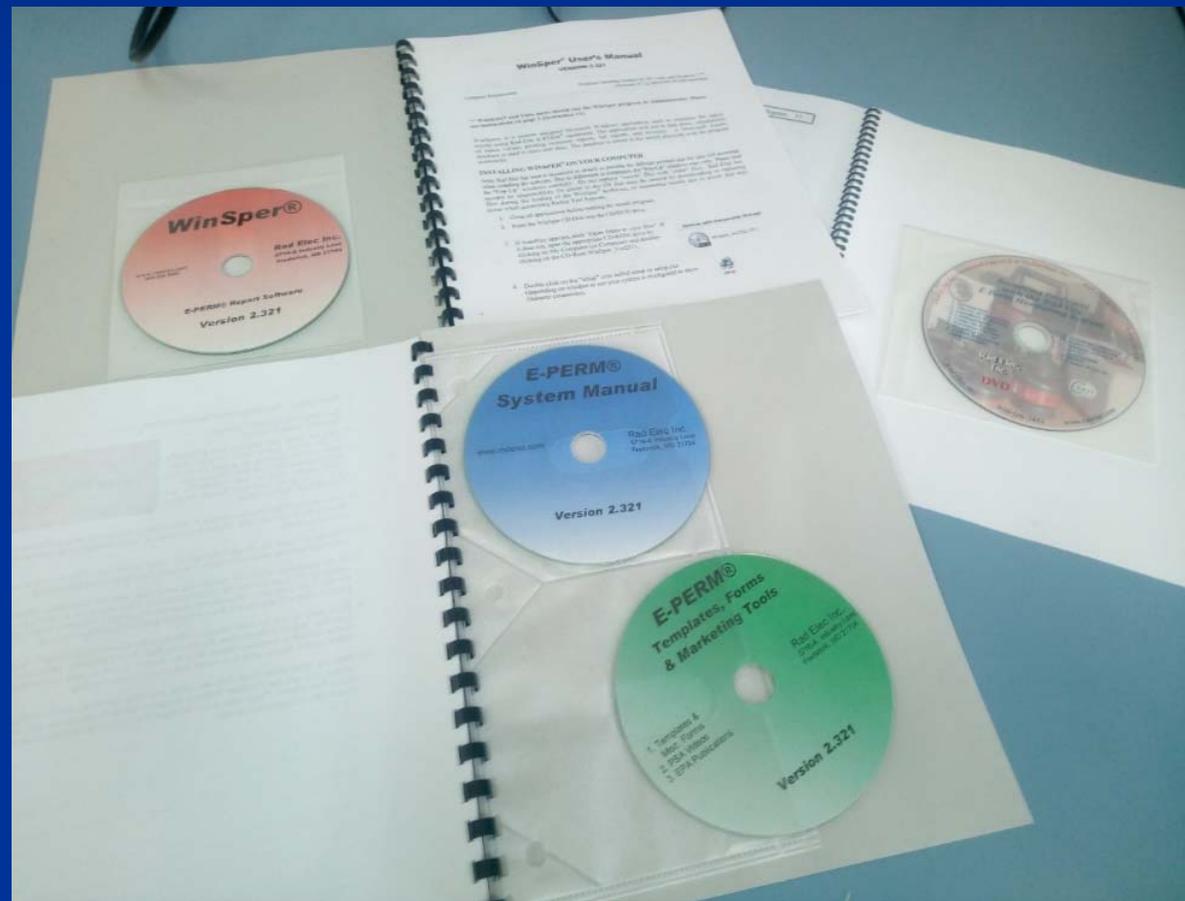
## C) ELECTRET (CIE) - MEDIDA/ANÁLISIS



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## C) ELECTRET (CIE) - MEDIDA/ANÁLISIS



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## C) ELECTRET (CIE)

### VENTAJAS

- Resultado rápido
- Medida sencilla
- Integrar por horas (abr/cerr)
- Reutilizable (cargando)

### INCONVENIENTES

- Coste medio
  - Posible afectación humedad
  - Limpieza con N<sub>2</sub>
  - Dependencia fabricante
  - Calibración lector voltaje
  - Restar fondo rad. gamma
  - Saturación (descarga total)
-

## 2.1. MEDIDA EN AIRE

Dispositivos de medición de radón más populares (OMS):

Tipo de detector	Pasivo/ Activo	Incertidumbre Típica * (%)	Período típico de muestreo	Coste económico
<b>Detector Traza</b>	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	Bajo
<b>Carbón Activo</b>	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	Bajo
<b>Electret</b>	Pasivo	8 – 15	2 días – 1 año	Medio
<b>Integrador electrónico</b>	Activo	~ 25	2 días - años	Medio
<b>Monitor Continuo</b>	Activo	~ 10	1 hora - años	Alto

*Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores.  
[World health Organization, 2009]. \* Incertidumbre para 200 Bq/m<sup>3</sup>*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE)

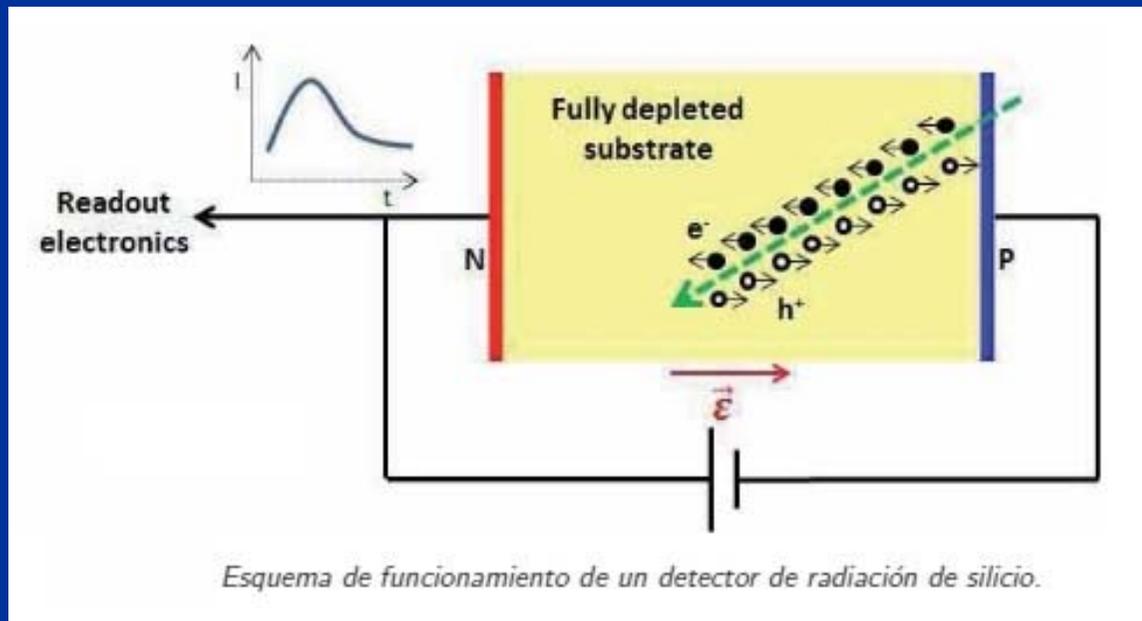


# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE)

Sistema Detección: Semiconductor (alfa). Detector de silicio.

Cámara de difusión de reducidas dimensiones



Tiempo Muestreo:  
2 días – años

Les afecta la humedad  
Calibración anual

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

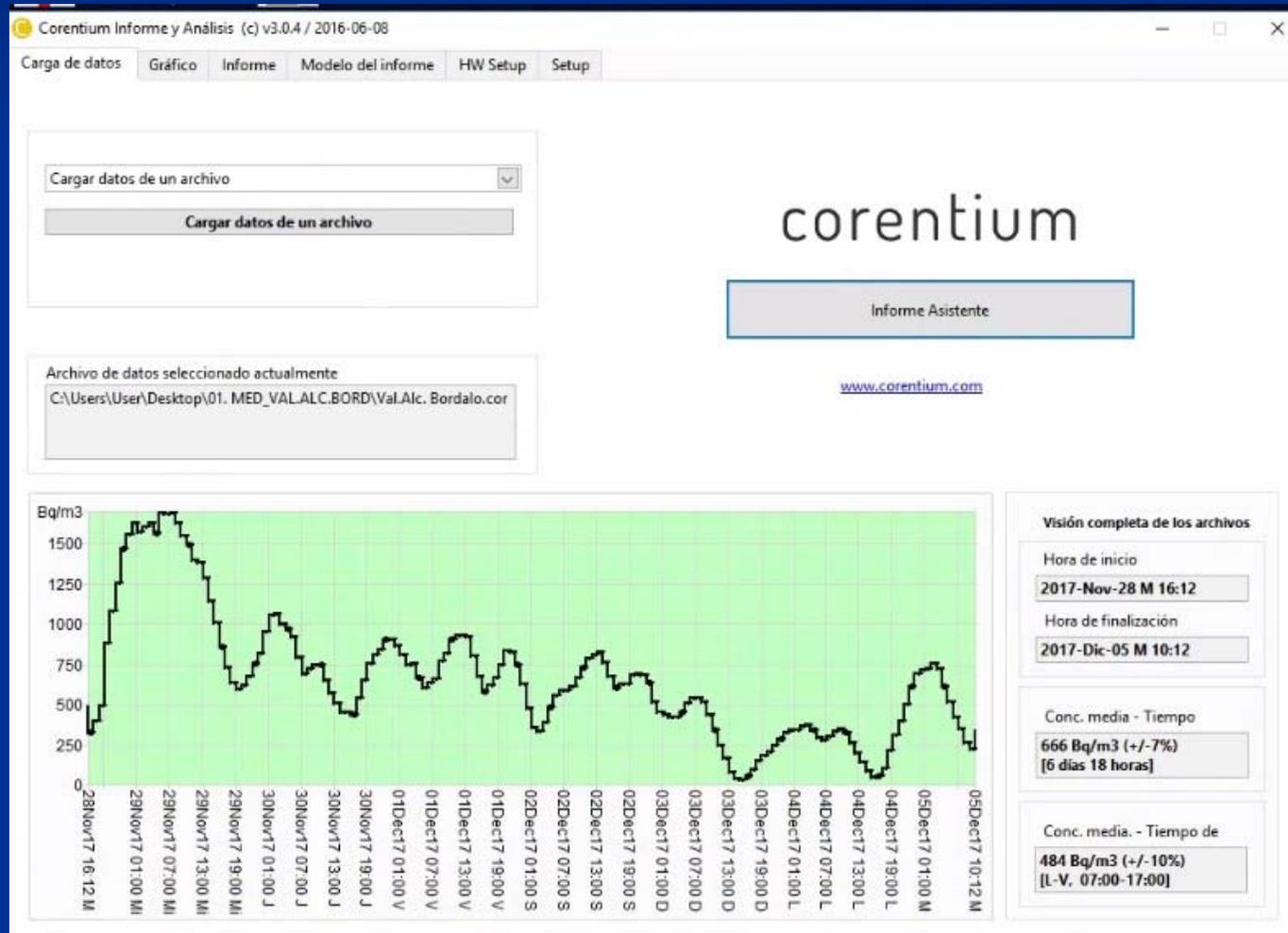
## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE) - REALIZANDO LA MEDIDA

Encenderlo



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## D) INTEGRADOR ELECTRÓNICO (DIE)

### VENTAJAS (versión cara)

- Medida fácil y rápida
- Resultados  $T^a$ , Hr, P...etc.
- Variaciones temporales

### INCONVENIENTES

- Coste elevado
  - Calibración externa (anual)
  - Precauc. Humedades altas
  - Tiempo respuesta bajo/lento
-

## 2.1. MEDIDA EN AIRE

Dispositivos de medición de radón más populares (OMS):

Tipo de detector	Pasivo/ Activo	Incertidumbre Típica * (%)	Período típico de muestreo	Coste económico
<b>Detector Trazas</b>	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	Bajo
<b>Carbón Activo</b>	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	Bajo
<b>Electret</b>	Pasivo	8 – 15	2 días – 1 año	Medio
<b>Integrador electrónico</b>	Activo	~ 25	2 días - años	Medio
<b>Monitor Continuo</b>	Activo	~ 10	1 hora - años	Alto

*Dispositivos más populares para la medida de radón en interiores.  
[World health Organization, 2009]. \* Incertidumbre para 200 Bq/m<sup>3</sup>*

# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

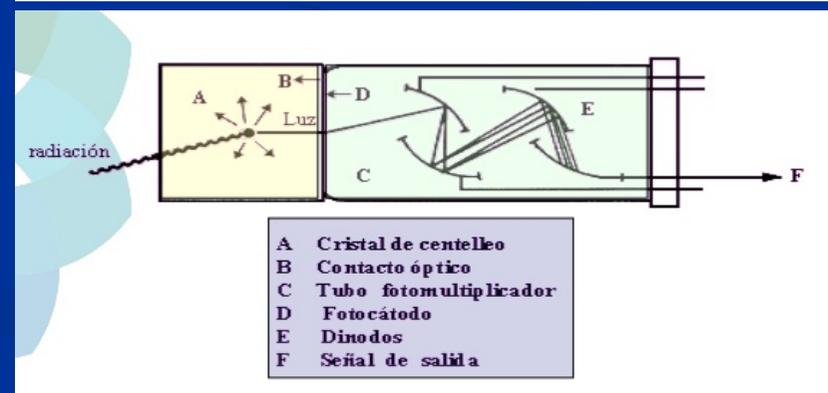
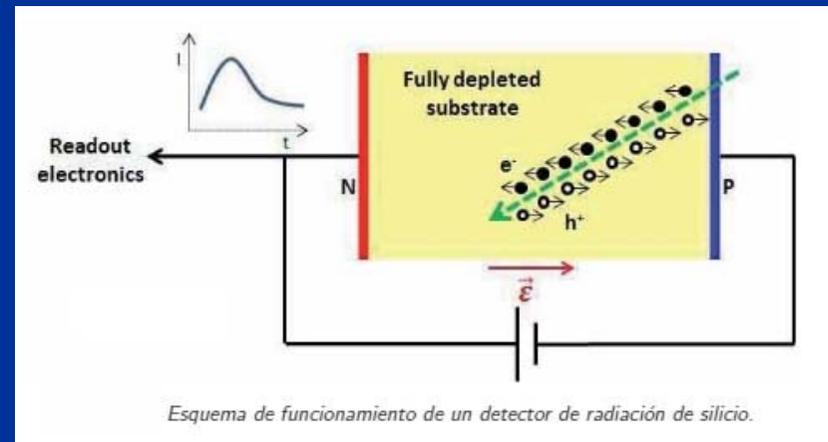
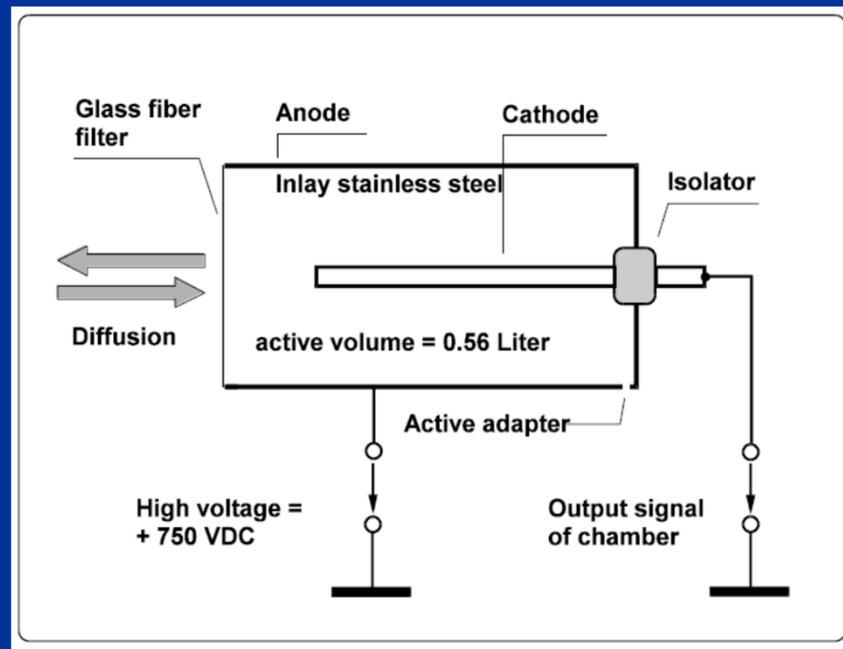
## E) MONITOR EN CONTINUO (MCR)



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

## E) MONITOR EN CONTINUO (MCR)

Sistema de detección: Cámara de ionización, células de centelleo o detectores de silicio



# 2.1. MEDIDA EN AIRE

---

## E) MONITOR EN CONTINUO (MCR)

### VENTAJAS

- Medida fácil y muy rápida
- Resultados  $T^a$ , Hr, P...etc.
- Variaciones temporales
- Válido para medidas en agua y suelo.

### INCONVENIENTES

- Coste muy elevado
  - Calibración externa
-

# 2. MÉTODOS DE MEDIDA

---

## 2. MÉTODOS DE MEDIDA

2.1. MEDIDA EN AIRE

2.2. MEDIDA EN SUELO

2.3. MEDIDA EN AGUA

---

## 2.2. MEDIDA EN SUELO

---

Principales tipos de medida:

- Exhalación
- En profundidad

# 2.2. MEDIDA EN SUELO

---

## MEDIDA DE LA EXHALACIÓN

COLECTORES CARBON ACTIVO



ACUMULACION DE RADÓN

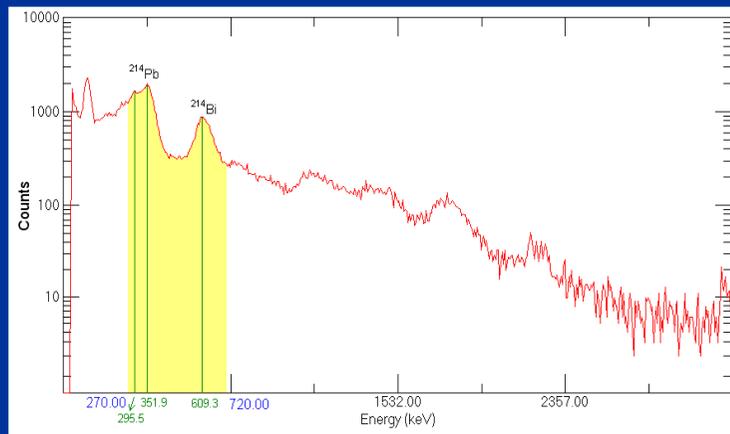
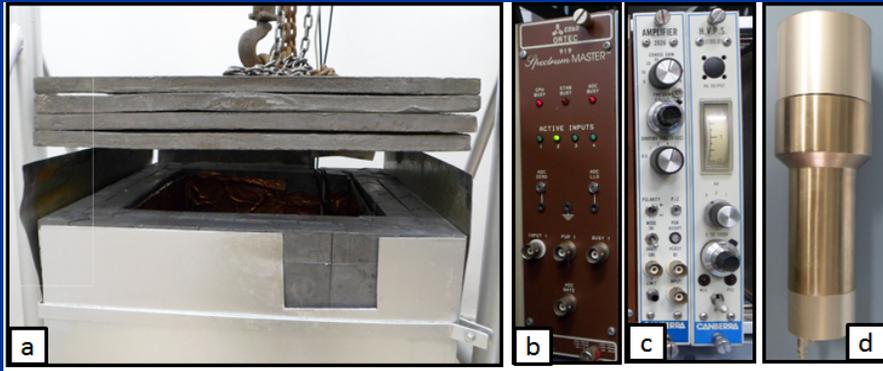


# 2.2. MEDIDA EN SUELO

## MEDIDA DE LA EXHALACIÓN

COLECTORES CARBON ACTIVO

ACUMULACION DE RADÓN



$\text{Bq}/\text{m}^2\text{h}$  ó  $\text{Bq}/\text{m}^2\text{s}$

## 2.2. MEDIDA EN SUELO

---

Principales tipos de medida:

- Exhalación
- En profundidad

# 2.2. MEDIDA EN SUELO

---

## MEDIDA EN PROFUNDIDAD



# 2.2. MEDIDA EN SUELO

---

## MEDIDA EN PROFUNDIDAD

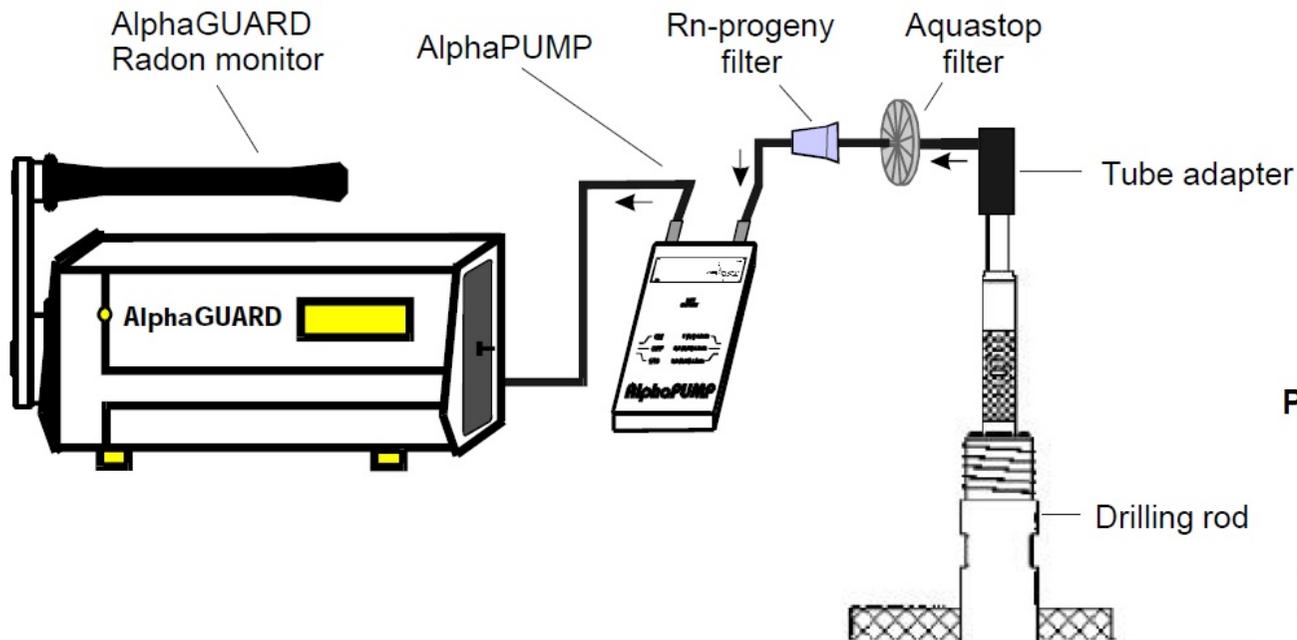


# 2.2. MEDIDA EN SUELO

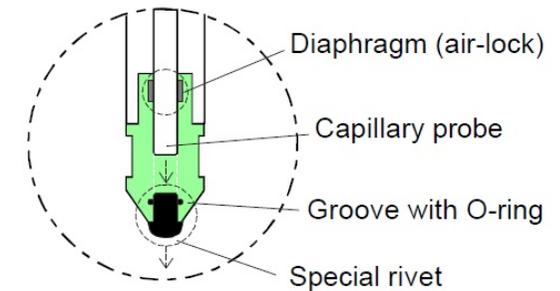
## MEDIDA EN PROFUNDIDAD

### Soil Gas Measurements with AlphaGUARD

- Tubing -

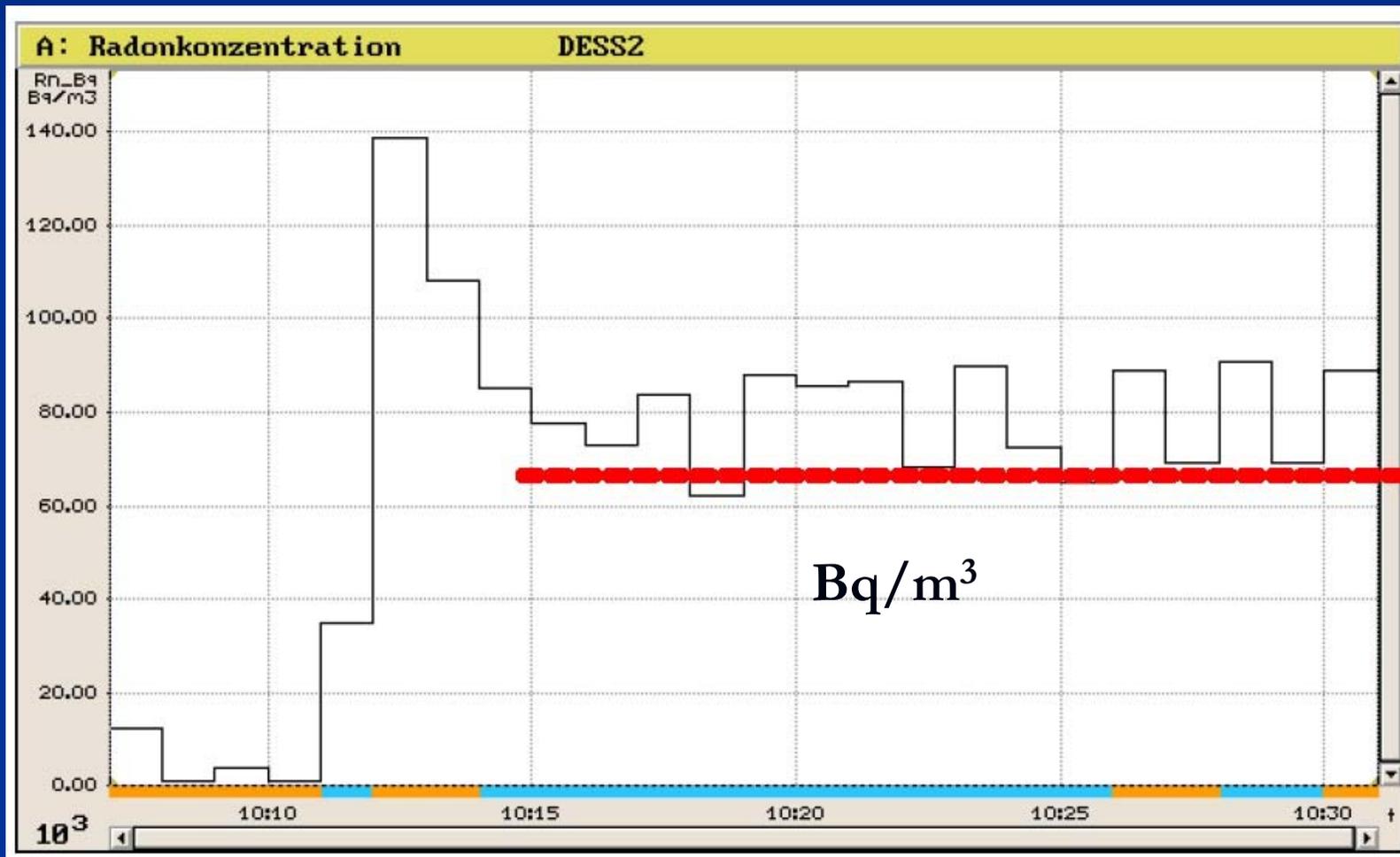


### Probe tip (enlarged)



# 2.2. MEDIDA EN SUELO

## MEDIDA EN PROFUNDIDAD



# 2. MÉTODOS DE MEDIDA

---

## 2. MÉTODOS DE MEDIDA

2.1. MEDIDA EN AIRE

2.2. MEDIDA EN SUELO

2.3. MEDIDA EN AGUA

---

## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

Métodos de medida de radón en agua:

### TÉCNICAS MEDIANTE DESEMANACIÓN:

Consiste en extraer el radón disuelto en el agua, pasándolo a radón en aire. Se hace burbujear la muestra de agua.

### TÉCNICAS DE RECUENTO DIRECTO:

Consisten en medir directamente la muestra de agua.

---

## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

Sistemas de detección de radón en agua:

TÉCNICAS MEDIANTE DESEMANACIÓN:

1. Monitor en continuo

TÉCNICAS DE RECUENTO DIRECTO:

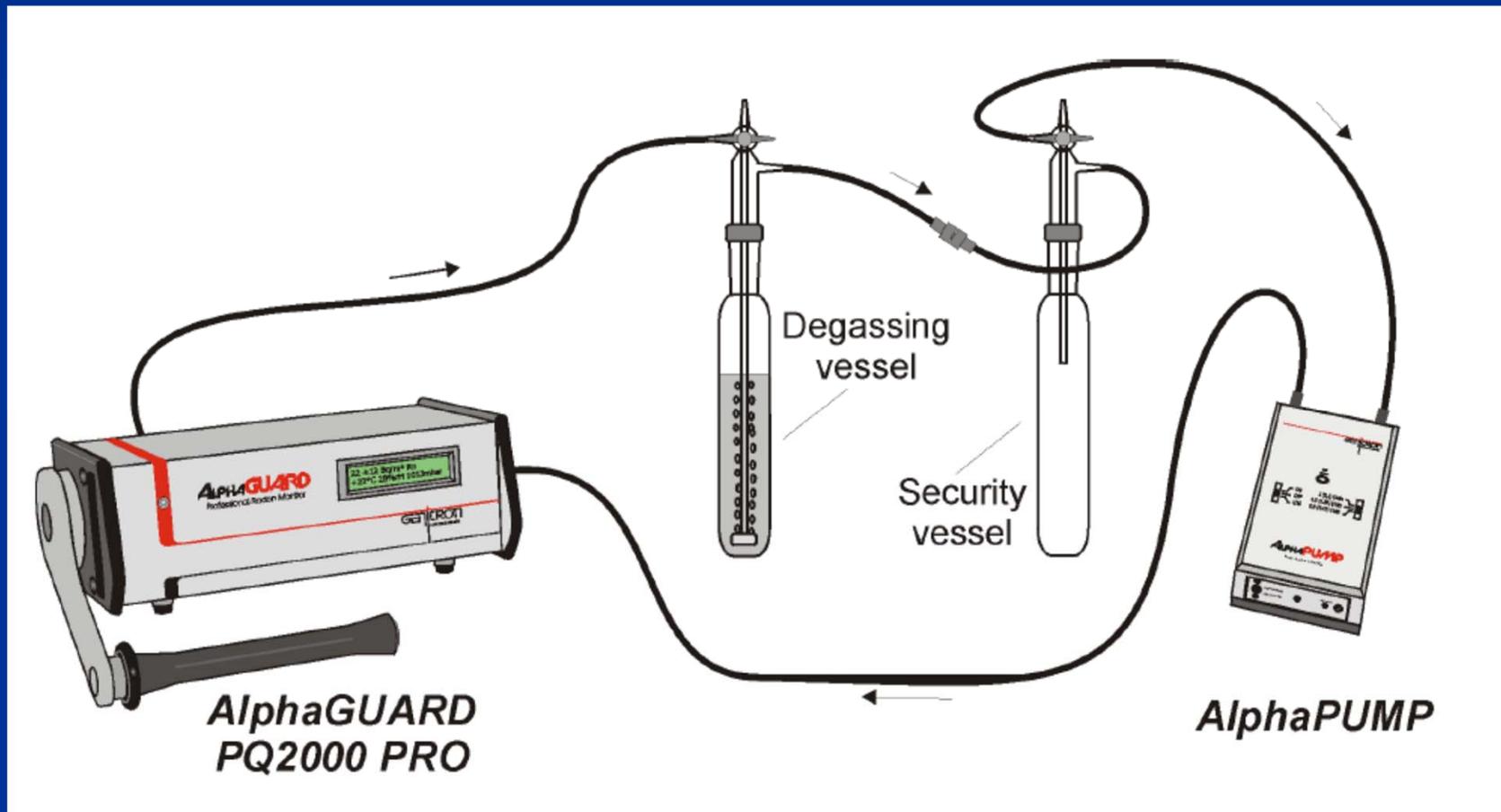
2. Espectrometría gamma

3. Centello líquido

---

## 2.3. MEDIDA EN AGUA

### 1. Monitor en continuo



## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

### 1. Monitor en continuo



## 2.3. MEDIDA EN AGUA

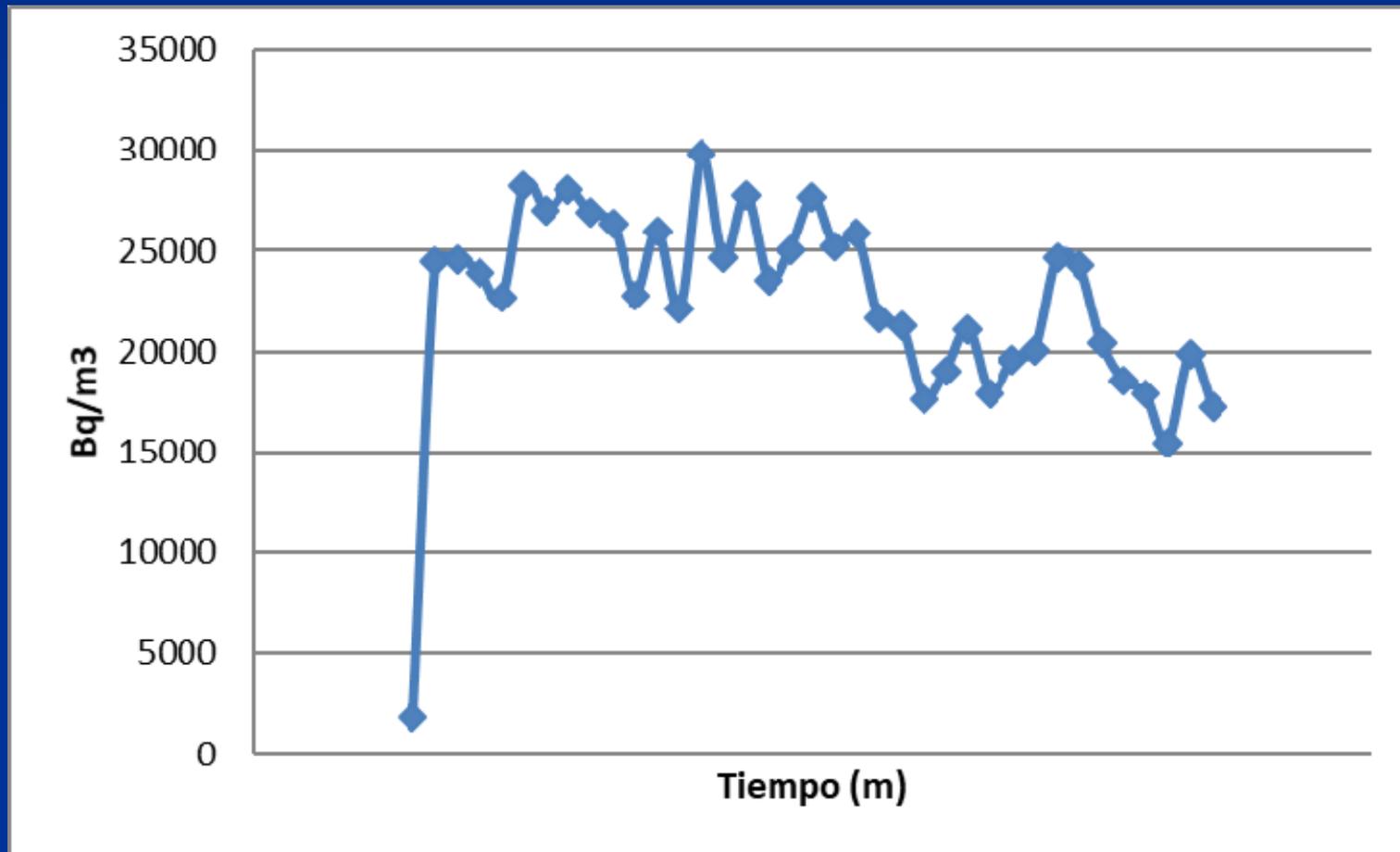
---

### 1. Monitor en continuo



## 2.3. MEDIDA EN AGUA

### 1. Monitor en continuo



## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

### 1. Monitor en continuo

#### ❖ Ventajas:

Portátil. Medida “in situ”  
Medida rápida  
No contamina

#### ❖ Inconvenientes:

Tiempo de limpieza  
No es programable

---

## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

Sistemas de detección de radón en agua:

DESEMANACIÓN:

1. Monitor en continuo

RECuento DIRECTO:

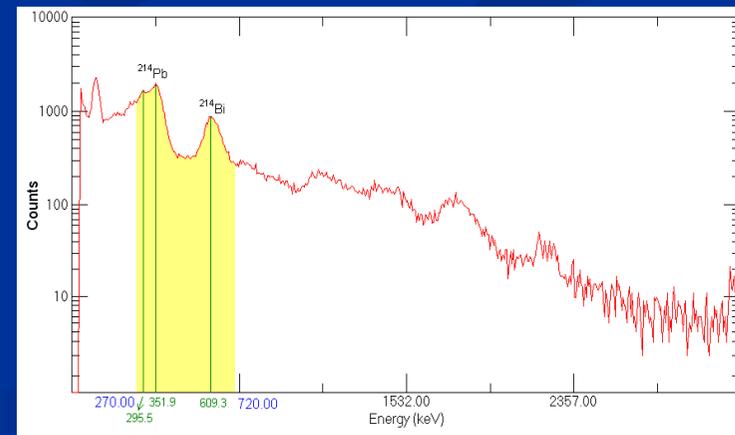
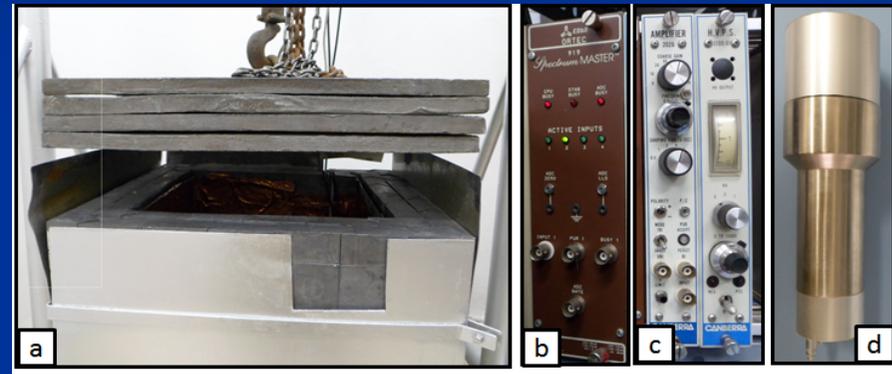
2. Espectrometría gamma

3. Centello líquido

---

# 2.3. MEDIDA EN AGUA

## 2. Espectrometría gamma



## 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

Sistemas de detección de radón en agua:

DESEMANACIÓN:

1. Monitor en continuo

RECuento DIRECTO:

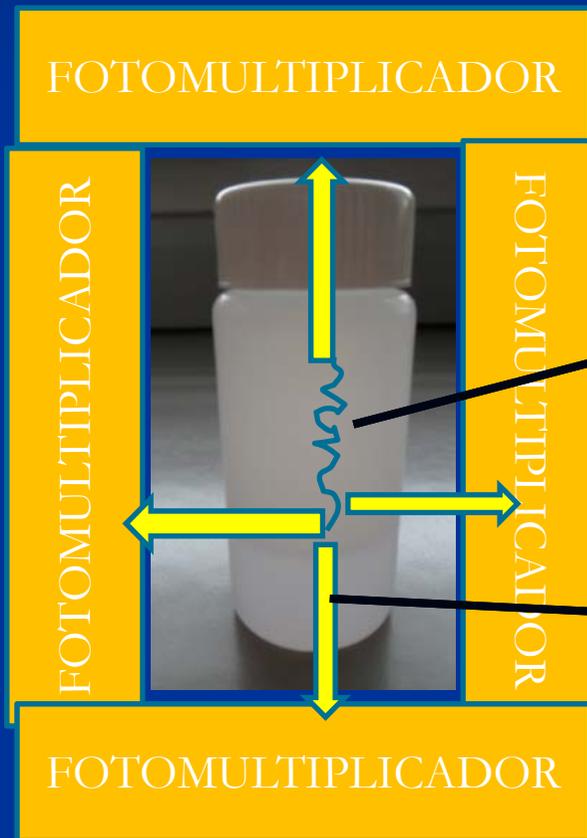
2. Espectrometría gamma

3. Centello líquido

---

## 2.3. MEDIDA EN AGUA

### 3. Centelleo líquido



Mezclar cuidadosamente la muestra de agua con la mezcla de centelleo (solventes orgánicos como el tolueno, xileno, etc.)

Radiación

Luz



Método más sensible para medir radón en agua y el más utilizado

# 2.3. MEDIDA EN AGUA

## 5. Centelleo líquido



# 2.3. MEDIDA EN AGUA

---

## 3. Centelleo líquido

### ❖ Ventajas

- Rapidez y sencillez
- Programable
- Poco volumen de muestra

### ❖ Inconvenientes

- Contaminación
- No es portátil

# TIPOS DE MEDICIÓN DE GAS RADÓN EN AIRE, SUELO Y AGUA

---

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  2. MÉTODOS DE MEDIDA
    1. MEDIDA EN AIRE
    2. MEDIDA EN SUELO
    3. MEDIDA EN AGUA
  3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD
-

# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

---

En general sobre los métodos de medida:

- Deben seguir un protocolo normalizado (normas):  
Medidas precisas y reproducibles
  - La directiva Europea “Eu2013/59/EURATOM” y el CTE.  
Medidas solo por laboratorios acreditados: “NORMA  
UNE-EN ISO/IEC 17025:2005”
  - Los métodos de medida deben garantizar la fiabilidad de las medidas de radón (Controles de calidad, ejercicios de inter-comparación)
-

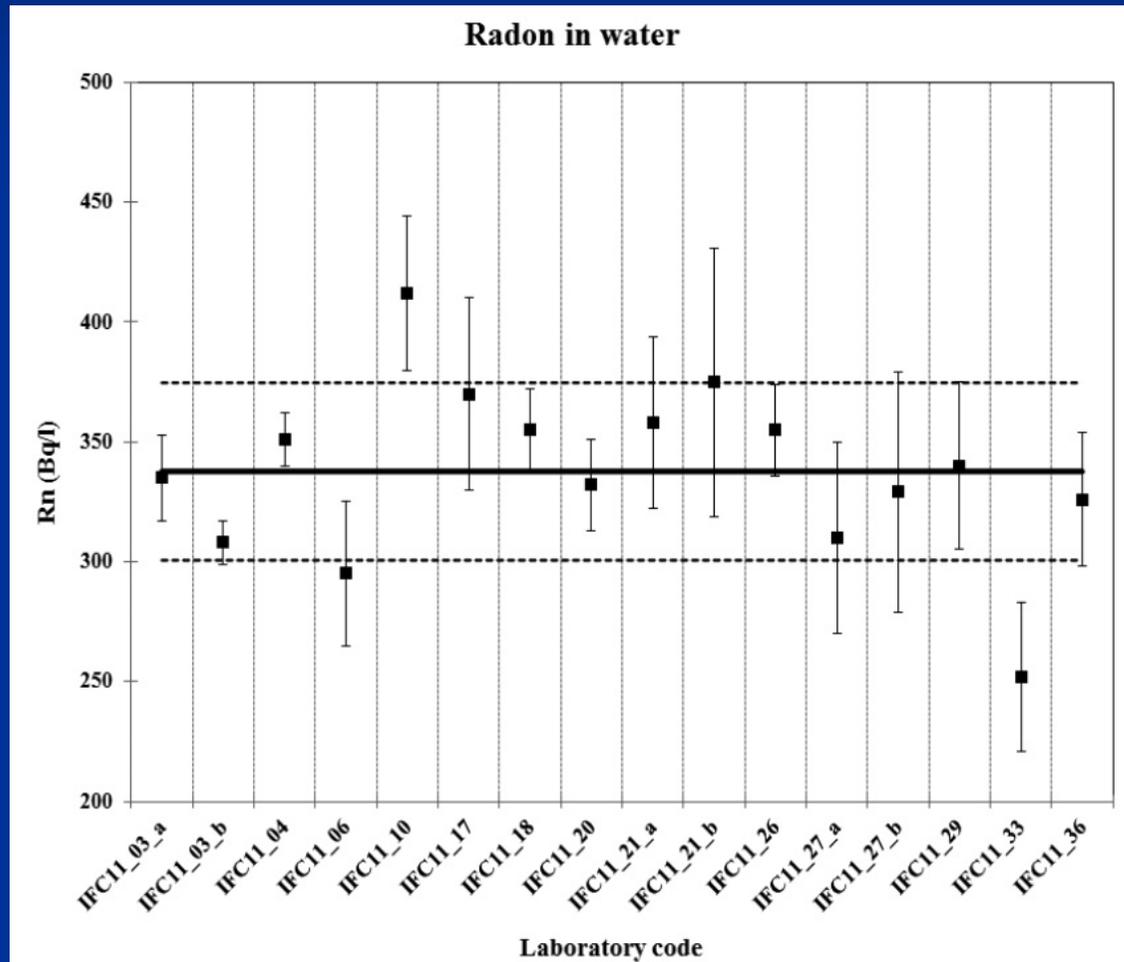
# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

## Ejercicio de inter comparación – Radón en Agua



“International Intercomparison exercise on natural radiation measurements under field conditions”

Universidad de Cantabria.  
Mayo de 2011 en Saelices el Chico  
(Salamanca)



# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

---

Ejercicio de inter comparación – Radón en Aire



Figure 13: Detail of detectors installed in one of the rooms located in the ground floor for radon indoors passive detectors exercise

---

# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

---

Ejercicio de inter comparación – Radón en Aire



# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

---

Ejercicio de inter comparación – Radón en Aire



# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

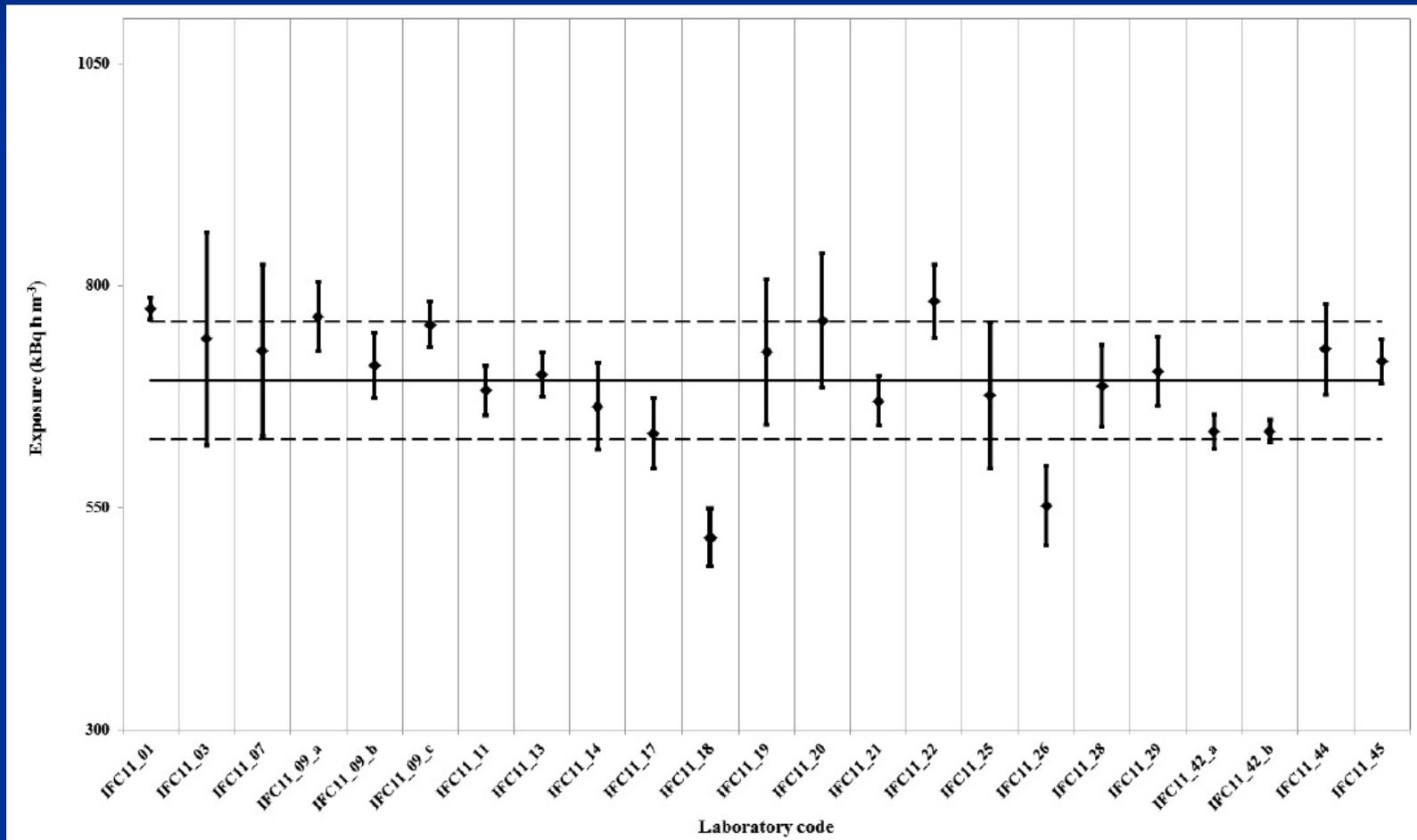
---

Ejercicio de inter comparación – Radón en Aire



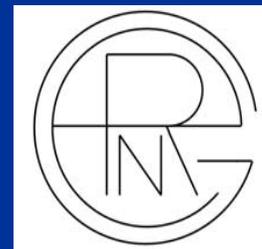
# 3. SISTEMA GARANTÍA DE CALIDAD

Ejercicio de inter comparación – Radón en Aire - Pasivos





**MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN**



Grupo Experimental  
de Radiaciones Nucleares

**Dr. D. Julián de la Torre Pérez (jdltp@unex.es)**

**Técnico de Apoyo a la investigación.**

**Área de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Extremadura.**