

Intercomparación de medidas de niveles de radiación ambiental 2025

Junio 2025

INTERCOMPARACIÓN DE MEDIDAS DE NIVELES DE RADIACIÓN AMBIENTAL

Irradiación en el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes

- 2025 -

INFORME FINAL

Elaborado por: N. A. Cornejo Díaz

Revisado por: C. García Mulas

Aprobado por: M. Embid Segura

Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes

CIEMAT

Junio de 2025

Esta página se ha dejado en blanco de forma intencional

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS
2. CARACTERÍSTICAS DEL HAZ DE RADIACIÓN Y DE LA MAGNITUD RADIOLÓGICA DE INTERÉS USADA EN LA COMPARACIÓN
3. DESARROLLO OPERACIONAL DE LA CAMPAÑA
4. ELECCIÓN DE LOS VALORES DEL EQUIVALENTE DE DOSIS AMBIENTAL
5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS POR PARTE DE LOS LABORATORIOS PARTICIPANTES
6. PROCEDIMIENTO EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS
 - 6.1. Criterios de evaluación de la norma ISO 14146 (2024)
 - 6.2. Criterios de evaluación de la norma ANSI/HPS 13.11 (2022)
7. RESULTADOS
 - 7.1. Presentación conforme a la norma ISO 14146
 - 7.2. Presentación conforme a la norma ANSI/HPS 13.11
8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS
9. COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS DE LAS INTERCOMPARACIONES DE LOS AÑOS 2001, 2007, 2013 Y 2019
10. CONCLUSIONES
11. REFERENCIAS
12. ANEXO: CERTIFICADO DE ASIGNACIÓN DE DOSIS

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ha organizado seis ejercicios de comparación entre laboratorios de dosimetría ambiental con el fin de verificar, para cada uno de los laboratorios participantes, el grado de trazabilidad de sus conjuntos dosímetros-lector a la referencia nacional de la magnitud de interés en la energía del ^{137}Cs . Para llevar a cabo esta campaña, al igual que en las anteriores, el CSN solicitó al Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) la realización de las irradiaciones en la citada energía.

En las instrucciones para la comparación [1] se detalla la magnitud de interés, su determinación en el laboratorio, las características del laboratorio de referencia para la radiación gamma en niveles de protección del CIEMAT, las condiciones de irradiación y la incertidumbre del equivalente de dosis ambiental a asignar a los dosímetros. Este documento se entregó con antelación a los 12 laboratorios participantes en la intercomparación.

En el presente informe se recoge un resumen del desarrollo operacional del ejercicio de comparación y un análisis de los resultados obtenidos por los laboratorios participantes, a partir de los requisitos establecidos en la norma ISO 14146 [2], orientada a las evaluaciones periódicas de los servicios de dosimetría ambiental.

Los sistemas de dosimetría ambiental han de ser homologados y los servicios acreditados respecto a las normas que establecen los requisitos de diseño y desempeño pertinentes, como la norma IEC 62387 [3] o la norma ANSI/HPS 13.37 [4]. La superación del presente ejercicio de comparación por los servicios de dosimetría no es, por tanto, condición suficiente para su aprobación o acreditación.

2. CARACTERÍSTICAS DEL HAZ DE RADIACIÓN Y DE LA MAGNITUD RADIOLÓGICA DE INTERÉS USADA EN LA COMPARACIÓN

Para las irradiaciones de todos los dosímetros se utilizó el mismo haz de radiación, cuyas características fundamentales se indican en la tabla 1. A efectos prácticos este haz puede considerarse como procedente de una fuente puntual, de tal modo que actuando sobre la distancia a la fuente se puede conseguir un campo de radiación con una fluencia suficientemente homogénea sobre una sección recta suficientemente extensa y perpendicular al eje del haz. La elección del tamaño de esa sección recta donde existe una fluencia uniforme depende del número de dosímetros que se irradian simultáneamente.

TABLA 1

Características del haz de referencia utilizado en la comparación

RADIONUCLEIDO	^{137}Cs
ACTIVIDAD NOMINAL (01-01-2025)	0,560 TBq
ÁNGULO NOMINAL DE APERTURA DEL COLIMADOR	7°
ZONA ÚTIL DEL HAZ (m)	1 – 10
DIÁMETRO DEL HAZ ÚTIL (cm)	14 – 140
RANGO DE TASAS DE KERMA EN AIRE, $\dot{K}_{\text{air}}$ (Gy/s) (para el 01/01/2025)	$1,64 \cdot 10^{-7} - 1,76 \cdot 10^{-5}$
INCERTIDUMBRE TÍPICA DE $\dot{K}_{\text{air}}$	0,85 %
CONTRIBUCIÓN DE DISPERSOS (Evaluada según la norma ISO 4037-1 [5]).	< 1 %

La magnitud radiológica objeto de la intercomparación es el equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)$, cuya relación con la tasa de kerma en aire, $\dot{K}_{\text{air}}$, a través del tiempo efectivo de irradiación, t_{ef} , se obtiene como:

$$H^*(10) \text{ (Sv)} = \dot{K}_{\text{air}} \text{ (Gy/s)} \cdot h_K^*(10) \text{ (Sv/Gy)} \cdot t_{\text{ef}} \text{ (s)}$$

El coeficiente de conversión, $h_K^*(10)$, para la energía del ^{137}Cs es igual a 1,21 Sv/Gy, según la norma ISO 4037-3 [6].

Excepto en el caso de los laboratorios 4 y 6, cuyos dosímetros tienen geometría esférica y cuasi-cilíndrica, respectivamente, el haz de radiación incidió de forma perpendicular a la superficie de la cara frontal del dosímetro (lado con el código del dosímetro), es decir, con un ángulo de incidencia igual a 0°. El rango del valor nominal del equivalente de dosis ambiental a asignar a los dosímetros se estableció de acuerdo con el CSN. El número de dosímetros por laboratorio y los laboratorios participantes fueron definidos por el CSN, quien se encargó a su vez de la logística de la recogida y el envío de los dosímetros desde los laboratorios al CIEMAT y viceversa.

La magnitud $H^(10)$ se denomina “equivalente de dosis ambiental”, de conformidad con las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y de la legislación española [7, 8]. La denominación empleada anteriormente: “dosis equivalente ambiental” fue el resultado de una interpretación lingüística durante la traducción al castellano, que ya no debe usarse. Tal como establece la ICRP, el término “equivalente de dosis ...” se reserva para la denominación de las magnitudes operacionales, mientras que “dosis equivalente ...” se emplea para denominar una magnitud fundamental o limitadora de Protección Radiológica.*

3. DESARROLLO OPERACIONAL DE LA CAMPAÑA

En la campaña han participado 12 laboratorios (sistemas) de dosimetría ambiental. Para mantener la confidencialidad, el CSN asignó códigos a los laboratorios participantes, del 1 al 13, que les fueron transmitidos individualmente. El laboratorio inicialmente identificado con el número 2 se retiró de la comparación justo antes de su comienzo. El traslado de los dosímetros al LMRI y de regreso a los laboratorios participantes estuvo a cargo del CSN. Los dosímetros de los laboratorios: 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12 y 13 se recibieron en el LMRI el día 8 de abril. Los dosímetros de los laboratorios 6 y 9 se recibieron el 9 de abril, mientras que los correspondientes al laboratorio 11 se recibieron el 11 de abril.

Todos los laboratorios aportaron 25 dosímetros por cada sistema dosimétrico: 10 para ser irradiados, 10 para estimar la dosis de fondo y 5 de reserva por si debía repetirse alguna irradiación. Los códigos de cada uno de estos dosímetros fueron proporcionados al LMRI por el CSN junto con los sobres de los dosímetros. Las irradiaciones se llevaron a cabo en dos tandas de cuatro y una de dos dosímetros. No fue necesario irradiar los dosímetros de reserva de ninguno de los participantes.

Las irradiaciones de los dosímetros correspondientes a los laboratorios: 1, 3, 4, 5, 7 y 8 tuvieron lugar el 8 de abril. Los dosímetros de los laboratorios: 6, 9, 10, 12 y 13 fueron irradiados el día 9 de abril y el 11 de abril de 2025 los correspondientes al laboratorio 11. El mismo día 11 de abril, al concluir todas las irradiaciones, el LMRI envió al CSN el listado de los valores de $H^*(10)$ asignados a los dosímetros de los diferentes laboratorios. El certificado de asignación de dosis se incluye en el Anexo.

Las irradiaciones se realizaron en aire, para lo cual, los dosímetros se colocaron en un bastidor de hilos de nylon entrecruzados, suficientemente tensos y sujetos en un marco de plexiglás, quedando centrados en el campo de radiación. Como punto de referencia de los dosímetros se tomó el definido por su centro geométrico. El punto de referencia de los dosímetros quedó ubicado en un plano perpendicular al eje del haz donde la fluencia de fotones era suficientemente uniforme y el valor de $\dot{K}_{\text{air}}$ bien conocido. La distancia de ese plano a la cara frontal de la fuente fue de 2,742 m, disponiendo de un diámetro del haz útil igual a 38,4 cm.

El 22 de mayo de 2025, el CSN envió al CIEMAT los resultados de los laboratorios participantes, según se detalla en el apartado 5.

4. ELECCIÓN DE LOS VALORES DEL EQUIVALENTE DE DOSIS AMBIENTAL

Todos los dosímetros de los laboratorios participantes se irradiaron con una misma tasa de equivalente de dosis ambiental, es decir, a la misma distancia de la fuente. El tiempo de irradiación fue distinto para cada laboratorio, en función del equivalente de dosis ambiental a asignar.

El valor del equivalente de dosis ambiental para cada sistema dosimétrico se eligió el mismo día de la irradiación y fue un valor comprendido entre los límites: $H^*(10)_{\text{max.}} = 0,65 \text{ mSv}$ y $H^*(10)_{\text{min.}} = 0,35 \text{ mSv}$,

fijados con anterioridad y comunes a todos los laboratorios, es decir: $H^*(10) = 0,5 \text{ mSv} \pm 30 \%$. El procedimiento que se siguió se basa en la generación de números aleatorios mediante un algoritmo de tipo logarítmico, similar al que se indica en la norma ANSI 13.11 [9]:

$$\log H^*(10) = \log H^*(10)_{\min.} + \rho [\log H^*(10)_{\max.} - \log H^*(10)_{\min.}],$$

donde ρ es un número aleatorio, uniformemente distribuido en el intervalo entre 0 y 1.

Tal como se detalla en las instrucciones para la comparación [1], la incertidumbre relativa de los valores convencionalmente verdaderos del equivalente de dosis ambiental es igual a 4,9 %, para una probabilidad de cobertura del 95 % ($k = 2$).

5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS POR PARTE DE LOS LABORATORIOS PARTICIPANTES

Todos los laboratorios presentaron los resultados de forma muy completa, en los que se incluyen además de las fechas de borrado, envío de los dosímetros al CSN y lectura de los dosímetros en el laboratorio, los siguientes datos:

- ❑ Identificación de los dosímetros de tránsito, con su fondo acumulado, el valor medio correspondiente y su desviación típica.
- ❑ Identificación de los dosímetros de reserva y su fondo acumulado.
- ❑ Identificación de los dosímetros irradiados, con la lectura bruta de cada uno y la correspondiente lectura neta, obtenida al restar de la lectura bruta el valor medio del fondo acumulado durante el periodo de tránsito. También se incluyó el valor medio de las lecturas netas y su desviación típica.

6. PROCEDIMIENTO EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

El hecho de que un dosímetro ambiental, calibrado en unidades de equivalente de dosis ambiental, sirva para poder estimar de manera razonablemente conservadora las magnitudes limitadoras de ICRP, no lo hace muy diferente, en su objetivo final, a un dosímetro personal. De ahí que, en las comparaciones anteriores, a falta de normas específicas, haya resultado perfectamente plausible emplear procedimientos de evaluación análogos a los empleados para la dosimetría personal.

Desde la edición del 2018 de la norma ISO 14146 se ha dado cuenta de la necesidad de incorporar criterios específicos para la evaluación periódica del desempeño de los servicios de dosimetría ambiental y se han incluido apartados dedicados a la vigilancia radiológica ambiental con dosímetros pasivos o activos. Por otra parte, el título de la norma dejó de hacer referencia exclusiva a los sistemas de dosimetría personal [2].

El procedimiento seguido en la presente comparación, tanto en los aspectos organizativos como en la evaluación de los resultados, está en correspondencia con la norma ISO 14146 [2]. Adicionalmente se han calculado los parámetros de evaluación establecidos en la norma ANSI/HPS 13.11 [9], sólo con el fin de comparar los resultados de los laboratorios con los obtenidos en las comparaciones anteriores.

6.1. Criterios de evaluación de la norma ISO 14146 (2024)

Para la energía del ^{137}Cs y para la radiación ambiental, la norma establece como criterio más estricto, que para cada dosímetro “ i ” del laboratorio, irradiado a un valor de referencia $H^*(10)_{\text{REF}}$, el cociente R_i del valor neto del equivalente de dosis ambiental $H^*(10)_i$ determinado con el dosímetro y el valor de referencia, $H^*(10)_{\text{REF}}$, debe cumplir con el siguiente criterio:

$$R_i = \frac{H^*(10)_i}{H^*(10)_{\text{REF}}} \quad (1)$$

$$0,80 \leq R_i \leq 1,25 \quad (2)$$

Se acepta que como máximo el 10 % de las estimaciones de dosis de cada sistema de dosimetría se encuentre fuera de los límites indicados, es decir, en el caso de 10 dosímetros irradiados, para que el resultado se considere satisfactorio sólo uno de los valores de R_i podrá situarse fuera de los límites. La norma precisa que la consideración anterior es consistente con una probabilidad de cobertura del 95 %, pues si bien la probabilidad del 95 % correspondería a una tasa de fallo de 1/20, la tasa tolerada de 1/10 permite un margen adicional para incluir la incertidumbre inherente al valor convencionalmente verdadero.

Según la norma, el valor del equivalente de dosis ambiental de referencia para la evaluación periódica de los sistemas de dosimetría ambiental deberá ser superior a 35 μSv y no superar los 10 Sv.

6.2. Criterios de evaluación de la norma ANSI/HPS 13.11 (2022)

En esta norma se define el sesgo relativo B , como el valor promedio de las desviaciones relativas P_i de las lecturas netas de los dosímetros, siendo P_i y B definidos según:

$$P_i = \frac{H^*(10)_i - H^*(10)_{\text{REF}}}{H^*(10)_{\text{REF}}}; \quad B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

donde: $H^*(10)_{\text{REF}}$ y $H^*(10)_i$ tienen el mismo significado que en la ecuación (1) y n es el número total de dosímetros evaluados para cada laboratorio (en nuestro caso $n = 10$). El parámetro B es, en consecuencia, un estimador del defecto de “ajuste” o desviación relativa promedio del laboratorio respecto al valor de referencia.

Otro parámetro de importancia es la repetibilidad de las medidas efectuadas sobre el grupo de dosímetros irradiados al mismo valor del equivalente de dosis ambiental de referencia. Como estimador de la repetibilidad o grado de variación de los resultados se considera la desviación típica, S , del conjunto P_i ($i = 1, \dots, 10$) de desviaciones relativas de las medidas individuales:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B - P_i)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

La norma ANSI/HPS 13.11 (2022) [9] no hace distinción sobre el origen o causa de la incertidumbre y define un estimador de la desviación global del laboratorio, denotado como Q , que se obtiene mediante la combinación cuadrática de sesgo relativo, B , y la desviación típica, S , según:

$$B^2 + S^2 = Q^2 \quad (5)$$

Al parámetro Q se le aplica un límite de tolerancia o de aceptación, L , de tal modo que los resultados de un laboratorio cumplirán con la norma siempre que $Q \leq L$. Para los fotones, en el rango de las dosis asociadas a condiciones normales de exposición, la norma establece que $L = 0,3$.

7. RESULTADOS

En las siguientes tablas se presentan los resultados de cada laboratorio. En ellas se indica:

- La fecha de borrado de los dosímetros y su envío al CSN.
- La fecha de irradiación de los dosímetros en el LMRI del CIEMAT.
- La fecha de lectura de los dosímetros en el laboratorio.
- Los días transcurridos desde la fecha de borrado de los dosímetros hasta su lectura.
- El equivalente de dosis ambiental acumulado en los dosímetros de tránsito, por día.
- El porcentaje de corrección debida al equivalente de dosis ambiental acumulado en los dosímetros de tránsito.
- El valor de referencia del equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)_{\text{REF}}$, asignado en el LMRI del CIEMAT.
- La identificación de los dosímetros irradiados.
- La lectura neta de los dosímetros irradiados, $H^*(10)_i$.
- Las respuestas relativas, R_i , calculadas según la fórmula (1).
- Las desviaciones relativas de las lecturas netas, P_i , según la fórmula (3).
- El valor medio de las lecturas netas obtenidas por el laboratorio, $\bar{H}^*(10)$.
- La desviación típica relativa de las lecturas netas, $s/\bar{H}^*(10)$, considerando la desviación típica del valor medio de las lecturas del fondo.
- El valor medio de R_i , es decir, la respuesta promedio de los 10 dosímetros, denotada como $\bar{R}$.
- El valor máximo de $R_i = \frac{H^*(10)_i}{H^*(10)_{\text{REF}}}$ correspondiente a los 10 dosímetros, denotado como: $(R_i)_{\text{max}}$.
- El valor mínimo de $R_i = \frac{H^*(10)_i}{H^*(10)_{\text{REF}}}$ correspondiente a los 10 dosímetros, denotado como: $(R_i)_{\text{min}}$.
- El límite superior de tolerancia para la respuesta relativa, según la ecuación (2).
- El límite inferior de tolerancia para la respuesta relativa, según la ecuación (2).
- Si se cumple o no con los límites de tolerancia de norma ISO 14146 (2024). Entre paréntesis se indica el número de valores de R_i que están fuera de los límites especificados.
- Los parámetros: B , S y Q , calculados de acuerdo con las expresiones (3), (4) y (5), respectivamente.
- Si el sistema cumple o no con los requisitos de la norma ANSI 13.11 (2022).

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 1

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	08/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	11/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	4
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	9,00 ⁽¹⁾
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	6,81 ⁽¹⁾

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,560
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
1201	0,504	0,90	-0,10	0,493	5,1 %
1214	0,533	0,95	-0,05		
1247	0,525	0,94	-0,06		
1504	0,514	0,92	-0,08		
1513	0,483	0,86	-0,14		
1520	0,473	0,84	-0,16		
1526	0,456	0,81	-0,19		
1533	0,478	0,85	-0,15		
1535	0,493	0,88	-0,12		
1548	0,471	0,84	-0,16		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,88	0,95	0,81	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,12	0,045	0,128	0,300	SI

¹ La dosis mínima detectable en el laboratorio es $\leq 36 \mu\text{Sv}$. El laboratorio asignó a los dosímetros de tránsito el valor de $36 \mu\text{Sv}$ para calcular la lectura neta.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 3
MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	04/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	11/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	7
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	3,66
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	4,18

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,570
---	--------------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
T-1	0,582	1,02	0,02	0,587	4,0 %
T-2	0,580	1,02	0,02		
T-3	0,575	1,01	0,01		
T-4	0,595	1,04	0,04		
T-5	0,612	1,07	0,07		
T-6	0,590	1,04	0,04		
T-7	0,625	1,10	0,10		
T-8	0,584	1,03	0,03		
T-9	0,537	0,94	-0,06		
T-10	0,589	1,03	0,03		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
1,03	1,10	0,94	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
0,030	0,041	0,051	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 4

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	2,80
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	1,81

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,460
---	--------------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
4-01	0,458	0,99	-0,01	0,457	2,0 %
4-02	0,452	0,98	-0,02		
4-03	0,465	1,01	0,01		
4-04	0,438	0,95	-0,05		
4-05	0,464	1,01	0,01		
4-06	0,456	0,99	-0,01		
4-07	0,448	0,97	-0,03		
4-08	0,467	1,01	0,01		
4-09	0,460	1,00	0,00		
4-10	0,463	1,01	0,01		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,99	1,01	0,95	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,007	0,020	0,021	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 5

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	2,90
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	2,34

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,390
---	--------------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
1006	0,362	0,93	-0,07	0,364	1,1 %
1012	0,361	0,92	-0,08		
1062	0,365	0,94	-0,06		
1070	0,361	0,93	-0,07		
1089	0,367	0,94	-0,06		
1319	0,366	0,94	-0,06		
1323	0,361	0,93	-0,07		
1663	0,362	0,93	-0,07		
1666	0,360	0,92	-0,08		
1784	0,374	0,96	-0,04		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,93	0,96	0,92	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,067	0,011	0,068	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 6

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	08/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	09/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	4,90
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	2,39

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,600
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
6/16	0,654	1,09	0,09	0,600	8,1 %
6/17	0,571	0,95	-0,05		
6/18	0,624	1,04	0,04		
6/19	0,579	0,96	-0,04		
6/20	0,638	1,06	0,06		
6/21	0,614	1,02	0,02		
6/22	0,550	0,92	-0,08		
6/23	0,533	0,89	-0,11		
6/24	0,679	1,13	0,13		
6/25	0,561	0,93	-0,07		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
1,00	1,13	0,89	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
0,000	0,081	0,081	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 7

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	08/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	11/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	4
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	1,18
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	1,30

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,360
---	--------------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
7-D1	0,349	0,97	-0,03	0,356	0,9 %
7-D2	0,353	0,98	-0,02		
7-D3	0,356	0,99	-0,01		
7-D4	0,357	0,99	-0,01		
7-D5	0,356	0,99	-0,01		
7-D6	0,356	0,99	-0,01		
7-D7	0,362	1,00	0,00		
7-D8	0,356	0,99	-0,01		
7-D9	0,355	0,99	-0,01		
7-D10	0,357	0,99	-0,01		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,99	1,00	0,97	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,012	0,009	0,015	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 8

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	04/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	08/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	6
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	1,77
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	1,57

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,640
---	--------------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
8/D1	0,651	1,02	0,02	0,663	2,6 %
8/D2	0,655	1,02	0,02		
8/D3	0,641	1,00	0,00		
8/D4	0,661	1,03	0,03		
8/D5	0,663	1,04	0,04		
8/D6	0,662	1,03	0,03		
8/D7	0,650	1,02	0,02		
8/D8	0,693	1,08	0,08		
8/D9	0,660	1,03	0,03		
8/D10	0,695	1,09	0,09		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
1,04	1,09	1,00	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
0,036	0,027	0,045	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 9

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07-08/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	08/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	09/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	11/04/2019
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	19,1
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	14,6

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,370
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
L9-1	0,346	0,93	-0,07	0,336	6,0 %
L9-2	0,335	0,91	-0,09		
L9-3	0,306	0,83	-0,17		
L9-4	0,299	0,81	-0,19		
L9-5	0,323	0,87	-0,13		
L9-6	0,346	0,93	-0,07		
L9-7	0,339	0,92	-0,08		
L9-8	0,361	0,98	-0,02		
L9-9	0,355	0,96	-0,04		
L9-10	0,345	0,93	-0,07		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,91	0,98	0,81	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,093	0,054	0,108	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 10

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	09/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	2,67
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	1,51

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,540
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
0000367	0,518	0,96	-0,04	0,522	5,6 %
0000368	0,541	1,00	0,00		
0000381	0,531	0,98	-0,02		
0000382	0,540	1,00	0,00		
0000383	0,560	1,04	0,04		
0000384	0,548	1,01	0,01		
0000385	0,529	0,98	-0,02		
0000393	0,485	0,90	-0,10		
0000397	0,494	0,91	-0,09		
0000399	0,470	0,87	-0,13		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,97	1,04	0,87	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,034	0,055	0,064	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 11

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	11/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	15/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	8
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	5,00
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	7,02

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,520
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
1	0,590	1,13	0,13	0,570	5,1 %
2	0,610	1,17	0,17		
3	0,570	1,10	0,10		
4	0,510	0,98	-0,02		
5	0,540	1,04	0,04		
6	0,570	1,10	0,10		
7	0,600	1,15	0,15		
8	0,560	1,08	0,08		
9	0,580	1,12	0,12		
10	0,570	1,10	0,10		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
1,10	1,17	0,98	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
0,096	0,056	0,111	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 12

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	07/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	09/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	10/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	3
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv/día}$)	3,30
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	2,05

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,500
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
1011	0,476	0,95	-0,05	0,473	0,6 %
1026	0,473	0,95	-0,05		
1027	0,476	0,95	-0,05		
1029	0,469	0,94	-0,06		
1030	0,474	0,95	-0,05		
1031	0,471	0,94	-0,06		
1407	0,477	0,95	-0,05		
1420	0,470	0,94	-0,06		
1639	0,473	0,95	-0,05		
1657	0,469	0,94	-0,06		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,95	0,95	0,94	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,054	0,006	0,055	0,300	SI

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO 13

MAGNITUD RADIOLÓGICA OBJETO DE LA MEDIDA: $H^*(10)$

Fecha de borrado de los dosímetros	04/04/2025
Fecha de envío de los dosímetros al CSN	07/04/2025
Fecha de irradiación de los dosímetros	09/04/2025
Fecha de lectura de los dosímetros en el Laboratorio	11/04/2025
Días transcurridos desde el borrado a la lectura	7
Dosis de tránsito acumulada en los dosímetros por día ($\mu\text{Sv}/\text{día}$)	2,16
Corrección debida a la dosis acumulada en los dosímetros de tránsito (%)	4,20

Equivalente de dosis ambiental de referencia (mSv)	0,350
--	-------

DOSÍMETROS IRRADIADOS					
IDENTIFICACIÓN	$H^*(10)_i$ / mSv	R_i	P_i	$\bar{H}^*(10)$ (mSv)	$s/\bar{H}^*(10)$
G-1	0,344	0,98	-0,02	0,344	2,8 %
G-2	0,364	1,04	0,04		
G-3	0,332	0,95	-0,05		
G-4	0,346	0,99	-0,01		
G-5	0,348	0,99	-0,01		
G-6	0,348	0,99	-0,01		
G-7	0,333	0,95	-0,05		
G-8	0,344	0,98	-0,02		
G-9	0,335	0,96	-0,04		
G-10	0,350	1,00	0,00		

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ISO 14146 (2024)					
PARÁMETROS EVALUADORES					
$\bar{R}$	$(R_i)_{\max}$	$(R_i)_{\min}$	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	CUMPLE
0,98	1,04	0,95	1,25	0,80	SI (0)

EVALUACIÓN SEGÚN LA NORMA ANSI/HPS 13.11 (2022)				
PARÁMETROS EVALUADORES				
B	S	Q	L	CUMPLE
-0,016	0,027	0,032	0,300	SI

7.1. Presentación conforme a la norma ISO 14146

En la figura 1 se representa el gráfico que ilustra el cumplimiento de los laboratorios de dosimetría ambiental con los niveles de tolerancia establecidos en la norma ISO 14146 [2]. Se muestra la ubicación de las respuestas relativas, R_i , de los 10 dosímetros de cada laboratorio, calculadas según la ecuación 1 del apartado 6.1. Los límites de tolerancia de la respuesta relativa se representan con líneas de puntos. Para que el resultado de un laboratorio se considere satisfactorio, al menos 9 valores de R_i deben estar dentro de los límites de tolerancia. Para poder distinguir los resultados de cada participante se han utilizado diferentes símbolos y colores, cuya indicación aparece en la leyenda de la parte inferior de la figura.

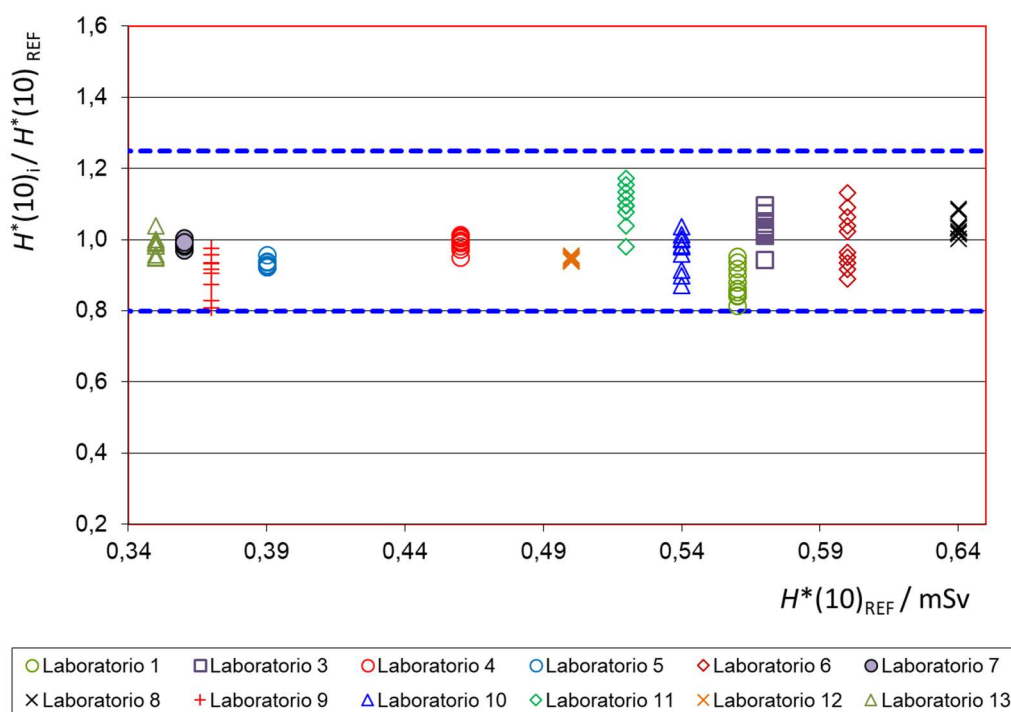


Figura 1: Resultados de los laboratorios participantes, según la norma ISO 14146 (2024)

Como complemento del gráfico anterior, la tabla 2 recoge los valores medios, máximos y mínimos ($\bar{R}$, $R_{\min}$ y $R_{\max}$, respectivamente) de las respuestas relativas del conjunto de dosímetros de cada laboratorio. Se indican además los rangos de variación de las respuestas, ΔR , los límites de tolerancia establecidos por la norma ISO 14146, así como el total de valores de R_i que está fuera de estos límites, denotado como N_f . Se han subrayado los valores de ΔR superiores al 10 %.

TABLA 2*Respuesta relativa de los sistemas de dosimetría participantes en la comparación*

Laboratorio	$\bar{R}$	$R_{\min}$	$R_{\max}$	ΔR	L_{inferior}	L_{superior}	N_f
1	0,88	0,81	0,95	<u>0,14</u>	0,80	1,25	0
3	1,03	0,94	1,10	<u>0,16</u>			0
4	0,99	0,95	1,01	0,06			0
5	0,93	0,92	0,96	0,04			0
6	1,00	0,89	1,13	<u>0,24</u>			0
7	0,99	0,97	1,00	0,03			0
8	1,04	1,00	1,09	0,09			0
9	0,91	0,81	0,98	<u>0,17</u>			0
10	0,97	0,87	1,04	<u>0,17</u>			0
11	1,10	0,98	1,17	<u>0,19</u>			0
12	0,95	0,94	0,95	0,01			0
13	0,98	0,95	1,04	0,09			0

Todas las respuestas relativas proporcionadas por los dosímetros de los laboratorios participantes están dentro de los límites de tolerancia de la norma ISO 14146.

Los resultados de todos los laboratorios participantes son satisfactorios en el marco de la norma ISO 14146.

7.2. Presentación conforme a la norma ANSI/HPS 13.11

La tabla 3 resume los resultados obtenidos por los diferentes laboratorios. En la segunda columna se recogen los valores del sesgo relativo promedio, B , según la ecuación (3), en la sección 6.2. La tercera columna contiene la desviación típica de los resultados, S , calculada según la ecuación (4) y en la cuarta columna aparecen los valores de la desviación global, Q , calculados a partir de la fórmula (5). Se han sombreado con color anaranjado los valores de los parámetros B y S que merecen mayor atención por parte de los laboratorios correspondientes.

Para una mejor visualización de los resultados, en la figura 2 se muestran los valores del sesgo relativo, B , de cada laboratorio. Las barras de error corresponden a las desviaciones típicas correspondientes (Valores de S en la tercera columna de la tabla 3).

TABLA 3

Resultados de los laboratorios participantes, según los parámetros establecidos en la norma ANSI 13.11

Laboratorio	B	S	Q
1	-0,120	0,045	0,128
3	0,030	0,041	0,051
4	-0,007	0,020	0,021
5	-0,067	0,011	0,068
6	0,000	0,081	0,081
7	-0,012	0,009	0,015
8	0,036	0,027	0,045
9	-0,093	0,054	0,108
10	-0,034	0,055	0,064
11	0,096	0,056	0,111
12	-0,054	0,006	0,055
13	-0,016	0,027	0,032

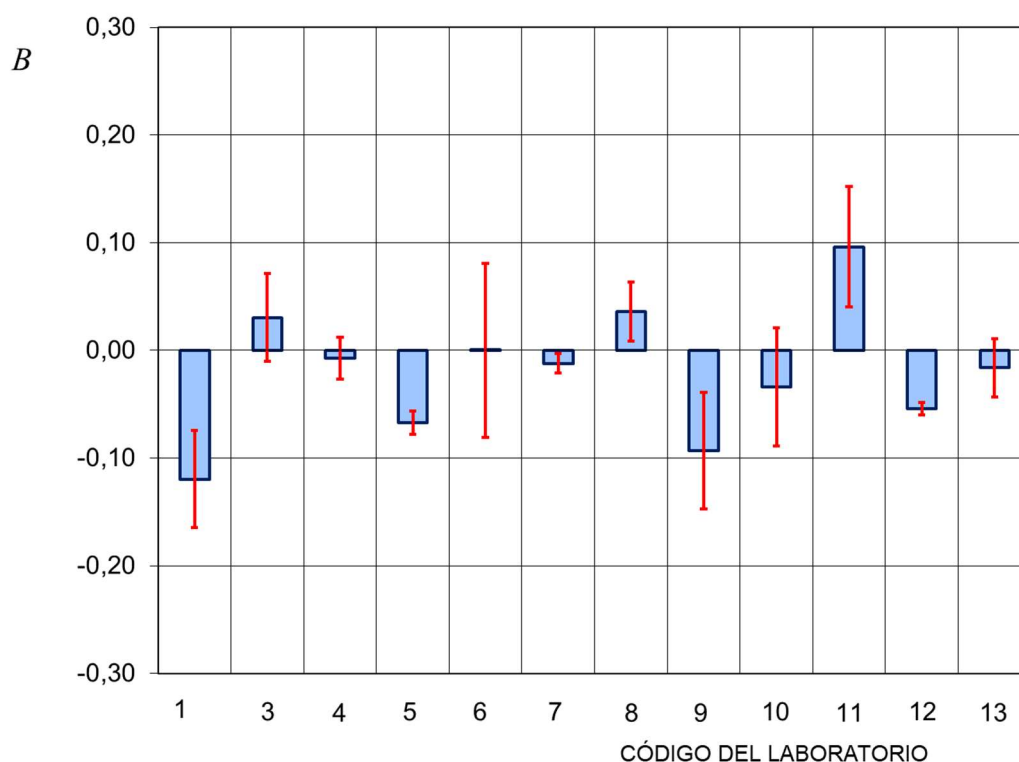


Figura 2: Resultados de los diferentes laboratorios, según los indicadores de la norma ANSI 13.11(2022)

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los valores de $H^*(10)$ impartidos a los dosímetros de los diferentes centros estuvieron comprendidos entre 350 μSv y 640 μSv . Las correcciones debidas al equivalente de dosis ambiental acumulado durante el período de tránsito representaron entre el 1,3 % y el 14,6 % de las lecturas, con una corrección promedio del 4,2 % ⁽²⁾. El tiempo entre el borrado de los dosímetros y la lectura en los laboratorios estuvo entre 3 y 8 días, con un promedio de 4,5 días. El equivalente de dosis ambiental acumulado por día de tránsito varió entre 1,2 μSv y 19,1 μSv , con un valor promedio de 3,6 μSv ⁽³⁾.

Los resultados recogidos en la figura 1 y en la tabla 2 indican que todos los laboratorios cumplen con los requisitos de la norma ISO 14146 (2024).

En relación con el **parámetro de desviación global**, Q , (cuarta columna de la tabla 3) nueve de los doce sistemas de dosimetría presentaron valores inferiores a 0,1 (el 75 %), mientras que en el 100 % de los laboratorios estos valores resultaron inferiores a 0,2.

La **repetibilidad** de las medidas (tercera columna de la tabla 3) puede considerarse buena, ya que ocho de los doce laboratorios presentaron valores de $S < 0,05$ y en todos los casos el valor de S resultó inferior a 0,1.

En cuanto al **defecto de ajuste del sistema dosimétrico** para la energía del ^{137}Cs , se puede considerar muy bueno en general, ya que para todos los casos $|B| < 0,15$ y para once de los doce laboratorios se cumple que $|B| < 0,10$ (el 92 %).

9. COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS DE LAS INTERCOMPARACIONES DE LOS AÑOS 2001, 2007, 2013 y 2019

La mayoría de los laboratorios participantes lo hicieron también en las comparaciones de los años 2001, 2007, 2013 y 2019. En la tabla 4 se comparan los valores de B y S con los obtenidos en estas comparaciones. Para facilitar la interpretación de los datos, las celdas se han sombreado siguiendo los siguientes criterios:

- Para resaltar una mejoría con relación al ejercicio anterior, las celdas correspondientes se han sombreado con color verde.
- Para resaltar un empeoramiento del parámetro con relación al ejercicio anterior, la celda correspondiente se ha sombreado con diferentes tonos de color amarillo, con progresión hacia el anaranjado en la medida en la que el empeoramiento haya sido continuado.

² La corrección de las lecturas de fondo en el laboratorio 9 fue del 14,6 %. El promedio de la corrección del fondo considerando sólo el resto de los laboratorios es del 3,2 %.

³ Sin considerar la dosis diaria aparente del laboratorio 9, cuyo valor resulta anormalmente elevado: 19,1 μSv .

TABLA 4

Comparación de los valores de B y S obtenidos en los diferentes ejercicios

Código	B					S				
	2025	2019	2013	2007	2001	2025	2019	2013	2007	2001
1	-0,120	-0,192	-0,123	0,030	-0,001	0,045	0,031	0,059	0,058	0,060
3	0,030	0,013	-0,037	0,047	-0,030	0,041	0,032	0,070	0,022	0,027
4	-0,007	-0,002	-	-	-	0,020	0,020	-	-	-
5	-0,067	-0,064	-0,069	-0,023	-0,013	0,011	0,005	0,016	0,055	0,007
7	-0,012	0,024	-0,138	-0,038	-0,088	0,009	0,012	0,016	0,024	0,013
8	0,036	-0,019	0,033	0,022	-	0,027	0,012	0,026	0,014	-
9	-0,093	0,132	-0,182	-0,237	-0,088	0,054	0,124	0,038	0,055	0,145
10	-0,034	-0,277	-0,313	-	-	0,055	0,044	0,088	-	-
11	0,096	-0,023	0,005	0,097	-	0,056	0,045	0,066	0,043	-
13	-0,016	0,026	0,017	-0,001	0,042	0,027	0,019	0,014	0,023	0,015

Nota: Los laboratorios 6 y 12 participan por primera vez.

Como puede comprobarse en la tabla 4, la **desviación relativa promedio**, *B*, ha mejorado en cinco de los diez sistemas dosimétricos analizados, con respecto al ejercicio anterior. Estos sistemas son: 1, 7, 9, 10 y 13. La mejora ha sido significativa en el laboratorio 10. El parámetro *B* ha empeorado, sin embargo, en el laboratorio 11. En los sistemas 3, 4, 5 y 8 las diferencias en el parámetro *B* no son significativas en el marco de la repetibilidad de los resultados.

La **repetibilidad** de las medidas ha mejorado en tres de los diez laboratorios y no ha empeorado de forma significativa en el resto de los laboratorios.

Las variaciones registradas en los parámetros *B* y *S* en el transcurso de las diferentes comparaciones se representan gráficamente en la figura 3, a continuación.

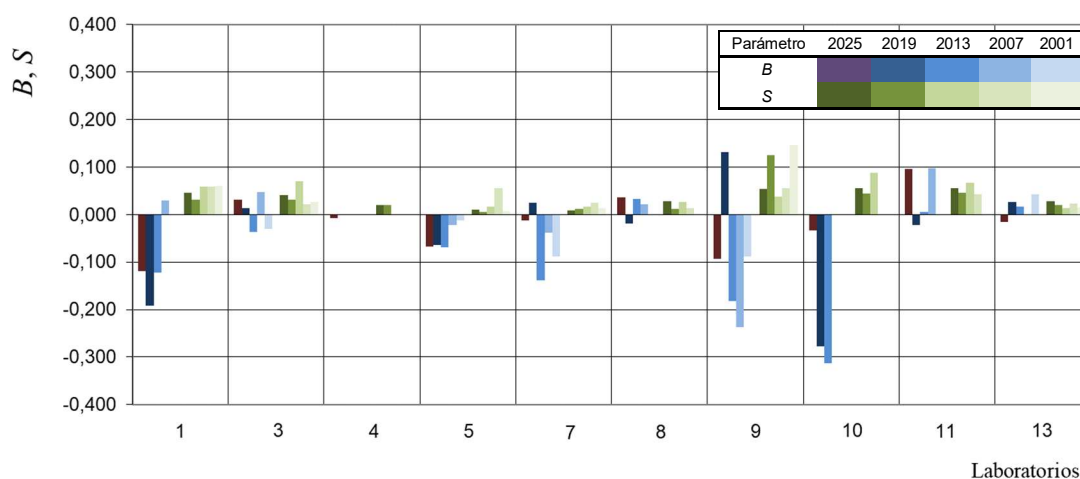


Figura 3: Comparación de los resultados de las campañas del 2019, 2013, 2007 y del 2001

La tabla 5, a continuación, resume los tiempos transcurridos entre el borrado de los dosímetros y su lectura, así como los porcentajes de las correcciones del fondo respecto a las lecturas brutas de los dosímetros, para cada uno de los laboratorios participantes. Se aprecia una mejora sostenida en cuanto al tiempo de tránsito de los dosímetros. Además, el porcentaje de corrección de la dosis de fondo respecto a la lectura de los dosímetros se ha reducido notablemente desde la primera comparación en el año 2001, debido fundamentalmente a la disminución gradual del tiempo de tránsito de los dosímetros. Del análisis global de los datos de las comparaciones entre el 2001 y el 2025 se puede concluir que se ha alcanzado el tiempo de tránsito promedio mínimo, tras la optimización gradual del proceso organizativo de estos ejercicios.

TABLA 5

Días transcurridos desde la fecha de borrado de los dosímetros hasta la fecha de su lectura y porcentaje de la corrección de la lectura de fondo en las comparaciones del 2025, 2019, 2013, 2007 y 2001

Laboratorios	2025		2019		2013		2007		2001	
	Días	Corrección (%)	Días	Corrección (%)	Días	Corrección (%)	Días	Corrección (%)	Días	Corrección (%)
1	4	7	4	-	8	-	8	-	39	42
3	7	4	7	3	8	11	10	6	35	39
4	3	2	6	4	-	-	-	-	-	-
5	3	2	6	3	8	6	9	7	14	10
6	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
7	4	1	4	2	14	12	15	11	48	36
8	6	2	7	4	9	17	13	18	43	52
9	3	14	7	8	10	13	16	15	43	36
10	3	2	6	2	14	23	-	-	-	-
11	8	7	6	7	9	12	10	12	-	-
12	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
13	7	4	6	4	7	9	10	7	35	36
Promedios	5	4	6	6	9	12	11	11	37	36

10. CONCLUSIONES

- a. Se ha completado un ejercicio de comparación entre 12 laboratorios (sistemas) de dosimetría ambiental. Los dosímetros de cada sistema dosimétrico se irradiaron con un mismo valor de la magnitud equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)$. Sin embargo, los valores impartidos a cada sistema de dosimetría fueron diferentes y estuvieron comprendidos entre 350 μSv y 640 μSv . La energía utilizada fue la del ^{137}Cs , de conformidad con la norma ISO 4037/3 (2019).
- b. La presentación de los resultados por parte de los laboratorios ha sido adecuada y uniforme, acorde con las instrucciones técnicas del ejercicio. El tiempo entre el borrado de los dosímetros y su lectura en los laboratorios se ha reducido notablemente en las últimas dos comparaciones, con una corrección promedio de la dosis de fondo del 4 % en esta ocasión.
- c. Para la evaluación de los resultados se ha utilizado el procedimiento establecido en la norma ISO 14146 de 2024 [2]. Para el análisis de los resultados y su comparación con los obtenidos en años anteriores se utilizaron además los parámetros definidos en la norma ANSI / HPS 13.11 de 2022 [9].
- d. Los doce sistemas de dosimetría participantes cumplen con los criterios de aceptación establecidos. Es decir, los resultados obtenidos son satisfactorios en el marco de la norma ISO 14146.
- e. La repetibilidad de las medidas ha sido buena en general, con el 67 % de los laboratorios con valores de $S < 0,05$ y en todos los casos se cumple que $S < 0,10$.
- f. El ajuste de los sistemas dosimétricos para la energía del ^{137}Cs ha sido muy bueno en general, siendo $|B| < 0,15$ en todos los casos y en sólo uno de los laboratorios el parámetro $|B|$ fue ligeramente superior a 0,10.
- g. Diez de los sistemas de dosimetría habían participado en comparaciones anteriores. Se aprecian resultados globales similares a los de la comparación del 2019 para estos laboratorios, con algunas mejoras significativas en la desviación relativa promedio (B). La repetibilidad de las medidas en cada uno de los laboratorios se mantuvo en el orden de las obtenidas en las recientes comparaciones, en este caso, con todos los valores de S por debajo del 0,10 %. Se observa el mantenimiento de la tendencia de mejora general gradual.
- h. Se ha alcanzado el tiempo de tránsito promedio mínimo para la corrección de las dosis de fondo, como consecuencia de la optimización gradual de la organización de la comparación.

11. REFERENCIAS

1. CORNEJO DÍAZ N. A.: *Intercomparación de medidas de niveles de radiación ambiental “Irradiación en el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes”*. Instrucciones Técnicas. (Febrero 2025).
2. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION: RADIOLOGICAL PROTECTION: *Criteria and performance limits for the periodic evaluation dosimetry services for external radiation*. ISO 14146 (2024).
3. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION: *Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation*. IEC 62387 (2022).
4. AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE: *Environmental dosimetry - Criteria for system design and implementation*. ANSI/HPS No. 13.37 (2014).
5. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods*. ISO 4037-01(2019).
6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*. ISO 4037-03 (2019).
7. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO: REAL DECRETO 1029/2022, de 20 de diciembre, *por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes* (2022).
8. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA: *Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. ICRP 103. Traducción oficial al español. SEPR (2008).
9. AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE: *Personnel dosimetry performance. Criteria for testing*. ANSI/HPS No. 13.11 (2022).

12. ANEXO: CERTIFICADO DE ASIGNACIÓN DE DOSIS

Esta página se ha dejado en blanco de forma intencional.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration

Número (Number): P7958/LMRI/GP/6265

Objeto(s) / Descripción: <i>Object(s) / Description</i>	Asignación de valores de equivalente de dosis ambiental. $H^*(10)$
Marca: <i>Trademark</i>	DOSIMETROS AMBIENTALES - INTERCOMPARACIÓN DE MEDIDAS DE NIVELES DE RADIACIÓN AMBIENTAL
Modelo: <i>Model</i>	AMBIENTALES - TLD
Nº Serie: <i>Serial number</i>	12 Sistemas dosimétricos (Ver tabla de resultados)
Método / Procedimiento: <i>Method / Procedure</i>	Asignación de valores de equivalente de dosis ambiental a dosímetros ambientales usando haces de fotones de fuentes de ^{137}Cs . Procedimiento P-LMRI-C-18, basado en las normas ISO 4037.
Fecha(s) de calibración/medida: <i>Date(s) of calibration/measurement</i>	8 - 11 de abril de 2025
Expedido a: <i>Issued to</i>	CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. C/ JUSTO DORADO DELLMANS, 11. 28040 (MADRID)
Fecha de emisión: <i>Date of issue</i>	9 de junio de 2025
Nº de páginas: <i>Number of pages</i>	5

Este Certificado no atribuye al objeto calibrado/medido otras características que las indicadas por los datos aquí contenidos. Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se efectuaron las mediciones. Se garantiza la trazabilidad metrológica al SI. No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa para ello.

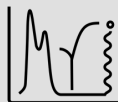
El presente Certificado es coherente con las capacidades de medida y calibración (CMC) incluidas en el Anexo C del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (CIPM ARM) redactado por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM). Según el CIPM ARM, todos los Institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus certificados de calibración y de medida para las magnitudes, campos e incertidumbres especificados en la KCDB (para más detalles <https://www.bipm.org/kcdb>). El logo "CIPM MRA" y esta declaración dan fe solo de las mediciones contenidas en este documento. (Véase también <https://www.cem.es/servicios/certificadoscem>).

This Certificate does not confer to the object calibrated/measured attributes beyond those shown by the data contained herein. Results refer to the dates and conditions in which measurements were carried out and guarantee metrological traceability to the SI. Partial reproduction of this document is not permitted without written permission.

This Certificate is consistent with calibration and measurement capabilities (CMCs) that are included in Appendix C of the Mutual Recognition Arrangement (CIPM MRA) drawn up by the International Committee for Weights and Measures (CIPM). Under the CIPM MRA, all participating institutes recognize the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in the KCDB (for details <https://www.bipm.org/kcdb>). The "CIPM MRA logo" and this statement attest only to the measurement component of the certificate. (See also <https://www.cem.es/servicios/certificadoscem>).

Este Certificado está firmado digitalmente por el director del Laboratorio Nacional de Metrología de Radiaciones Ionizantes, Dr. Miguel Embid Segura, y la persona responsable de la calibración. Ver pie y lateral de todas las páginas.





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration

Número (Number): P7958/LMRI/GP/6265

1 DATOS DEL LABORATORIO EMISOR

1.1 Laboratorio

Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes. Patrones dosimétricos. Laboratorio de referencia para la radiación gamma en niveles de protección. CIEMAT. Avenida Complutense, 40. Madrid 28040.

1.2 Personal técnico que ha intervenido y titulación

Néstor Armando Cornejo Díaz Dr. en Ciencias Físicas
Eugenio Guantes Diez Técnico de laboratorio

1.3 Equipos utilizados y su fecha de calibración (si procede)

- Cámara de ionización marca: PTW, modelo: 32003, n.º de serie: 00134 y electrómetro marca: PTW, modelo: UNIDOS y n.º de serie 20641.
- Cámara de ionización marca: PTW, modelo 32002, n.º de serie: 00345 y electrómetro marca: IBA, modelo: DOSE 1 y n.º de serie: 13097.
- Cámara de ionización marca: PTW, modelo 32005, n.º de serie: 00047 y electrómetro marca: IBA, modelo: DOSE 1 y n.º de serie: 13097.
- Irradiador marca: Nuclear Ibérica, modelo: NI-645, n.º de serie: 01, con fuente de ^{137}Cs , marca: Amersham, modelo: X-66/1 y n.º de serie: 66005EZ.
- Irradiador marca Nuclear Ibérica, modelo: NI-646, n.º de serie: 01, con fuentes de ^{137}Cs marca: Amersham, modelos: X61/1 y X.19, con números de serie: 61032EZ y 0660GN, respectivamente y fuentes de ^{60}Co marca: Amersham, modelos: X54 y números de serie: 9581HS y 0526HA.
- Barómetro marca DHI, modelo: RPM-3, n.º serie: 1294.
- Higrómetro marca: DELTA OHM, modelo: PHD2301C, no serie: 17006720.
- Teletermómetro marca: ASL, modelo: F252-A-2D, n.º serie: 018162/07; con sonda marca: BENRHOS, modelo: PT100, número de serie: 78507/09.

2 RESULTADOS OBTENIDOS

2.1 Fecha de las asignaciones de los valores de $H^*(10)$: 8, 9 y 11 de abril de 2025.

2.2 Resultados y su incertidumbre

Para las irradiaciones se empleó un haz de referencia, correspondientes a la calidad S-Cs, según la norma ISO 4037 (I). Las irradiaciones se realizaron en aire, para lo cual, los dosímetros se colocaron en un bastidor de hilos de nylon entrecruzados, suficientemente tensos y sujetos en un marco de plexiglás, quedando centrados en el campo de radiación. Como punto de referencia de los dosímetros se tomó el definido por su centro geométrico. Delante de la cara frontal de los dosímetros se colocó una lámina de PMMA de 3 mm de espesor.





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration

Número (Number): **P7958/LMRI/GP/6265**

Los resultados de las medidas son los siguientes:

Los parámetros relevantes de las irradiaciones fueron:

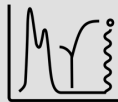
Laboratorio	$H^*(10)$ (μSv)	$\dot{H}^*(10)$ (mSv/h)	Distancia ⁽¹⁾ (m)	Diámetro ⁽²⁾ del haz (cm)	Tiempo (s)
1	560	10	2,742	38,4	201,6
3	570	10	2,742	38,4	205,2
4	460	10	2,742	38,4	165,6
5	390	10	2,742	38,4	140,4
6	600	10	2,742	38,4	216,0
7	360	10	2,742	38,4	129,6
8	640	10	2,742	38,4	230,4
9	370	10	2,742	38,4	133,2
10	540	10	2,742	38,4	194,4
11	520	10	2,742	38,4	187,2
12	500	10	2,742	38,4	180,0
13	350	10	2,742	38,4	126,0

¹ Distancia entre la cara anterior de la fuente y el plano que contiene el punto de referencia de los dosímetros.

² Diámetro del haz útil sobre el plano que contiene el punto de referencia de los dosímetros.

Los dosímetros de los laboratorios: 1, 3, 4, 5, 7 y 8 se irradiaron el 8 de abril de 2025. Los dosímetros de los laboratorios: 6, 9, 10, 12 y 13 se irradiaron el día 9 de abril de 2025 y los dosímetros del laboratorio 11 se irradiaron el 11 de abril de 2025.





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration

Número (Number): **P7958/LMRI/GP/6265**

Incertidumbres:

La incertidumbre relativa del laboratorio para los valores de equivalente de dosis ambiental asignados es igual a 0,049 ($k = 2$). En su cálculo se han considerado las siguientes componentes: incertidumbre del valor de kerma en aire de referencia, incertidumbre del coeficiente de conversión de kerma en aire a equivalente de dosis ambiental, incertidumbre debida al tiempo efectivo de irradiación de los dosímetros, incertidumbre debida a la falta de homogeneidad radial del haz a la distancia de irradiación, así como la incertidumbre del posicionado de los dosímetros en el punto de referencia en el haz.

2.2 Trazabilidad

Los resultados de la presente certificación son:

- directamente trazables al Patrón Nacional de kerma en aire para la radiación gamma, en las energías del ^{137}Cs y del ^{60}Co , y en niveles de protección, mantenido por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CIEMAT según Orden ITC/2581/2006, de 28 de julio de 2006 (BOE nº 186, de 5 de agosto),
- coherentes con la Capacidad de Calibración y Medida (CMC) [EUR-RAD-CIEMAT\(LMRI\)-1018 \(137-Cs\)](#), para la tasa de equivalente de dosis ambiental, reflejada en el Anexo C del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo por el que todos los Institutos Nacionales de Metrología participantes reconocen entre sí la validez de sus certificados de calibración y de medida para las magnitudes, campos e incertidumbres especificados (Comité Internacional de Pesas y Medidas, <http://www.bipm.org>).

2.3 Datos adicionales

Durante la realización de las irradiaciones, la temperatura del aire en la sala de calibración se mantuvo en el rango entre 18,5 °C y 20,5 °C. La humedad relativa del aire en la sala de calibración se mantuvo entre 39 % y 45 %.

3 TÉRMINOS DE REFERENCIA

3.1 Incertidumbre

La incertidumbre expresada es la incertidumbre expandida U , que se ha evaluado de acuerdo con la guía *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, JCGM 100:2008, mediante la expresión:

$$U = k \cdot u_c$$

donde:

- u_c es la incertidumbre típica combinada, obtenida por composición cuadrática de incertidumbres del tipo A y B,
- k es el factor de cobertura utilizado, con valor $k = 2$, correspondiente a una probabilidad de cobertura del 95 %.



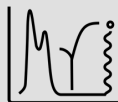


Laboratorio de Metrología
de Radiaciones Ionizantes

IONIZING RADIATIONS
METROLOGY LABORATORY

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas



Laboratorio Asociado al
Centro Español de Metrología
y Depositario de Patrones Nacionales

Spanish Designated Institute
holding national standards

CEM

CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA
(RD 533/1996)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of Calibration

Número (Number): P7958/LMRI/GP/6265

3.2 Cálculo del equivalente de dosis ambiental

El equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)$, o su tasa, se ha obtenido mediante la multiplicación del kerma en aire de referencia, o su tasa, por el coeficiente de conversión de kerma en aire a equivalente de dosis ambiental, $h_K^*(10)$, recomendado por la norma ISO 4037/3:2019 para la radiación gamma emitida por la fuente utilizada. $h_K^*(10) = 1,21 \text{ Sv/Gy } (^{137}\text{Cs})$.

4 OBSERVACIONES

No procede.

FIN DEL DOCUMENTO

