

PRIMER CATÁLOGO ESPAÑOL DE LOS ESPECTROS DE REFERENCIA DE RAYOS X



MARTA BORREGO

Supervisora del Laboratorio de Referencia para Rayos X en Niveles de Protección CIEMAT



MIGUEL EMBID SEGURA

Responsable del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes CIEMAT

INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, LMRI, pertenece al Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de España, y es el laboratorio depositario de los patrones nacionales de las unidades derivadas del Sistema Internacional de actividad (de un radionucleido), exposición (rayos X y gamma), kerma y dosis absorbida, según Real Decreto 533/1996, de 15 de marzo. Ese mismo decreto declara al LMRI como Laboratorio Asociado al Centro Español de Metrología, el organismo competente en materia metrológica nacional. Actualmente se encuentra en proceso de aprobación el patrón nacional de la unidad de fluencia neutrónica.

El LMRI es por tanto, el responsable a nivel estatal de la custodia, conservación, mantenimiento y difusión de los patrones nacionales de las unidades mencionadas anteriormente. Para ello consta de ocho laboratorios: cuatro para dosimetría para niveles de protección personal y ambiental (gamma, rayos X, beta y terapia hospitalaria), tres para radionucleidos (alfa, centelleo líquido y espectrometría gamma y medidas por coincidencia) y otro para neutrones. Actualmente se encuentra en fase de construcción otro laboratorio para la metrología de gases radiactivos, en concreto, el radón. Se muestran en las Figuras 1 a 3, tres de los laboratorios pertenecientes al LMRI.

En particular es el Laboratorio de Referencia para Rayos X en Niveles de Protección, el depositario de los patrones nacionales para rayos X. Para llevar a cabo esta encomienda tiene establecidas las series definidas en la norma ISO 4037:2019 [1] y las series de radiodiagnóstico definidas en la UNE-EN 61267:2005 [2].

La norma ISO 4037-1:2019 establece cuatro series de radiación X de referencia en niveles de protección, caracterizadas por la resolución del espectro: baja tasa de kerma en aire, espectro estrecho, espectro ancho y alta tasa de kerma en aire. Las distintas calidades se obtienen mediante un filtrado adecuado de la radiación generada a diversas tensiones de aceleración en los tubos de rayos X.

Asimismo la UNE-EN 61267:2005 define varias calidades de radiodiagnóstico, de las que el Laboratorio tiene establecidas cuatro: RQR, RQA, RQC y RQT.

Durante el 2020, se caracterizaron por métodos dosimétricos y espectrométricos los haces de rayos X [3], de acuerdo con los estrictos requisitos de la ISO 4037:2019. Los valores de todos los parámetros analizados, medida del coeficiente de hemirreducción, resolución energética, filtración inherente, kilovoltaje, geometría del haz, medida del rizado y la estabilidad, se encuentran dentro del rango establecido para la verificación de los haces de rayos X como haces de referencia de la norma ISO.



Figura 1. Laboratorio de Referencia Gamma en Niveles de Terapia Hospitalaria. **Figura 2.** Laboratorio de Patrones Neutrónicos. **Figura 3.** Laboratorio de Referencia para la Radiación Gamma en Niveles de Protección.

En este trabajo, se presentan los datos experimentales, de En este trabajo se presentan, de forma experimental, los datos obtenidos por métodos espectrométricos con los que podemos obtener los coeficientes de conversión del coeficiente de kerma en aire, K_{a} , a dosis equivalente ambiental, $H^*(10)$, para las calidades de radiación de las series de baja tasa de kerma en aire (L), alta tasa de kerma en aire (H), espectro estrecho (N), y espectro ancho (W).

El trabajo completo de la caracterización de los haces coincidentes y caracterizados, por métodos dosimétricos y espectrométricos, se encuentra en preparación para su publicación. Este catálogo será la primera publicación estatal de las calidades mencionadas. Además, supone una publicación actualizada (bajo la ISO 4037:2019) del primer catálogo publicado por el *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* [4] en el año 2000.

CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

El Laboratorio de Referencia para Rayos X en Niveles de Protección consta de dos equipos generadores de rayos X: uno de ellos con un tubo de rayos X de la marca Philips, modelo MCN 165 con una fuente de alimentación que permite alcanzar una tensión de polarización de hasta 100 kV, y el otro equipo con un tubo de rayos X de la marca YXLON, modelo Y. TU/320-D03 con una fuente de alimentación de hasta 320 kV.

Previamente a las medidas experimentales espectrométricas se realizaron medidas dosimétricas, medidas de los coeficientes de hemirreducción y comprobación de los parámetros de calidad de radiación que exige la norma ISO 4037:2019. Una vez validados todos los parámetros definidos en la norma, se realizaron las medidas espectrométricas. El procedimiento espectrométrico seguido en este trabajo, fue el descrito en el Anexo B de la Parte 2 de la ISO 4037:2019 [5]. Las medidas se hicieron a 1m y 2,5 m.

En la Figura 4 se muestra de forma conceptual (no a escala) la configuración experimental para las medidas espectrométricas con un detector de germanio.

SIMULACIONES MONTECARLO

Hay que resaltar que además de las medidas realizadas se hicieron previamente estudios de simulación MonteCarlo. Para la realización del catálogo de espectros se siguieron los siguientes pasos:

1. Se obtuvieron por separado experimentalmente con el detector de Ge descrito, los espectros de tres fuentes

puntuales de ^{57}Co , ^{55}Fe y ^{241}Am . Estas fuentes están bien caracterizadas y se conoce su incertidumbre y actividad.

2. Posteriormente se hicieron tres simulaciones Monte Carlo de esas fuentes con el fin de ajustar los picos a los datos experimentales. En esta simulación se simula la geometría del detector, cuyos datos geométricos provenientes de su manual de uso, son verificados con radiografías del detector. En este trabajo no hubo necesidad de realizar ningún ajuste en las simulaciones MC pues las eficiencias en los picos principales de los espectros coincidían correctamente.
3. Se realizaron 1500 simulaciones, cada una con una fuente puntual monoenergética para cubrir un rango entre 0,2 keV y 300 keV. Una vez obtenidas las 1500 simulaciones, se obtuvo una matriz de 1500 x 1500 con la que poder hacer la deconvolución espectral.

Estos datos se han utilizado para realizar la deconvolución de los espectros y calcular los coeficientes de conversión Sv/Gy. Para ello se ha usado el programa DET-H10R [6], con el que se calculan los valores de kerma en aire y las tasas de dosis equivalente ambiental a partir de los espectros de pérdida de energía de fotones medidos. El código incorpora la Estimación de Máxima Verosimilitud usando el algoritmo de Maximización de Expectativas y el método de stripping para obtener los espectros de fluencia de fotones incidentes por deconvolución de los espectros de pérdida de energía calculados usando la matriz de respuesta del detector obtenida por simulación de MonteCarlo.

RESULTADOS

Previamente a la realización de este trabajo se hizo un estudio prospectivo sobre espectros de rayos X publicados anteriormente. La principal conclusión de este estudio es que la misma norma ISO 4037:2019 está basada en un documento del año 2000, un catálogo realizado en el *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, (PTB), de Alemania. No se encontró otro catálogo en la bibliografía existente que no esté basado en éste y con menos de 10 años de antigüedad. Por eso, de la importancia del catálogo que se encuentra en preparación para su publicación.

El estudio de caracterización de los haces de rayos X de referencia nacional incluye otros catálogos adicionales como son los de radiodiagnóstico en las calidades de RQR, RQA, RQT y RQC.

A continuación, se muestran las gráficas de los espectros de fluencia normalizados de las calidades de rayos X de las series N, L, W y H en las Figuras 5 a 8, respectivamente.

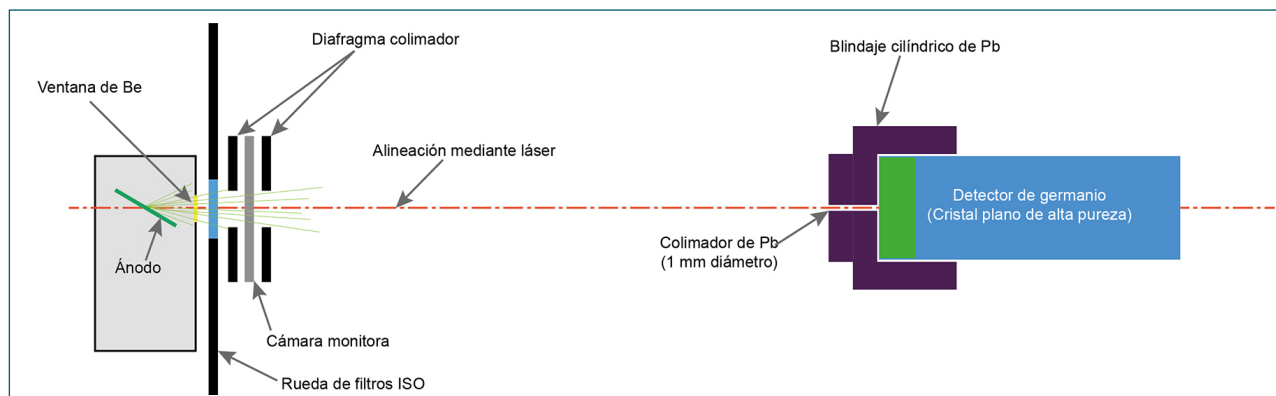


Figura 4. Diagrama de la configuración experimental para las medidas de espectro de alto pulso.

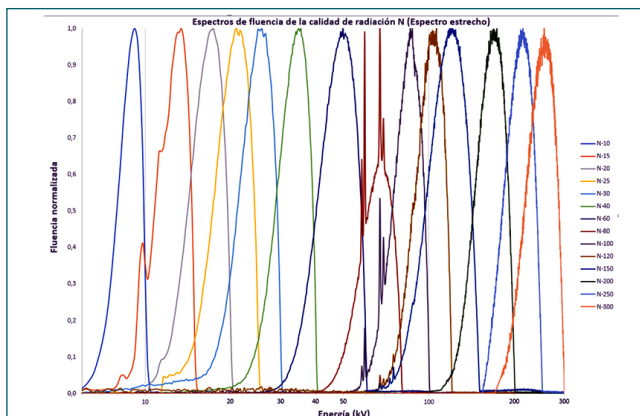


Figura 5. Espectro de fluencia normalizado de la serie N.

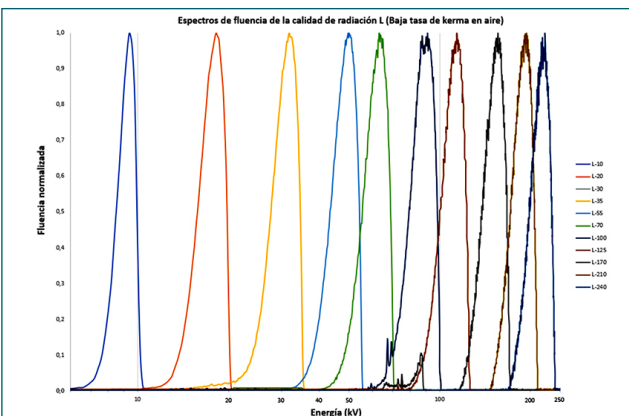


Figura 6. Espectro de fluencia normalizado de la serie L.

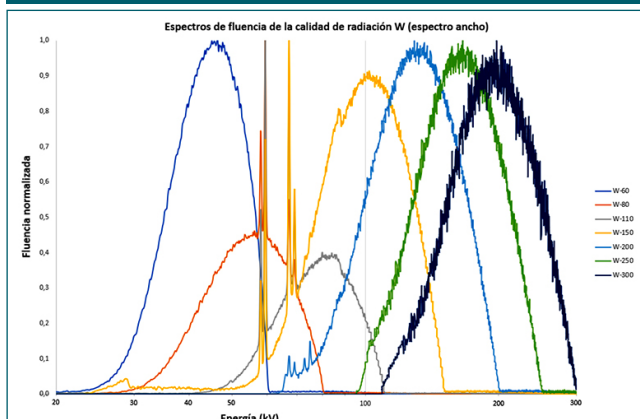


Figura 7. Espectro de fluencia normalizado de la serie W.

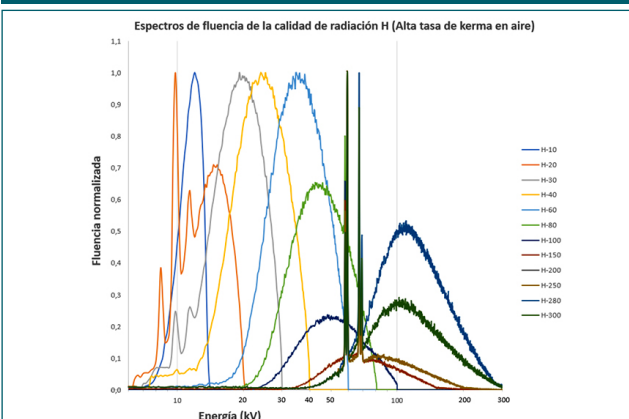


Figura 8. Espectro de fluencia normalizado de la serie H.

Las gráficas están validadas de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos en la ISO, como son la resolución energética, coeficientes de conversión y energías medias están descritos en la ISO 4037-1:2019.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el Laboratorio de Referencia Para rayos X en Niveles de Protección, del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes (LMRI) del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) ponen de manifiesto el cumplimiento, de los requisitos que exige la norma ISO 4037-1:2019 para la calibración de equipos de medida de la radiación, y su respuesta en función de la energía de los fotones, en niveles de protección.

En el primer semestre de 2021 se publicará el primer catálogo español de espectros de haces de referencia de rayos X, siendo además, el primer catálogo internacional desde 2010, de acuerdo a la norma ISO 4037:2019.

Se comprueba la necesidad de añadir más catálogos a la bibliografía internacional que se realicen en otros laboratorios de referencia metrológica y la realización de medidas espectrométricas para la caracterización de haces de rayos X, que necesitarían ser validadas mediante comparaciones internacionales. Hay que tener en cuenta que para la realización de estas comparaciones sería necesario diseñar un protocolo estandarizado internacional que actualmente no existe.

REFERENCIAS

- [1]. ISO 4037-1:2019, Radiological protection - 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.
- [2]. UNE-EN 61267:2005: Equipos de diagnóstico médico mediante rayos X. Condiciones de radiación para la utilización en la determinación de características.
- [3]. Borrego, M. y Embid M. Caracterización de los haces de radiación de referencia del Laboratorio de Referencia para Rayos x en Niveles de Protección, IR14D-LMRI-CIEMAT, de acuerdo con las normas ISO 4037:2019 y UNE 61627:2006 y métodos de simulación montecarlo. DT-LMRI-2103.
- [4]. Ankerhold U. 2000, Catalogue of X-ray spectra and their characteristic data - ISO and DIN radiation qualities, therapy and diagnostic radiation qualities, unfiltered X-ray spectra -Bericht Dos-34.
- [5]. ISO 4037-2:2019, Radiological protection - X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose-rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV.
- [6]. Cornejo, N. 2018, Maximum likelihood estimation using expectation Maximization applied to ambient dose equivalent Measurements. Radiation Protection Dosimetry (2018), Vol. 182, No. 2, pp. 285-293. doi:10.1093/rpd/ncy064.■