

Validación de Calidades de Rayos X Diagnósticos en el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes

Quality Validation of Diagnostic X-Ray in the Metrology Laboratory of Ionizing Radiation

Patricia Mora Rodríguez ; Gerardo Noguera Vega & Mariela Porras Chaverri

MORA, R. P.; NOGUERA, V. G. & PORRAS, C. M. Validación de calidades de rayos X diagnósticos en el laboratorio de metrología de radiaciones ionizantes. *J. health med. sci.*, 4(4):303-307, 2018.

RESUMEN: El objetivo del trabajo fue validar la calidad de radiación para energía de radiodiagnósticos del Laboratorio de Metrología de la Universidad de Costa Rica (UCR) como parte del proyecto técnico de cooperación COS9008 del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), gracias a la donación de un sistema de generación de rayos X. Para confirmar la calidad de radiación acorde a las normas IEC 61267 e ISO 4037-1, se calculó el primer y segundo espesor hemirreductor (HVL1 y HVL2), mediante una combinación de filtros de aluminio y cobre, cámaras de ionización, una mampara colimadora y demás equipo misceláneo. Los resultados mostraron que los valores del HVL1 y HVL2 tienen una desviación menor al 5 % con respecto a los reportados por la IEC 61267 en las calidades RQR2 hasta RQR10. El tamaño de campo es ocho centímetros de diámetro para la abertura de tres centímetros con una dispersión de campo menor al 5 %. En las calidades ISO desde N40 hasta N200, los HVL presentaron desviaciones menores al 5 % y el resultado de uniformidad y tamaño del campo fue el mismo que en las calidades RQR. Se verificó la calidad de radiación del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes según las condiciones de la IEC 61267 y la ISO 4037 en el espectro de calidades de RQR2 hasta RQR10 y N40 hasta N200.

PALABRAS CLAVE: calidad de radiación, espesor hemirreductor, cámaras ionizantes.

INTRODUCCIÓN

Existe cada vez mayor interés de contar con medios fiables y precisos para medir las dosis de radiaciones en las diferentes aplicaciones pacíficas de las radiaciones ionizantes en las áreas de la medicina, industria e investigación. Las Autoridades Reguladoras Nacionales velan por la seguridad y protección radiológica de los pacientes, trabajadores y medio ambiente, además de contar localmente con laboratorios de calibración que sean el puente entre los laboratorios primarios de calibración dosimétrica y los usuarios finales garantizando una mejor trazabilidad en todos los equipos de medición utilizados.

El Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) de la UCR ha venido colaborando con el Ministerio de Salud (autoridad reguladora nacional) como brazo técnico para el establecimiento de la metrología de radiaciones ionizantes en el país. El CICANUM mantiene la calibración de detectores portátiles y de superficie (IAEA, 2000), utilizando una fuente de Cs-137 y fuentes planares de

Am-241 y Sr-90, bajo su Sistema de Gestión de Calidad donde tiene otros ensayos acreditados bajo la norma ISO 17025:2005 (ISO, 2005).

Mediante el proyecto de cooperación técnica nacional COS9008: Strengthening the Radiation Safety and Protection Service of the Ministry of Health (IAEA, 2012) el Ministerio de Salud ha realizado esfuerzos para fortalecer las capacidades y competencias de los laboratorios prestadores de servicio en calibración y dosimetría externa para la prevención y toma de decisiones oportunas por las autoridades nacionales en material de protección y seguridad radiológica. Dentro del marco de ejecución de este proyecto se recibió en setiembre de 2016 la donación de un tubo de rayos X para ampliar el espectro de las calibraciones y abarcar las energías utilizadas en radiodiagnóstico y, además, para cubrir un faltante presente en el país hasta ese momento. Bajo este contexto, el CICANUM trabaja arduamente para entrar a la red de laboratorios secundarios de calibración dosimétrica del IAEA y para acreditar la calibra-

ción de detectores portátiles y de contaminación durante el año 2018.

En preparación a la ampliación del alcance de acreditación e incluir las actividades con el tubo de rayos X, se presentan los resultados de esta investigación, donde las metodologías, generación de hojas de cálculo y validación para las calidades según la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC-61267) y el Organismo Internacional de Estandarización (ISO 4037-1): para RQR y N (ICRU, 1979; ISO, 1996, 2005; IEC, 2005) son obtenidas de manera preliminar.

MATERIAL Y MÉTODO

Instalaciones y equipo de rayos X

El CICANUM durante el año 2015 realizó una modificación importante a sus instalaciones. Se planificó la construcción del laboratorio que albergó al tubo de rayos X con todos los requerimientos legales y de protección radiológica. Se contaba con una sala de irradiación, un cuarto de control, un cuarto para los generadores y otro para el almacenamiento de los equipos misceláneos. El tubo de rayos X era el modelo X82-255E de la compañía Hopewells Designs (Hopewell Designs, 2018) que constaba, de manera general, del sistema de rayos X, el blindaje correspondiente, obturadores y colimador, el panel de control y equipo periférico. El generador era un modelo GX-255 con un rango de 10 kV a 225 kV (exactitud $\pm 2\%$) y de 0,1 mA a 30 mA (exactitud $\pm 0,5\%$) con potencia nominal continua de 4 kW y reproducibilidad de $\pm 0,01$ kV y 2 mA. El equipo tenía dos tubos, uno para radiología convencional (modelo MXR 225/22 que opera de 10 kV a 225 kV y con blanco de tungsteno y ventana de berilio) y otro para mamografía (modelo MCD 100H-5 Mo que opera de 20 kV a 50 kV y con blanco de molibdeno y ventana de berilio). El controlador era un modelo MP1 con una interfase a computadora RS-232. El blindaje se lograba con una combinación de láminas de acero/plomo/acero y los valores de dosis eran menores a 1,0 mSv/h a 1,0 m cuando el equipo estaba en máxima operación con el obturador cerrado. Adicionalmente, constaba de tres carruseles para la colocación de 10 filtros para lograr las diferentes calidades del haz.

Actualmente, el CICANUM está en capacidad de lograr las siguientes calidades, de haz delgado de la ISO-4037-1, RQR, RQA, RQT, RQA-M y RQR-M (ISO, 1996). Finalmente, cuenta con la estructura para la determina-

ción de los espesores hemirreductores (HVL: half value layer) y un sistema de posicionamiento lineal en los tres ejes (x, y, z). Los detectores a calibrar se colocan en una plataforma de tamaño 90 cm x 50 cm que sostiene hasta 100 kg. El equipo auxiliar para el posicionamiento de los detectores consiste en cámaras láser y de video. Respecto a los sistemas de seguridad tiene tres apagadores de emergencia, fotocelda en la puerta y luces indicadoras afuera del recinto de irradiación. La cámara de ionización utilizada para la realización de las mediciones es la PTW-M77334 (PTW, 2018). En las Figuras 1 y 2 se muestra el equipo de rayos X, el riel de posicionamiento del laboratorio y las ruedas para los filtros.

Determinación de las calidades de radiación

La metodología para la determinación del valor de la filtración inherente es la descrita en la ISO 4037-1 (ISO, 1996) apartado 4.2.3. Para un haz con potencial de 60 kV se utilizaron filtros adicionales de aluminio de pureza de 99,99 % para la determinación del espesor hemirreductor (HVL). La cámara de ionización fue colocada a 100 cm de distancia del punto focal y los filtros adicionales a 50 cm.

El valor del espesor hemirreductor (HVL) se calculó utilizando la metodología del IEC-61267 (IEC, 2005) y el Código de Práctica del IAEA (IAEA, 2007) utilizando la siguiente ecuación:

$$HVL = \frac{t_2 \ln \left[\frac{2M_1}{M_0} \right] - t_1 \ln \left[\frac{2M_2}{M_0} \right]}{\ln \left[\frac{M_1}{M_2} \right]}$$

Donde:

t_1 y t_2 son los espesores de los filtros utilizados en mm.
 M_0 es el promedio de las lecturas sin filtros.
 M_1 y M_2 son las lecturas con los filtros t_1 y t_2 .

El valor del coeficiente de homogeneidad (h: homogeneity coefficient) fue calculado con la siguiente ecuación (IEC, 2005; IAEA, 2007):

$$h = \frac{HVL_1}{HVL_2}$$

Donde:

HVL_1 y HVL_2 son los valores del primer y segundo espesor hemirreductor respectivamente.

Se realizaron mediciones para las calidades RQR2 al RQR10 y N40 al N200 descritas en las Tablas I y II, respectivamente.

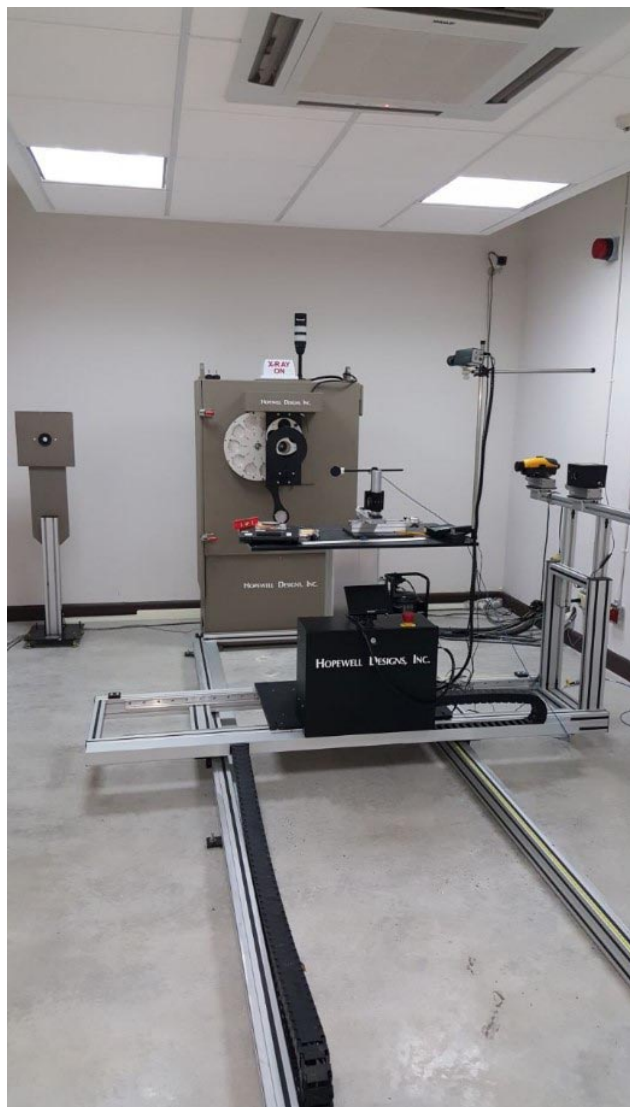


Fig. 1. Riel de posicionamientos y tubo de rayos X.

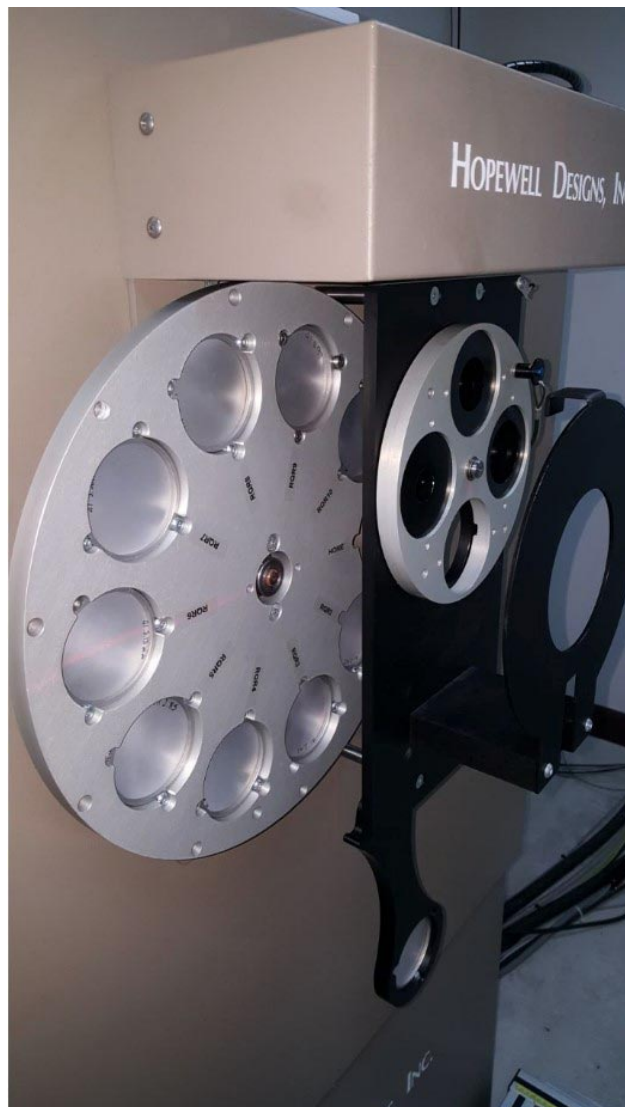


Fig. 2. Rueda para colocación de filtros.

Tabla I. Características de las calidades de Radiación RQR2 a RQR10 (IEC, 2005).

Calidad	Voltaje del tubo	Primer HVL (mm AL)	Coefficiente de Homogeneidad
RQR2	40	1,42	0,81
RQR3	50	1,78	0,76
RQR4	60	2,19	0,74
RQR5	70	2,58	0,71
RQR6	80	3,01	0,69
RQR7	90	3,48	0,68
RQR8	100	3,98	0,68
RQR9	120	5,00	0,68
RQR10	150	6,57	0,72

Tabla II. Características de las calidades de Radiación N40 a N200 (ISO, 1996).

Calidad	Voltaje del tubo	Primer HVL (mm Cu)	Segundo HVL (mm Cu)
N40	40	0,08	0,09
N60	60	0,24	0,26
N80	80	0,58	0,62
N100	100	1,11	1,17
N120	120	1,71	1,77
N150	150	2,36	2,47
N200	200	3,99	4,05

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro del Sistema de Gestión de Calidad que mantiene el CICANUM con la Norma ISO 17025 (ISO, 2005) se han generado hojas de cálculo (registros CICANUM-I-E-LMRI-11: R01 y R02) asociados al instructivo "Conformación de Calidades del Haz de Rayos X", la cual tiene de manera automatizada el cálculo de las ecuaciones 1 y 2 anteriormente citadas. Preliminar a la toma de datos para el establecimiento de las calidades se comprueba para la cámara de ionización empleada la respuesta del fondo ambiental, la corriente de fuga y la repetibilidad. La homogeneidad del campo de radiación a varias distancias también se tiene caracterizado utilizando Root Data

Analyzer Framework (Root, 2018). Los valores de las lecturas obtenidas fueron corregidos por el factor de corrección apropiado para temperatura y presión.

Las Tablas III y IV, presentan los resultados obtenidos por medio de las hojas cálculo de los valores de los espesores hemirreductores y coeficiente de homogeneidad para las diferentes calidades utilizando el equipo de rayos X del CICANUM.

Se puede apreciar que todos los errores están por debajo del 5 % según lo especificado por la ISO 4037-1 (ISO, 1996), indicando que las metodologías empleadas por el CICANUM con el equipamiento disponible permiten contar localmente con estos haces de radiación.

Tabla III. Resultados de las calidades de Radiación RQR2 a RQR10.

Calidad	Primer HVL (mm Al)		Coeficiente de Homogeneidad	
	Valor obtenido	% Error	Valor obtenido	% Error
RQR2	1,38	2,8	0,77	4,94
RQR3	1,77	0,84	0,78	2,63
RQR4	2,16	1,17	0,73	1,35
RQR5	2,50	3,19	0,71	0,01
RQR6	2,94	2,27	0,67	2,90
RQR7	3,47	0,31	0,68	0,01
RQR8	3,87	2,5	0,68	0,01
RQR9	5,18	3,62	0,70	2,86
RQR10	6,54	0,40	0,70	2,78

Tabla IV. Resultados para las calidades de Radiación N40 a N200.

Calidad	Primer HVL (mm Cu)		Segundo HVL (mm Cu)	
	Valor obtenido	% Error	Valor obtenido	% Error
N40	0,08	4,15	0,10	-2,6
N60	0,24	-0,11	0,27	-1,96
N80	0,58	-0,13	0,63	-0,85
N100	1,11	0,29	1,15	0,84
N120	1,73	-1,08	1,72	1,00
N150	2,31	2,16	2,46	1,31
N200	4,00	-0,16	4,03	0,24

CONCLUSIONES

La radiación ionizante que se utiliza en las aplicaciones médicas en área médica de la radiología constituye el componente más grande a la cual la población está expuesta, por tanto, esfuerzos nacionales e internacionales se realizan para controlar las dosis recibidas por los pacientes. El control metrológico del equipamiento utilizado en haces de energía diagnósticas es una manera de verificar las dosis de radiación que reciben los pacientes. La caracterización de las calidades de radiación en energías diagnóstica del tubo de rayos X del Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del CICANUM permite colaborar con las autoridades nacionales y el usuario final para garantizar la trazabilidad metrológica de los equipos de medición que se usan en los hospitales nacionales para la ejecución de programas de calidad o bien para la dosimetría del paciente. La metodología descrita en este trabajo mediante la determinación de los espesores hemirreductores ha demostrado que ya se encuentran instaladas las capacidades a nivel local para las calidades N y RQR. La metodología se extenderá a incluir calidades tales como RQA, RQT, RQR-M y RQA-M en preparación de lograr la acreditación con la norma NCh-ISO-IEC-17025:2017.

MORA, R. P.; NOGUERA, V. G. & PORRAS, C. M. Quality validation of diagnostic X-Ray in the metrology laboratory of ionizing radiation. *J. health med. sci.*, 4(4):303-307, 2018.

ABSTRACT: The aim of this work was to validate the quality of radiation used in radiodiagnosis from the Metrology Laboratory of Universidad de Costa Rica (UCR) as part of the cooperation project COS9008 and International Atomic Energy Agency (IAEA), thanks to a donation of an X-Ray system. To verify the quality of radiation according to IEC 61267 and ISO 4037-1 standards, the first and second half-value thickness (HVL1 y HVL2) was calculated through a filter combination of aluminum and copper, ionization chambers, a collimator screen, and miscellaneous equipment. HVL1 y HVL2 values have a deviation of less than 5 % regarding the reported for IEC 61267 in RQR2 and RQR10 qualities. The field size is eight centimeters in diameter for the opening of three centimeters with a field dispersion of less than 5 %. In ISO qualities from N40 until N200, the HVL presented deviations of less than 5% and the uniformity result and field size is the same as in RQR qualities. The quality of radiation of the Metrology Laboratory of Ionizing Radiation was verified according to IEC 61267 and ISO 4037 conditions in the range of RQR2 qualities until RQR10 and N40 until N200.

KEY WORDS: quality of radiation, half-value thickness, ionization chambers

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hopewell Designs, 2018. Disponible en: <https://www.hopewelldesigns.com/products/gamma-irradiator-systems/>
- International Atomic Energy Agency (IAEA). *Calibration of radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Report Series No. 16*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, Technical Reports Series No. 457*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). *Strengthening the radiation safety and protection service of the ministry of health, COS9008*. International Atomic Energy Agency, 2012. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/projects/tc/cos9008>.
- International Commission on Radiation Units & Measurements (ICRU). *Average energy required to produce an ion pair (Report 31)*. International Commission on Radiation Units & Measurements, Bethesda, MD, 1979.
- International Electrotechnical Commission (IEC). *Medical diagnostic X-ray equipment-radiation conditions for use in the determination of characteristics*. Rep. IEC-61267. International Electrotechnical Commission, Geneva, 2005.
- International Organization for Standardization (ISO). *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*. Rep. ISO 17025. International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- International Organization for Standardization (ISO). *X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy, Part 1: Radiation characteristics and production methods, Rep. ISO 4037-1*. International Organization for Standardization, Geneva, 1996.
- International Organization for Standardization (ISO). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. NCh-ISO-IEC-17025:2017. International Organization for Standardization, Geneva, 2017.
- PTW, 2018. Disponible en: https://www.ptw.de/detector_overview.html.
- Root, 2018. Disponible en: <https://root.cern.ch/>.

Dirección para correspondencia:
Patricia Mora Rodríguez
Centro de Investigación en Ciencias Atómicas,
Nucleares y Moleculares (CICANUM)
Universidad de Costa Rica
San José
COSTA RICA

Email: patricia.mora@ucr.ac.cr

Recibido : 17-05-2018
Aceptado: 27-09-2018