

Performance curves of x-ray equipment in a medical radiodiagnostic service

Curvas de rendimiento de equipos de rayos x en un servicio de radiodiagnóstico médico

Autores:

Valencia-Mina, Adrián Andrés
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Maestrante de la Maestría con Trayectoria de Investigación en Física
Biofísico



Portoviejo – Ecuador
adrianadresv7@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0004-1281-1991>

González-López, Nadia Aimee
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Lic. Física Máster en Ciencias
Docente Investigador Facultad de Departamento de Física
Portoviejo – Ecuador



nadia.gonzalez@utm.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-7225-9036>

Dávila-Laprea, Freddy Antonio
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Lic. Física Máster Scientiarum, Mención Física Médica
Docente Investigador Solca-Portoviejo
Portoviejo – Ecuador



oficialseg.radio@mail2.solcamanabi.org



<https://orcid.org/0009-0009-3137-4367>

Guerrero-Guerrero, Rosmary Yenlay
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Lic. Física Máster Scientiarum, Mención Física Médica
Docente Investigador Solca-Portoviejo
Portoviejo – Ecuador



rosmaryenlay@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0004-2882-4746>

Fechas de recepción: 03-ENE-2025 aceptación: 03-FEB-2025 publicación: 15-MAR-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El conocimiento del valor de las curvas de rendimiento de los equipos de radiodiagnóstico es fundamental para el cálculo de las dosis impartidas a los pacientes. Las mediciones de las curvas de rendimiento a varias tensiones y su dependencia con la corriente del tubo son necesarias para la estimación de las dosis impartidas a los pacientes sometidos a procedimientos de radiodiagnóstico. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo elaborar las curvas de rendimiento de equipos de rayos X en un servicio de radiodiagnóstico médico en una institución hospitalaria. Las mediciones de las curvas de rendimiento de tres equipos —Rayos X telecomandado, Rayos X cielítico y Rayos X portátil— se realizaron con un dosímetro de estado sólido marca Radcal, modelo AGP-P-RG, incluyendo la sonda marca Radcal, modelo AGMS-D+. Los datos obtenidos se tabularon y procesaron en una hoja de cálculo Excel. Para este estudio se realizaron un total de 101 mediciones de dosis de radiación a una distancia de 1 metro del punto focal, asegurando una alineación perpendicular entre el detector y el haz de rayos X. Se obtuvieron los valores medios del rendimiento (uGy/mAs) y su desviación estándar. Las curvas de regresión lineal entre las variables rendimiento (uGy/mAs) y el voltaje (kVn) de cada equipo de rayos X mostraron una alta correlación para cada uno de los equipos estudiados, lo que garantiza una base sólida para el análisis y la optimización de las dosis en pacientes sometidos a distintos procedimientos de radiodiagnóstico.

Palabras clave: Curvas de rendimiento; Dosis de radiación; Equipos de rayos X



Abstract

The knowledge of performance curves for radiodiagnostic equipment is essential for calculating patient doses. Measuring these curves at various voltages and their dependence on tube current is crucial for estimating the doses delivered during radiodiagnostic procedures. This study aims to develop the performance curves of X-ray equipment in a medical radiodiagnostic service within a hospital. Performance curve measurements were conducted for three devices —telecommanded X-ray, ceiling-suspended X-ray, and portable X-ray— using a solid-state dosimeter (Radcal AGP-P-RG) and a probe (Radcal AGMS-D+). Data were tabulated and processed in Excel. A total of 101 radiation dose measurements were performed at 1 meter from the focal point, ensuring perpendicular alignment between the detector and the X-ray beam. The mean performance values (uGy/mAs) and their standard deviations were calculated. Linear regression analysis of performance (uGy/mAs) and voltage (kVn) variables showed high correlation for all studied devices. This provides a robust basis for dose analysis and optimization in patients undergoing various radiodiagnostic procedures.

Keywords: Performance curves; Radiation dose; X-ray equipment

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2020), plantea postulados de seguridad en radiodiagnóstico que implican la implementación de estrategias y protocolos que minimicen la exposición a la radiación ionizante sin comprometer la calidad de la imagen y la información diagnóstica. Estas directrices abarcan desde la optimización de los parámetros de exposición hasta la selección adecuada de técnicas de imagen, con el objetivo de garantizar una práctica clínica segura y centrada en el paciente.

La implementación de estrategias de control y aseguramiento de la calidad es esencial para garantizar la fiabilidad y la validez de los datos de dosimetría en radiodiagnóstico médico. Según la International Commission on Radiological Protection (2007), la implementación de programas de control de calidad y el seguimiento regular de la precisión de los equipos de dosimetría son componentes clave para garantizar mediciones confiables y consistentes de la dosis de radiación en entornos clínicos de radiodiagnóstico médico. La misma International Commission on Radiological Protection (2007), asegura que la adopción de enfoques integrales de dosimetría que abarquen la optimización de la dosis, el control de calidad y la aplicación de tecnologías innovadoras es fundamental para garantizar una evaluación precisa y confiable de la dosis de radiación en entornos clínicos de radiodiagnóstico

El análisis de las curvas de rendimiento de equipos de radiodiagnóstico permite identificar patrones clave que influyen en la operación hospitalaria, como la disminución del rendimiento debido al desgaste, las necesidades de mantenimiento preventivo y correctivo, y los momentos ideales para actualizaciones tecnológicas. Esto resulta esencial para garantizar que el equipo opere dentro de los estándares de calidad requeridos y cumpla con las expectativas de los servicios clínicos y de los pacientes.

En términos clínicos, el desempeño de los equipos de radiodiagnóstico influye en la seguridad del paciente y la precisión diagnóstica. Un equipo fuera de especificaciones puede causar errores, exposiciones innecesarias o retrasos. Por ello, monitorear y optimizar las curvas de rendimiento no solo es una cuestión de eficiencia operativa, sino también de responsabilidad clínica y ética.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), los programas de aseguramiento de la calidad implican la



evaluación regular de los equipos de radiodiagnóstico, la revisión de los protocolos de dosificación y la capacitación continua del personal, lo que contribuye a mantener altos estándares de seguridad y calidad en la práctica clínica.

Por su parte el Protocolo de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe (ARCAL) (2021), establece un conjunto de directrices y procedimientos estandarizados para garantizar la calidad y seguridad de los equipos de radiodiagnóstico en la región. Este protocolo aboga por la implementación de prácticas regulares de mantenimiento y verificación de equipos, con el objetivo de minimizar la exposición innecesaria a la radiación y asegurar imágenes de alta calidad para un diagnóstico preciso. Entre los aspectos destacados, se incluyen la calibración de equipos, la verificación de parámetros operativos y la evaluación de la calidad de imagen, todos ellos fundamentales para mantener la fiabilidad y seguridad en los procedimientos radiológicos.

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo es elaborar las curvas de rendimiento de tres equipos de rayos X en un servicio de radiodiagnóstico médico de una institución hospitalaria.

Material y métodos

La elaboración de las curvas de rendimiento de equipos de rayos X en un servicio de radiodiagnóstico médico se realizó según el siguiente orden: a) análisis del estado actual de la bibliografía y del objeto de investigación, b) selección de la institución hospitalaria donde se realizaría el estudio, c) elaboración del procedimiento del muestreo, d) ejecución de las mediciones y procesamiento de la información.

Material

Para el análisis del estado actual de las publicaciones y del objeto de investigación se efectuó una exhaustiva revisión bibliográfica, detección y extracción de información de valor sobre curvas de rendimiento en equipos de rayos X en un servicio médico de una institución hospitalaria, dando como resultado un número de artículos indexados en diferentes bases de datos, de los que se seleccionaron los más relevantes, los que constituyeron el material esencial usado para la investigación. Las temáticas que se tuvieron en cuenta para conformar la base científica de esta investigación fueron: análisis de las curvas de rendimiento de equipos de rayos X según características propias, los métodos de cálculo utilizados en la



obtención del rendimiento, con el fin de minimizar la exposición innecesaria a la radiación (optimización de la dosis) y asegurar imágenes de alta calidad para un diagnóstico preciso.

Métodos

La selección de la institución hospitalaria se efectuó teniendo en cuenta dos condiciones: que atendiera un alto número de pacientes y que contara con aval profesional y técnico en la atención de pacientes necesitados de exámenes de radiodiagnósticos. En función de estas condiciones se eligió el hospital Oncológico “Solca Manabí” el mismo ofrece servicios de radiodiagnóstico para la detección y tratamiento del cáncer, específicamente en la sala de radiodiagnóstico se cuenta con un sistema de rayos X telecomandado, un sistema de rayos X cielítico, un mamógrafo y un sistema de rayos X móvil. (Solca Manabí, 2023).

Para la elaboración de las curvas de rendimiento de los equipos objeto de estudio: el Rayos X cielítico, Rayos X telecomandado y Rayos X portátil se realizaron un total de 101 mediciones de dosis de radiación en un período de tres meses del año 2023. El equipo utilizado para las medidas fue un dosímetro de estado sólido marca Radcal, modelo AGP-P-RG, el cual consta de una sonda marca Radcal, modelo AGMS-D+el, con sensores de dosis de estado sólido, multisensores de estado sólido y sondas de corriente de Radcal, cuyo rango de medición es: dosis mínima 4 nGy- dosis máxima 15 Gy. Su calibración fue realizada por Radcal Corporation, laboratorio acreditado por ANAB (ANSI National Accreditation Board), cuya acreditación se realizó bajo la norma ISO/IEC 17025 Radcal Corporation, (2025).

El dosímetro de estado sólido se colocó sobre un soporte fijo a una distancia de 1 metro del punto focal, asegurando una alineación perpendicular entre el detector y el haz de rayos X. Las mediciones se realizaron en una sala con condiciones controladas de iluminación y temperatura, sin interferencias externas. Para cada equipo, se ajustaron valores específicos de voltaje (kV) y corriente-tiempo (mAs) según los parámetros técnicos recomendados por el protocolo, realizando tres mediciones repetidas por cada ajuste para garantizar la precisión de los datos recopilados.

Para las mediciones y el procesamiento estadístico de la información, se siguió el procedimiento previamente descrito. Se obtuvieron las medidas de los valores medios del rendimiento (uGy/mAs) y su desviación standard para cada voltaje aplicado en cada uno de



los equipos estudiados. Con los resultados del rendimiento (uGy/mAs) y el voltaje aplicado se evaluó la existencia de la correlación entre estas variables empleando el análisis de regresión lineal utilizando una hoja de cálculo en Excel y posteriormente se analizaron los resultados para su posterior interpretación.

Resultados

Los resultados de los valores medios del rendimiento y su desviación standard para cada equipo estudiado se muestran en la tabla 1.

Para el equipo de rayos X telecomandado se observan valores medios de rendimiento por cada uno de los voltajes aplicados que van desde 17,21 uGy/mAs con una desviación standard de 1,63 para 50 kVn hasta 87,64 uGy/mAs con desviación standard de 7,33 para 110 kVn.

El rendimiento para el Rayos X cielítico muestra valores desde 10,9 uGy/mAs con desviación standard de 0,74 para 50 kVn hasta 68,42 uGy/mAs con una desviación standard de 1,88 en 110 kVn.

Para el Rayos X portátil los valores de rendimiento obtenidos van desde 14,00 uGy/mAs con una desviación standard de 0,25 en 50 kVn hasta 79,58 uGy/mAs con desviación standard de 2,35 en 110 kVn.

Las curvas de regresión lineal entre las variables del rendimiento (uGy/mAs) y el voltaje (kVn), se muestran en las Figuras 1,2 y 3. Se observa el ajuste del modelo lineal con coeficientes de R^2 igual a 0,995 para el equipo de Rayos X telecomandado, un valor de R^2 igual 0,988 para el equipo de Rayos X cielítico y un valor de R^2 igual a 0,993 para el equipo de Rayos X portátil.

Análisis de los Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los valores de rendimiento y las curvas de rendimiento por equipo de rayos x.

Tabla 1

Valores de rendimiento por equipo de RX.

RAYOS X TELECOMANDADO			RAYOS X CIELÍTICO			RAYOS X PORTÁTIL		
kVn	Valor promedio (uGy/mAs)	Desviación standard (σ)	kVn	Valor promedio (uGy/mAs)	Desviación standard (σ)	kVn	Valor promedio (uGy/mAs)	Desviación standard (σ)
50	17,21	1,63	50	10,9	0,74	50	14	0,25
70	37,43	3,04	70	25,59	0,64	70	35,14	0,07
80	48,59	4,14	80	34,6	1,08	80	41,76	0,24
90	61,17	5,07	90	45,02	1,43	90	55,16	0,05
110	87,64	7,33	100	56,29	1,57	100	67,87	0,03
			110	68,42	1,88	110	79,58	2,35

Figura 1

Curva de rendimiento del equipo de rayos x telecomandado

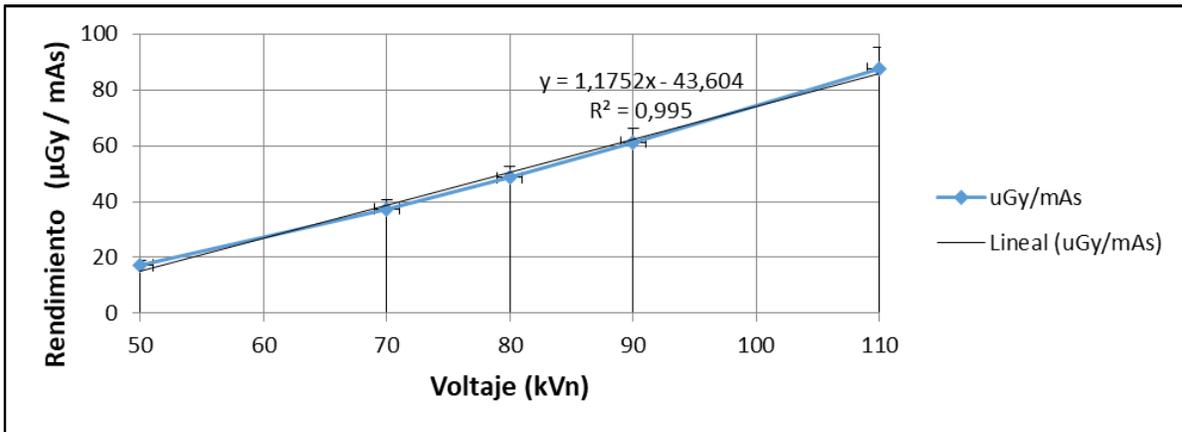


Figura 2

Curva de rendimiento del equipo de rayos x ciéltico

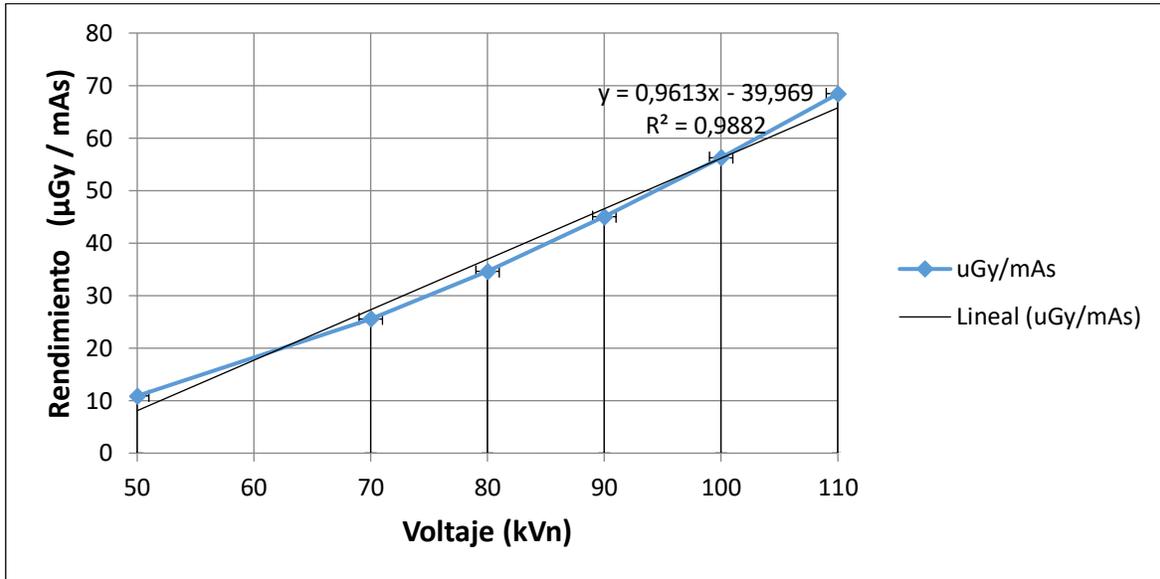
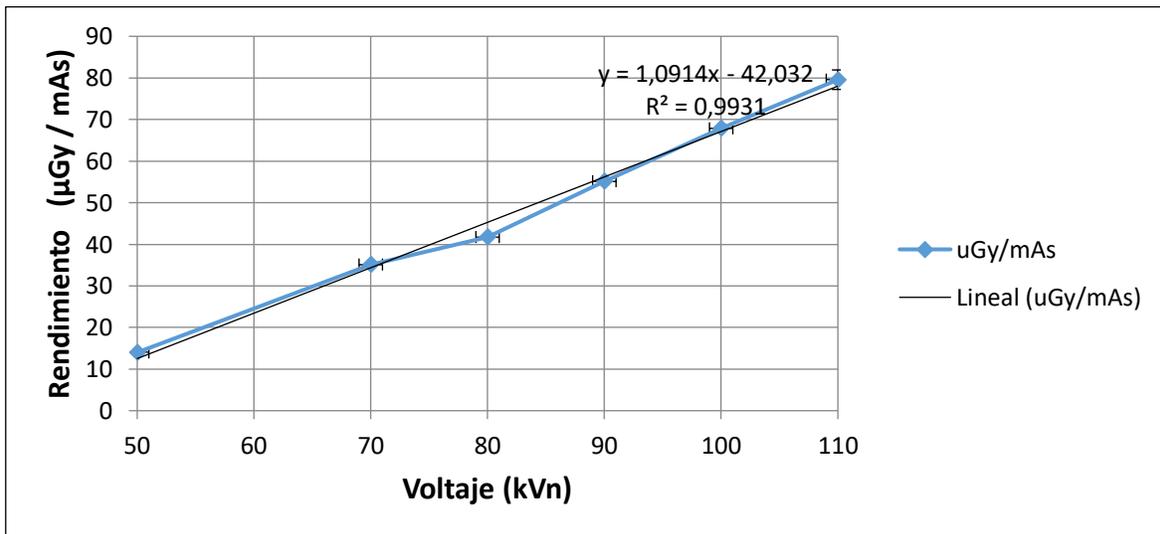


Figura 2

Curva de rendimiento del equipo de rayos x portátil



Discusión

Del análisis de los resultados del rendimiento para cada uno de los equipos se observa una variabilidad igual o menor del 10% para el equipo de Rayos X telecomandado, para el equipo Rayos X cielítico menor o igual al 7% y para el equipo de Rayos X portátil menor o igual al 3%, lo que indica poca variabilidad relativa, por lo que se considera que los datos están agrupados cerca de la media, reflejando una mayor consistencia de los mismos por lo que los resultados se consideran como óptimos en el contexto de la institución hospitalaria donde se desarrolla la investigación.

En cuanto a las curvas de regresión lineal entre las variables del rendimiento (uGy/mAs) y el voltaje (kVn), muestra un ajuste del modelo lineal con coeficientes de R^2 igual a 0,995 para el equipo de Rayos X telecomandado, un valor de R^2 igual 0,988 para el equipo de Rayos X cielítico y un valor de R^2 igual a 0,993 para el equipo de Rayos X portátil, lo cual demuestra que las variables: rendimiento y voltaje aplicado tienen una correlación alta asegurando que al ajustar un parámetro (voltaje), el resultado esperado (dosis de radiación) sea consistente asegurando que el equipo opera de manera controlada y dentro de los límites de seguridad garantizando una base sólida para el análisis y la optimización de las dosis en pacientes sometidos a distintos procedimientos de radiodiagnóstico.

Conclusiones

Las curvas de regresión lineal entre las variables rendimiento (uGy/mAs) y el voltaje (kVn) de cada equipo de rayos X mostraron una alta correlación: coeficientes de R^2 igual a 0,995 para el equipo de Rayos X telecomandado, un valor de R^2 igual 0,988 para el equipo de Rayos X cielítico y un valor de R^2 igual a 0,993 para el equipo de Rayos X portátil, con ello se verifica que los equipos emiten dosis adecuadas en todo el rango de operación garantizando una base sólida para el análisis y la optimización de las dosis en pacientes sometidos a distintos procedimientos de radiodiagnóstico.

Referencias bibliográficas

- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Recuperado de <https://www.icrp.org>
- Manabí, A. W. S. (2023, 1 mayo). Inicio. Solca Manabí | Núcleo de Portoviejo | Esperanza de Vida. Recuperado de <https://web2.solcamanabi.com/>
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2021). *Protocolo de Control de Calidad para Radiodiagnóstico en América Latina y el Caribe (ARCAL)*. Recuperado de <https://www.iaea.org>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Directrices de seguridad en radiodiagnóstico médico. Recuperado de <https://www.who.int>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). Medical imaging and nuclear medicine: a WHO manual to improve services. Recuperado de <https://www.who.int>
- Radcal Corporation. (2025). Solid-state dosimeter. Radcal Corporation. Recuperado el 10 de enero de 2025, de <https://radcal.com/sensors-overview/>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.