



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad de Ciencias e Ingenierías

Departamento de Física

“Año de la Reconciliación”

Seminario de Graduación para optar al Título de Licenciatura en Física con mención en Física Médica.

Tema: Estudio comparativo de sistemas dosimétricos para control de calidad de equipos de Rayos X.

Sub tema: Análisis de resultados obtenidos con tres sistemas de medición del laboratorio de control de calidad y monitoreo (LCM) utilizados en controles de calidad de equipos de Rayos X en el periodo Enero-Marzo 2019.

Autoras:

- Br. Brittney Loy Henriquez Kelly.
- Br. Cinthya Karina Pineda Ortiz.
- Br. Keillin Amelia Reyes Ayala.

Tutor: MSc. Norma Roas Zúniga.

Asesor: Dr. Byron González.

Managua, 21 de Marzo 2019

Dedicatoria

Dedicamos principalmente a Dios, por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que dábamos, por iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestros soportes y compañías durante todo el periodo de nuestros estudios.

A nuestros padres por su amor, comprensión y apoyo a lo largo de este proceso, por motivarnos día a día a cumplir nuestras metas.

A nuestros docentes por el conocimiento que nos brindaron a lo largo de nuestro proceso de aprendizaje.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios por ser nuestro aliento y nuestro guía. Por regalarnos la fortaleza de seguir adelante y culminar nuestro trabajo de investigación.

A nuestros padres por motivarnos día a día a salir adelante. Por brindarnos su confianza y admiración durante este proceso.

A todas las personas que nos asesoraron y brindaron información para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

Managua, Nicaragua
12 de abril del 2019

Dr. Noel Zelaya
Director
Dpto. de Física
Facultad de Ciencias e Ingeniería

Estimado Dr. Zelaya

Por este medio estoy haciendo llegar mi valoración como tutora del seminario de graduación realizado por las Bachilleres: Br. Brittney Loy Henríquez Kelly, Br. Cinthya Karina Pineda Ortiz, Br. Keillin Amelia Reyes Ayala, dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos en el reglamento estudiantil vigente.

El mismo lleva como nombre “Análisis de resultados obtenidos con tres sistemas de medición del laboratorio de control de calidad y monitoreo (LCM) utilizados en controles de calidad de equipos de Rayos X en el periodo Enero - Marzo 2019”, ha dejado como aporte al Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo una validación del desempeño de los equipos medidores utilizados en los ensayos, esto fortalece el sistema de gestión de calidad implementado en el LAF-RAM.

Las estudiantes han dedicado esfuerzo en la elaboración de las mediciones y el análisis de los resultados. Agradezco su gestión para la defensa del trabajo y la valoración final del mismo por parte del Comité Académico Evaluador.

Sin más por el momento agradezco la ocasión para saludarlo,

Atentamente,



MSc. Norma Alejandra Roas Zúniga
Tutora
Docente Dpto. Física
UNAN-Managua

Resumen

El trabajo de investigación se realizó en base a la metodología de estudio de tipo experimental, Siguiendo una guía de práctica para la realización de un control de calidad a un equipo de Rayos x convencional, se logró obtener los parámetros deseados para la comparación de las lecturas.

La investigación tuvo como propósito desarrollar un análisis comparativo de las mediciones realizadas con los tres sistemas dosimétricos: Diavolt, Nomex y Radcal. Tomando como referencia las mediciones realizadas con el sistema Radcal, ya que este último es el único que cuenta con un certificado de calibración vigente.

Teniendo para tensiones nominales de 50, 60,80 y 90 kV. El sistema de medición Nomex (50 kV) 1.6%; (60kV) 0.5%; (80kV) 0.9%;(90kV) 1.2%. En cambio, el sistema de medición Diavolt posee 1.4% para 50 kV, 1.8% para 60 kV, 5.2% para 80 kV y 2.2% para 90 kV. Observando que para tensiones de 50 kV el sistema Diavolt posee mayor exactitud. En el caso de los tiempos de exposición, el sistema Nomex posee un 1.5% para tiempos de 0.1s; 0.15% para tiempo de 0.2s; 0.16% para tiempos de 0.32s. Diavolt posee para 0.1s un porcentaje del 0.8%; 0.2s un 0.45%; para 0.25s un 0.28%; 0.32s un 0.19%, observando que Diavolt posee mayor exactitud para tiempos de 0,1s.Obteniendo para el kerma en aire, sistema Nomex (50 kV) 0.1%; (60kV) 0.1%; (80kV) 0.5%; (90kV) 0.3%. En cambio, el sistema de medición Diavolt posee 0.6% para 50 kV, 0.3% para 60 kV, 0.2% para 80 kV y 0.8% para 90 kV. Estos resultados se obtuvieron mediante las desviaciones de cada parámetro para cada sistema.

Los resultados obtenidos mediante el factor de relación, revelan un valor que al multiplicarse por las lecturas de los sistemas a comparar este se iguala al valor de la referencia, obteniendo que el factor de relación para la tensión para Nomex es de 1.019 y para el Diavolt es de 0.999; para el tiempo de exposición para Nomex es de 0.999 y para Diavolt 0.998 y el factor de relación para el Kerma en aire del Nomex es de 0.999 y para Diavolt es de 0.976.

Índice

1	Introducción.....	7
1.1	Justificación.....	8
1.2	Objetivos	9
	Objetivo General:	9
	Objetivos Específicos:	9
2.	Desarrollo del Subtema	10
2.1	Marco Legal.....	10
2.1.1	Normativa nacional vigente	10
2.2	Marco teórico.....	11
2.2.1	Sistema de medición.....	11
2.2.2	Características de los sistemas de medición del LAF - RAM.....	11
2.3	Control de calidad de equipo de rayos x convencional.	13
2.4	Calibración para Sistemas de medición.....	14
2.5	Factor de corrección	14
3	Diseño Metodológico.....	15
4	Análisis e interpretación de los resultados	17
5.1	Conclusiones.....	26
6.1	Bibliografías	27
7.1	Anexo	28

1 Introducción

La calibración de los sistemas dosimétricos es crucial, ya que con estos sistemas se realizan pruebas de aceptación para equipos generadores de Rayos X, por lo tanto es importante que cumplan con los servicios en metrología de radiaciones ionizante para disminuir así el riesgo al paciente y personal ocupacionalmente expuesto.

La presente investigación se llevó a cabo a través de un plan de trabajo y de mediciones con tres sistemas dosimétricos, en el equipo de rayos X convencional del Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del LAF-RAM.

Los parámetros obtenidos en las mediciones son: Tensión este parámetro mide la diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo, tiempo de exposición es el tiempo de irradiación establecido y Kerma que se refiere a la energía cinética liberada en la materia.

La finalidad de la realización de esta investigación es verificar si los datos obtenidos con el Diavolt y el Nomex son metrológicamente confiables para su utilización en los controles de calidad que se realizan en el LCM, proporcionando datos para un posterior análisis de tendencia de los mismos, lo cual permitirá verificar el correcto funcionamiento de dicho equipos.

1.1 Justificación

En radiología diagnóstica es importante el uso correcto de los equipos de Rayos X convencional, Por lo tanto, es de suma importancia que estos equipos cumplan con niveles de tolerancia para los parámetros medidos establecidas a nivel nacional. Para lograr un buen funcionamiento, es necesario que los parámetros físicos de dicho equipo sean medidos o comparados con sistemas que tengan un certificado de calibración vigente, para así constatar que el equipo generador de Rayos X cumple con las tolerancias establecidas al momento de realizarse el control de calidad.

El propósito de esta investigación es demostrar la confiabilidad de los resultados obtenidos por los sistemas dosimétricos con certificado de calibración no vigente (Nomex y Diavolt), comparando las lecturas con el sistema dosimétrico de referencia Radcal, el cual consta con certificado de calibración vigente, esto para verificar que los parámetros medidos por los sistemas sean aceptables para constatar que el equipo generador de Rayos X cumple correctamente con los parámetros establecidos para así evitar sobre exposición al paciente.

Por lo anterior descrito consideramos necesario la realización de este estudio el cual nos permite evaluar cuál de estos tres sistemas cumple con los parámetros establecidos para realizar un adecuado control de calidad y pruebas de aceptación a equipos de Rayos X, además que este estudio permitirá al (LCM) del LAF-RAM contar con una base de información más alta y confiable, sobre este tema pudiendo ser el punto de partida para la elaboración de nuevas estrategias.

1.2 Objetivos

Objetivo General:

- ✚ Comparar los resultados de tres sistemas de medición (PTW Nomex, PTW Diavolt, Radcal model 9010) del LCM tomando como referencia el equipo con certificado de calibración vigente (Radcal model 9010) para el posterior análisis de tendencia.

Objetivos Específicos:

- ✚ Identificar las características o especificaciones técnicas de tres sistemas de medición (Radcal model 9010, PTW Diavolt, PTW Nomex), considerados para el análisis.
- ✚ Realizar mediciones de tiempo exposición, kerma, y tensión en el equipo de Rayos X convencional en el LCM.
- ✚ Determinar el factor de relación para los dos sistemas de medición los cuales son Diavolt y Nomex con respecto al Radcal.

2. Desarrollo del Subtema

2.1 Marco Legal

2.1.1 Normativa nacional vigente

En la República de Nicaragua el uso de radiaciones ionizante se rigen bajo la Ley 156 aprobado el 23 de Marzo de 1993 y publicado en La Gaceta No. 73 del 21 de Abril de 1993; *que tiene como objetivo regular, supervisar y fiscalizar todas actividades relacionadas con el uso de radioisótopos y radiaciones ionizante en sus diversos campos de aplicación, a fin de proteger la salud, el medio ambiente y los bienes públicos y privados.* (Nicaragua, 1993) La cual está establecida en el **capítulo I, artículo 1** de dicha ley.

El uso de radiaciones ionizante debe de seguir el reglamento técnico de protección contra las radiaciones ionizantes de manera obligatoria que está establecido para toda persona o empresas privadas y estatales que realicen prácticas con radiaciones ionizantes; cabe destacar que toda instalación de equipo generadores de Rayos X deben seguir los requisitos de las normativas nacionales e internacionales que se basan mediante una guía para implementación del reglamento técnico de protección contra radiaciones ionizantes la cual tiene como objetivo indicar al usuario como debe implementar dicho reglamento, además de la guía propia para la solicitud de autorización para la práctica de radiológica diagnostica e intervencionismo.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Sistema de medición.

La evaluación y definición de los sistemas de medición consiste en determinar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de estabilidad, repetibilidad, reproducibilidad, linealidad y exactitud. Un sistema de medición es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición, software y personal definido para asignar un número a la característica que está siendo medida.

2.2.2 Características de los sistemas de medición del LAF - RAM.

a). *NOMEX*

PTW NOMEX es un instrumento de medición empleado para ser utilizado en dosimetría absoluta y control de calidad en radiología de diagnóstico de Rayos X, es fabricado en Friburgo, Alemania por la compañía de tecnología médica PTW. Nomex es empleado para modalidades admitidas como: radiografía, fluoroscopia, 3D dental, mamografía panorámica y Tomografía computarizada; posee precisión superior y excelente resolución. Mide corrección automática de la densidad del aire, rango automático de dosis, kV y filtración total, detección automática HVL y tiempo de exposición. (GmbH, 2012)

Exactitud de la dosis dentro del rango RAD/FLU, típicamente $\pm 1.5\%$, dentro del rango MAM $\pm 2.5\%$ y exactitud kV dentro del rango RAD/FLU típicamente $\pm 0.7\%$ ó ± 0.5 kV

Está diseñado para ser utilizado de manera independiente o combinado. Se compone de un dosímetro de alto rendimiento que posee excelente precisión ($\pm 2\%$) y excelente resolución. Cuenta con un software que evalúa datos estadísticos rápido y fácil, también dicho sistema cuenta con un multímetro el cual es utilizado para realizar prueba de aceptación y mediciones de control de calidad de rutina en unidades de Rayos X de diagnóstico de acuerdo con la IEC61674.

Para el sistema de medición Nomex, el rango para tensiones es de 40 a 150 kV, tiempo de exposición 1mS a 298h y el Kerma es de 50 nGy a 298 Gy.

b). DIAVOLT

La familia de medidores DIAVOLT fue desarrollada para combinar fácil desempeño con alta precisión de mediciones en diferentes aplicaciones de Rayos X. Su diseño multipropósito permite al usuario medir la cantidad de IEC "voltaje pico práctico", así como el kVp, la dosis y el tiempo de forma no invasiva, dependiendo de sus necesidades puede elegir entre una gama de modelos. Puede ser utilizado para pruebas de aceptación como para rutinas de control de calidad en radiografía, fluoroscopio, radiografía dental, tomografía computarizada y mamografía. Al igual que NOMEX es fabricado en Friburgo, Alemania. (GmbH, 2018)

Para el sistema de medición Diavolt, el rango para tensiones es de 40 a 150 kV, tiempo de exposición 0.3 ms a 999 s y el Kerma es de 50 μ Gy a 50 Gy.

c). RADCAL MODEL 9010

El modelo 9010 de Radcal es un instrumento de monitoreo de radiación que puede utilizar amplia cámara iónicas Radcal. Las aplicaciones típicas incluyen directas mediciones de haz para radiografía de diagnóstico, mamografía, fluoroscopio, cine y TC, así como campos de radiación gamma. (Manager, 2013), dicho equipo mide con una exactitud de $\pm 4\%$ y repetibilidad de $\pm 1\%$.

La función de medición tiene la opción de seleccionar en el menú los elementos predeterminados que son Tasa de dosis, Dosis, Auto dosis y apagado. Radcal es fabricado en Monrovia California por RADCAL Corporation.

Para el sistema de medición Radcal model 9010, el rango para tensiones es de 40 a 160 kV, tiempo de exposición 5 ms a 6.5 s y el Kerma es de 0.1 μ Gy a 20 kGy.

2.3 Control de calidad de equipo de rayos x convencional.

El control de calidad consiste en realizar pruebas no invasivas para verificar el estado de funcionamiento de un equipo de Rayos X, así como la adecuada verificación entre los valores indicados y medidos de los parámetros del equipo, que son de utilidad para la obtención de la imagen radiográfica.

Asimismo, permite conocer el nivel de seguridad y estabilidad del equipo, la exactitud y Repetibilidad de los parámetros que caracterizan el haz de Rayos X, para optimizar las dosis recibidas por los pacientes durante los estudios.

Las pruebas de control de calidad se deben practicar a los equipos convencionales según la guía para implementación del reglamento técnico de protección contra radiaciones ionizantes vigente en el país, al momento de su obtención y una vez instalado es preciso someterlo a una serie de pruebas para su aceptación, con el objetivo de establecer si su operación inicial se ajusta a las m especificaciones del fabricante, estas pruebas se realizan mediante un sistema dosimétrico que determina si dicho equipo está apto para su uso y así lograr un excelente funcionamiento, optimizando así el riesgo del personal ocupacionalmente expuesto, paciente y público en general. Para su instalación se debe tener en cuenta que la disponibilidad del espacio es la suficiente para los requerimientos del equipo y que se consideren las fuentes de energía eléctrica y los factores ambientales tales como temperatura y humedad. Paralelamente, deben efectuarse pruebas de referencia que aporten datos para comparar su operación posterior mediante pruebas rutinarias las cuales se ejecutan con una determinada periodicidad según el tipo de prueba y el parámetro que controla. Finalmente, es necesario verificar las operaciones del equipo antes del inicio de su labor diaria. Los registros de los resultados de las pruebas deben conservarse para poder detectar las deficiencias cuando estas se presenten, indicando la acción correctiva adecuada. (Henostroza, 2015) .

2.4 Calibración para Sistemas de medición

Los dosímetros utilizados para medir la radiación ionizante en laboratorios y hospitales deben calibrarse basados en una norma nacional o internacional para asegurar que los resultados de la medición sean compatibles con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Esto deber realizarse en un laboratorio de calibración dosimétrica acreditado. El laboratorio del OIEA cumple con los requisitos antes mencionados el kit dosimétrico que se utilizará como referencia fue calibrado en dicho laboratorio, esto garantiza la trazabilidad de las mediciones

Una dosimetría de las radiaciones exactas es fundamental en radiología diagnóstica para la optimización de la formación de imágenes radiológicas. Para que la dosimetría de las radiaciones sea exacta, se necesita dosímetros calibrados. Los servicios de calibración del Laboratorio del OIEA se emplean para mediciones dosimétricas en radioterapia, radiodiagnóstico y protección radiológica. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2019)

Además, el OIEA también realiza comparaciones bilaterales con laboratorios nacionales de calibración para evaluar su rendimiento. Esto garantiza que los niveles de dosis determinados puedan compararse a escala internacional con los resultados obtenidos en otros países.

2.5 Factor de Relación

El factor de Relación es una constante que ajusta valor resultante de un cálculo determinado, son usados para adecuar indicadores que sufren alteraciones debido a variables no consideradas inicialmente durante la recolección de información.

3 Diseño Metodológico

3.1.1 Tipo de investigación según su alcance y desarrollo

En el caso de la presente investigación, se ha conformado un diseño descriptivo, experimental y analítico. Pues en el mismo, se describen las características de los sistemas dosimétricos utilizados durante la práctica.

Experimental porque se realizaron mediciones con tres sistemas dosimétricos diferentes. Analítico porque se realizará un análisis de los resultados obtenidos durante el procedimiento.

3.1.2 Tipo de investigación según el tiempo de realización

Según su profundidad es de tipo transversal porque se tomó en el periodo de tiempo de enero a marzo del año 2019.

3.1.3 Población y muestra

Población: 3 sistemas dosimétricos para control de calidad de Rayos X convencional.

Muestra: Debido a que la población es finita y medible se decidió tomar al 100% de la misma como muestra.

3.1.4 Metodología

La investigación se desarrolló a través del siguiente procedimiento:

Se posicionaron los dosímetros Radcal, Nomex, Diavolt sobre la mesa. (Cada uno de ellos por separados, en su debido tiempo).

Posteriormente se colocó el tubo de Rayos X a una distancia de 100 cm, con respecto a los dosímetros antes mencionados. Definiendo así cuatro valores de kV (50, 60, 80,90), con un tiempo constante de 0.1s. Escogiendo tres valores de corriente del tubo comúnmente utilizadas (50, 100,200)mA.

Luego se ajustó el tamaño y centro del campo, al área útil del medidor del kV. Para obtener así kV, Tiempo de exposición y Kerma medido por los sistemas dosimétricos. Obteniendo tres valores para cada intensidad para posterior realizar un promedio de ellos. Luego se realizó una comparación de los valores obtenidos con cada uno de ellos. Dicha comparación se muestra mediante una serie de tablas, gráficos y ecuaciones que determina las posibles diferencias entre un sistema y otro.

Para la medición del tiempo de exposición se mantuvo constante la tensión a 80 kV, variando así la intensidad de corriente a 200 mA para un tiempo nominal de 0.1, posteriormente variando la intensidad de corriente a 125 mA para tiempos nominales de 0.2, 0.25, 0.32 s.

Calculando a partir de los valores obtenidos el factor de relación para la tensión del tipo, kerma en aire y tiempo de exposición, mediante la siguiente ecuación [2]:

$$\text{factor de relacion} = \frac{\bar{X}_{\text{sis.Referencia}}}{\bar{X}_{\text{sis. a Comparar}}}$$

Donde:

\bar{X} Es el promedio.

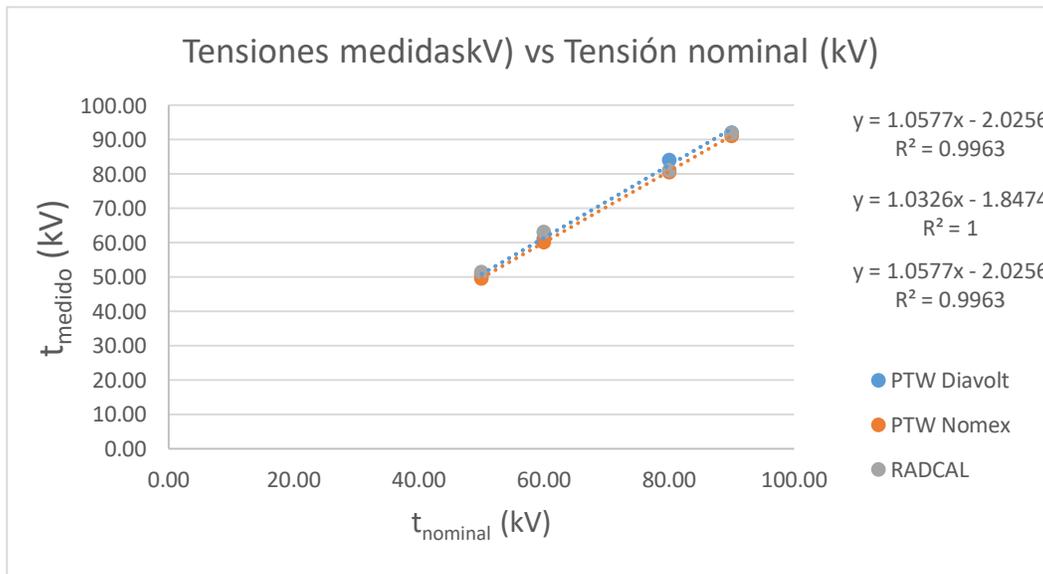
4 Análisis e interpretación de los resultados

Para dar cumplimiento a los objetivos de la presente investigación se realizó una serie de mediciones con tres sistemas dosimétricos distintos la cual nos arrojó los siguientes resultados.

Tabla 1. Tensión nominal y tensiones medidas para cada sistema dosimétrico.

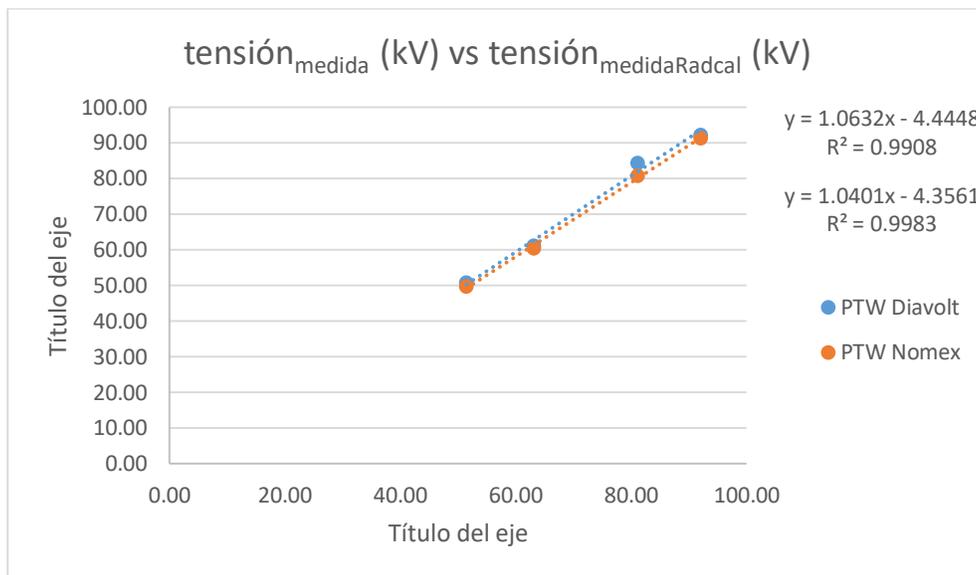
U_{nominal} (kV)	$U_{\text{medidoDIAVOLT}}$ (kV)	$U_{\text{medidoNomex}}$ (kV)	$U_{\text{medidoRADCAL}}$ (kV)
50	50.70	50.08	51.43
60	61.10	60.27	63.12
80	84.22	80.66	81.10
90	92.02	91.12	91.98

Tabla 1. Se muestra los promedios de las tensiones de los tres sistemas dosimétricos obtenidas a partir de las mediciones realizadas en el laboratorio de control de calidad y monitoreo (LCM).



Grafica 1.1 Tensiones medida vs tensión nominal

En la gráfica 1.1 Se muestran las tensiones medidas por los tres sistemas de medición en función de la tensión nominal, observando que poseen un comportamiento lineal, siendo estas directamente proporcionales; es decir que a medida que aumenta la tensión nominal también aumenta las tensiones medidas según el valor proporcionado por el coeficiente de correlación Nomex posee una alta exactitud.



Grafica 1.2. Tensiones medidas con dos sistemas dosimétricos (Diavolt y Nómex) vs tensión medida por el sistema de referencia (Radcal).

En la gráfica 2.2. Se muestra la comparación de los resultados obtenidos con dos sistemas de medición en función de la tensión medida por el sistema de referencia, observando que al igual que la gráfica anterior [1.1] presenta un comportamiento lineal, siendo directamente proporcional ya que a medida que la tensión de referencia aumenta las tensiones medidas también.

Comparando la exactitud de las tensiones calculada para los valores obtenidos de los sistemas Nomex y Diavolt, se observó que Diavolt se iguala más para tensiones de 60,80 y 90 kV en comparación a Nomex, tomando como referencia los resultados obtenidos por Radcal model 9010. Esto se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tabla de la desviación estándar para las tensiones

	Nomex	Diavolt	Radcal
U_{nominal}(kVp)	Desv	Desv	Desv
50	1.6%	1.4%	2.8%
60	0.5%	1.8%	5.2%
80	0.9%	5.2%	1.4%
90	1.2%	2.2%	2.2%

Comparando las desviaciones de los tres sistemas dosimétricos se observó que, ninguno de los tres sistemas supera la tolerancia $< \pm 10\%$ para la exactitud de la tensión.

Comparando las gráficas de las tensiones medidas con cada uno de los sistemas dosimétricos, en función a las tensiones nominales dadas por el equipo; y calculando la exactitud mediante la [ecuación 1], se logró observar que el sistema de mediciones Nomex posee mayor exactitud para tensiones de 60, 80,90 kV y el sistema Diavolt posee una mayor exactitud para tensiones de 50 kV, puesto que se aproxima más a las tensiones dada por el equipo de Rayos X, es decir la tensión nominal.

Tabla 3. Factor de relación (para multiplicar por la lectura).

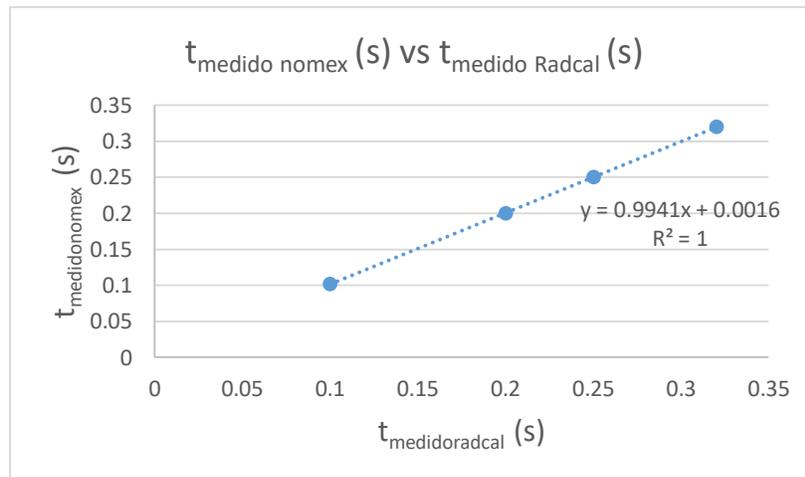
U_{nominal} (kV)	Radcal 9010	PTW DIAVOLT	PTW Nomex
	U _{medido} (kV)	U _{medido} (kV)	U _{medido} (kV)
50	51.43	50.7	50.08
60	63.1	61.1	60.3
80	81.1	84.2	80.7
90	92.0	92.0	91.1
Factores de relación para multiplicar por la lectura		0.999	1.019

En la **tabla 3**. Se encuentra plasmado el promedio de las tensiones medidas para cada sistema, observando así las variaciones de dichas tensiones. Esto se logró observar mediante el cálculo de factor de relación, el cual se obtuvo dividiendo el promedio de la media de los valores del sistema utilizado como referencia entre las medias de los valores de los sistemas a comparar (Diavolt, Nomex) ecuación [2]. Para que al multiplicar por lectura los valores de los sistemas con certificado no vigentes se asemejen a los valores del sistema de referencia.

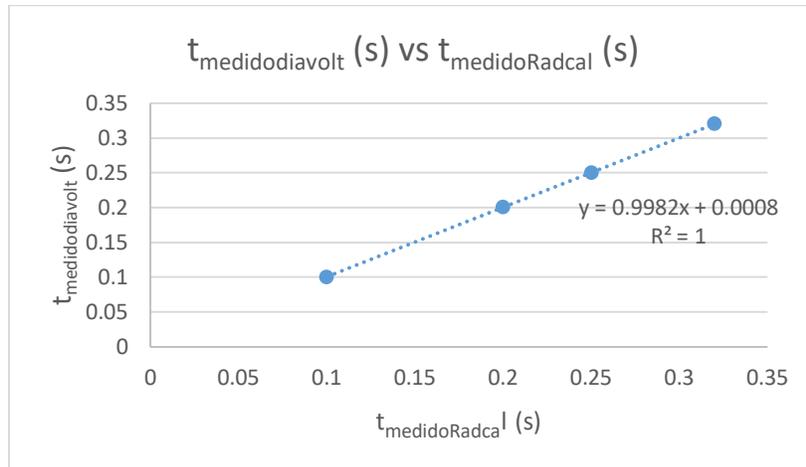
Tabla 4. Tiempo de exposición nominal y tiempo de exposición medido para cada sistema dosimétrico.

$t_{\text{nominal}}(\text{s})$	Nomex $t_{\text{medido}}(\text{s})$	Diavolt $t_{\text{medido}}(\text{s})$	Radcal $t_{\text{medido}}(\text{s})$
0.10	0.1015	0.1008	0.1002
0.20	0.2003	0.2009	0.2003
0.25	0.2504	0.2507	0.2504
0.32	0.3203	0.3206	0.3203

En la tabla 4. Se muestra los valores del tiempo de exposición nominal, al igual que los promedios de los tiempos medidos por cada uno de los sistemas dosimétricos (Diavolt, Nomex, Radcal).



Grafica 4.1 tiempo de exposición medido Nomex vs tiempo de exposición Radcal.



Gráfica 4.2 tiempo de exposición medido Diavolt (s) vs tiempo de exposición Radcal (s)

Observaciones

En las gráficas 4.1 y 4.2, se muestra que poseen un comportamiento lineal, manifestando que el tiempo de exposición medido por el sistema Nomex y Diavolt son directamente proporcionales al tiempo de exposición del Radcal, la gráfica 4.4.1 obedece a la ecuación $y = 0.9941x + 0.0016$ y la gráfica 4.2 obedece a la ecuación $y = 0.9982x + 0.0008$.

Tabla 5. Desviación de los tiempos de exposición medidos por los sistemas dosimétricos.

$t_{\text{nominal}} \text{ (s)}$	Nomex	Diavolt	Radcal
	Desv	Desv	Desv
0.1	1.5%	0.8%	0.2%
0.2	0.15%	0.45%	0.15%
0.25	0.16%	0.28%	0.16%
0.32	0.09%	0.19%	0.09%

Se observa las desviaciones de cada uno de los sistemas, mostrando que las desviaciones para los tiempos del Nomex, posee mayor similitud con respecto al tiempo de exposición del sistema Radcal para tiempos de 0.2, 0.25, 0.32 (s).

Tabla 6. Factor de relación para tiempo de exposición medido.

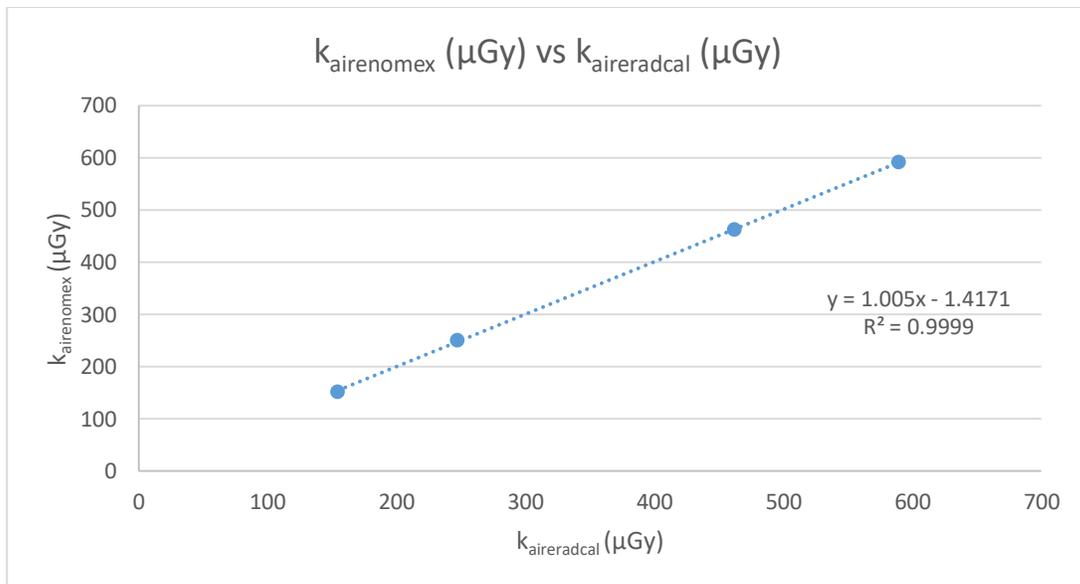
t_{nominal} (s)	Radcal 9010	PTW DIAVOLT	PTW Noméx
	t_{medido} (s)	t_{medido} (s)	t_{medido} (s)
0.1	0.1002	0.1008	0.1015
0.2	0.2003	0.2009	0.2003
0.25	0.2504	0.2507	0.2504
0.32	0.3203	0.3206	0.3203
Factores de relación para multiplicar por la lectura		0.998	0.999

En la **tabla 6**. Se presenta el promedio de los tiempos de exposición para cada sistema, observando que la variación que existe entre los sistemas Diavolt, Nomex y Radcal. Esto al igual que las tensiones se logró mediante el cálculo de factor relación el cual se obtuvo dividiendo el promedio de la media de los valores del sistema utilizado como referencia, entre las medias de los valores de los sistemas a comparar (Diavolt, Nomex). Para que al multiplicar por lectura los valores de los sistemas con certificado caducos se asemejen a los valores del sistema de referencia.

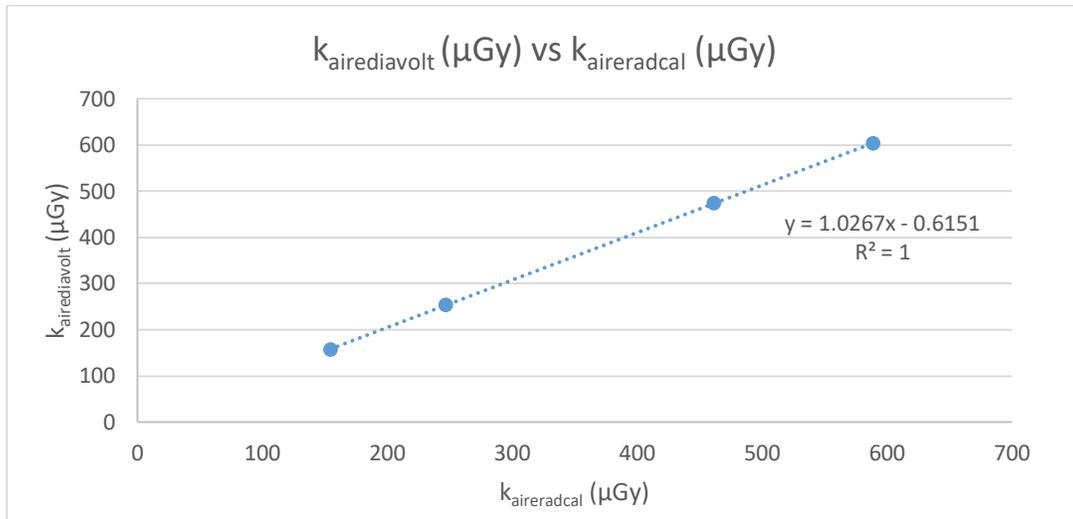
Tabla 7. Factor de relación para el kerma.

U_{nominal} (kV)	I (mA)	Radcal 9010	PTW DIAVOLT	PTW Nomex
		media K_{aire} (μGy)	media K_{aire} (μGy)	media K_{aire} (μGy)
50	100	154.4	156.7	151.7
60		246.9	254.0	249.7
80		461.7	474.5	461.6
90		589.2	603.3	590.8
Factores de relación para multiplicar por la lectura			0.976	0.999

En la tabla 7. Se presenta una muestra del promedio del kerma en aire para cuatro tensiones diferente (50, 60, 80,90) kV con una misma intensidad de corriente (100 mA), observando de los promedios que existe una variación al comparar ambos sistemas con certificado no vigente, Radcal conociendo que es el sistema con certificado vigente, por lo tanto, sus valores son tomados como referencia. Al igual que en la tensión y el tiempo de exposición este factor de relación se obtuvo dividiendo el promedio de la media de los valores del sistema utilizado como referencia entre las medias de los valores de los sistemas a comparar (Diavolt, Nomex). Para que al multiplicar por lectura los valores de los sistemas con certificado no vigente se asemejen a los valores del sistema de referencia.



Grafica 7.1 kerma en aire del sistema dosimétrico Nomex en función del kerma en aire del sistema Radcal.



Grafica 7.2 kerma en aire del sistema dosimétrico Diavolt en función del kerma en aire del sistema Radcal.

En la gráfica 4.7.1 y 4.7.2 se observa que poseen un comportamiento lineal, y son directamente proporcionales entre sí, obedeciendo la ecuación $y=1.005x-1.4171$ para la graficas 4.7.1 y la ecuación $y=1.0267x - 0.6151$.

Tabla 8. Desviación del kerma en aire medido por los sistemas dosimétricos.

Noméx Desv K _{aire} (μGy)	Diavolt Desv K _{aire} (μGy)
0.1%	0.6%
0.1%	0.3%
0.5%	0.2%
0.3%	0.8%

A partir de los cálculos obtenidos de la desviación para el kerma de los sistemas dosimétricos se observa en la tabla 8. Que al comparar los resultados de los mismos, Nomex cuenta con una mayor exactitud en desviación con respecto al sistema de medición Diavolt.

5.1 Conclusiones

Se identificaron las características o especificaciones técnicas para cada sistema tales como la tensión, tiempo de exposición y kerma en aire, entre otras, el NOMEX en general Se compone de un dosímetro de alto rendimiento que posee excelente precisión ($\pm 2\%$) y excelente resolución, RAD CAL mide con una exactitud de $\pm 3\%$ y repetibilidad de $\pm 1\%$. DIAVOLT tiene una precisión de $\pm 2\%$.

Se obtuvo una muestra de valores medidos por dichos sistemas, teniendo así el resultado del factor de relación para los sistemas de medición Diavolt y Nomex. Obteniendo que el factor de relación para la tensión para Nomex es de 1.019 y para el Diavolt es de 0.999; para el tiempo de exposición para Nomex es de 0.999 y para Diavolt 0.998. y el factor de relación para el Kerma en aire del Nomex es de 0.999 y para Diavolt es de 0.976. En todos los casos el factor de relación es aproximadamente igual a uno.

Al analizar y comparar las lecturas obtenidas con Nomex y Diavolt con respecto a las lecturas de la Radcal, se llegó a la conclusión que la variación de los sistemas es mínima no superando el 6%, este valor se obtuvo mediante el cálculo de las desviaciones de los sistemas. Cumpliendo con el objetivo de comparar los resultados de tres sistemas de medición para el posterior análisis de tendencia y verificar que estos sistemas son confiables metrológicamente.

6.1 Bibliografías

1. Normas jurídicas de Nicaragua. (1993). *Ley 156 para radiaciones ionizante*.
2. Minsa. (2011). *Reglamento técnico de protección contra las radiaciones ionizantes de la Republica de Nicaragua*.
3. Minsa. (2011). *Reglamento técnico de protección contra las radiaciones ionizante*.
4. IAEA. (2013). *Calibración de patrones de referencia utilizados para mediciones dosimétricas*.
5. GmbH. (2018). *PTW*. Retrieved from http://www.ptw.de/diavolt_qc_meters.html
6. GmbH, D. P. (2012, julio). *environmental-expert*. Retrieved from https://www.environmental-expert.com/files/77167/download/454830/NOMEX_T11049_FW1-1_SW1-1_Man_en_90913100_02.pdf
7. Henostroza, M. M. (2015, Diciembre 2). *control de calidad en radiologia* . Retrieved from <http://controlcalidadradiologia.blogspot.com/2015/12/control-de-calidad-en-radiologia.html>
8. Manager, Q. (2013, Agosto). *Model 9010 Radiation Monitor Controller Manual - Radcal*. Retrieved from <http://radcal.com/rdclwp/wp-content/uploads/2016/11/9010manual.pdf>
9. Organismo Internacional de Energía Atómica. (2019). *Calibración de patrones de referencia utilizados para mediciones dosimétricas*. Retrieved from <https://www.iaea.org/es/servicios/calibracion-de-patrones-de-referencia-utilizados-para-mediciones-dosimetricas>
10. ubeda, c. (2018). *Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo*. Retrieved from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082018000100005

7.1 Anexo

$U_{nominal}(kV)$	$I(mA)$	$t_{nominal}(s)$	$Q(mAs)$	$U_{max}(kV_{max-medio})$	$t_{medido}(s)$	$K_{aire}(\mu Gy)$
50	50	0.1	5	50.1	0.1010	75.94
				50.0	0.1010	76.79
				51.1	0.1010	75.94
	100		10	50.1	0.1010	151.5
				50.1	0.1010	151.6
				49.6	0.1010	151.9
	200		20	50.1	0.1010	309.8
				49.4	0.1010	310.9
				51.1	0.1010	310.2
60	50	0.1	5	60.4	0.1015	124.4
				60.3	0.1010	124.1
				60.4	0.1015	123.4
	100		10	60.4	0.1010	249.5
				60.3	0.1010	249.7
				60.3	0.1010	250.0
	200		20	60.1	0.1010	501.8
				60.0	0.1010	498.5
				60.2	0.1010	499.7
80	64	0.1	6.4	81.0	0.1015	304.6
				80.6	0.1015	307.0
				81.0	0.1020	301.8
	100		10	80.6	0.1015	459.9
				80.6	0.1015	464.1
				80.6	0.1015	460.8
	200		20	80.6	0.1010	920.4
				80.3	0.1015	915.8
				80.6	0.1015	922.5
90	64	0.1	6.4	91.4	0.1020	389.0
				91.4	0.1020	388.4
				91.3	0.1015	382.8
	100		10	91.2	0.1015	589.6
				91.2	0.1020	590.0
				91.2	0.1015	592.7
	160		16	90.8	0.1015	952.8
				90.8	0.1015	952.9
				90.8	0.1015	948.1

Tabla 7.1 Recolección de datos para el sistema de medición Nomex

$U_{nominal}(kV)$	$I(mA)$	$t_{nominal}(s)$	$Q(mAs)$	$U_{max}(kV_{max-medio})$	$t_{medido}(s)$	$K_{aire}(\mu Gy)$
50	50	0.1	5	51.0	0.1011	80.3
				51.1	0.1001	80.2
				51.0	0.1001	78.4
	100		10	50.8	0.1001	155.6
				50.6	0.1005	157.2
				50.8	0.1001	157.4
	200		20	50.3	0.1005	312.6
				50.4	0.1005	313.7
				50.4	0.1005	312.7
60	50	0.1	5	61.4	0.1005	127.6
				61.6	0.1005	128.2
				61.3	0.1001	128.6
	100		10	61.1	0.1005	254.5
				61.2	0.1008	254.5
				61.2	0.1008	253.1
	200		20	60.7	0.1005	503.3
				60.7	0.1005	505.7
				60.7	0.1005	506.8
80	64	0.1	6.4	84.7	0.1008	312.2
				84.7	0.1008	313.9
				84.9	0.1008	313.2
	100		10	84.2	0.1008	473.3
				84.2	0.1008	475.0
				84.5	0.1008	475.3
	200		20	83.6	0.1008	942.1
				83.6	0.1008	942.4
				83.6	0.1008	942.4
90	64	0.1	6.4	92.3	0.1005	399.1
				92.3	0.1008	400.1
				92.3	0.1005	400.5
	100		100	92.0	0.1011	597.7
				92.1	0.1008	605.6
				92.0	0.1008	606.6
	160		16	91.7	0.1008	972.2
				91.8	0.1001	971.6
				91.7	0.1008	972.6

Tabla 7.2 Recolección de datos para sistema Diavolt

$U_{nominal}(kV)$	$I(mA)$	$t_{nominal}(s)$	$Q(mAs)$	$U_{max}(kVp_{max-medio})$	$t_{medido}(s)$	$K_{aire}(\mu Gy)$
50	50	0.1	5	51.75	0.9980	76.6
				51.76	0.9980	77.5
				51.90	0.9980	77.5
	100		10	51.40	0.1000	154.9
				51.41	0.1000	154.1
				51.45	0.1001	154.3
	200		20	51.07	0.1001	306.6
				51.07	0.1001	306.6
				51.07	0.1001	306.1
60	50	0.1	5	63.62	0.1001	126.4
				63.49	0.1001	125.6
				63.56	0.1001	124.5
	100		10	62.27	0.1001	248.0
				63.26	0.1001	246.1
				63.26	0.1001	246.7
	200		20	62.87	0.1001	490.6
				62.88	0.1000	490.6
				62.85	0.1010	492.2
80	64	0.1	6.4	81.40	0.1004	305.1
				81.38	0.1004	302.2
				81.44	0.1004	303.7
	100		10	81.25	0.1002	463.6
				81.23	0.1002	460.6
				81.19	0.1002	460.8
	200		20	80.69	0.1002	910.4
				80.67	0.1002	914.9
				80.68	0.1001	913.1
90	64	0.1	6.4	92.16	0.1001	383.6
				92.13	0.1000	385.4
				92.16	0.1001	387.7
	100		100	91.97	0.1001	589.8
				92.02	0.1001	587.9
				91.98	0.1001	589.8
	160		16	91.86	0.1001	937.9
				91.78	0.1001	943.8
				91.76	0.1001	946.0

Tabla 7.3 Recolección de datos para sistema Radcal

Nota: para 80 kV se mide corriente de 64 mA y para tensiones de 90 kV se midió corriente de 64 y 160 mA, ya que las corrientes de 50 y 200 mA no estaban disponibles en el equipo para dichas tensiones y no proporcionaba la linealidad con respecto a la dosis.

Tiempo de Exposición					
$t_{\text{nominal}}(\text{s})$	$U_{\text{nominal}}(\text{kVp})$	$I(\text{mA})$	$Q(\text{mAs})$	$t_{\text{medido}}(\text{s})$	$K_{\text{aire}}(\mu\text{Gy})$
0.1	80	200	20	0.1015	919
0.2	80		25	0.2003	1141
0.25		125	32	0.2504	1826
0.32			40	0.3203	1428

Tabla 7.4 recolección de datos para obtener el tiempo de exposición para sistema Nomex.

Tiempo de Exposición					
$t_{\text{nominal}}(\text{s})$	$U_{\text{nominal}}(\text{kVp})$	$I(\text{mA})$	$Q(\text{mAs})$	$t_{\text{medido}}(\text{s})$	$K_{\text{aire}}(\mu\text{Gy})$
0.1	80	200	20	0.1008	942
0.2	80		25	0.2009	1166
0.25		125	32	0.2507	1455
0.32			40	0.3206	1859

Tabla 7.5 recolección de datos para obtener el tiempo de exposición para sistema Diavolt.

Tiempo de Exposición					
$t_{\text{nominal}}(\text{s})$	$U_{\text{nominal}}(\text{kVp})$	$I(\text{mA})$	$Q(\text{mAs})$	$t_{\text{medido}}(\text{s})$	$K_{\text{aire}}(\mu\text{Gy})$
0.1	80	200	20	0.1002	919
0.2	80		25	0.2003	1151
0.25		125	32	0.2504	1429
0.32			40	0.3203	1829

Tabla 7.5 recolección de datos para obtener el tiempo de exposición para sistema Radcal model 9010.



Imagen 1. Sistema de medición PTW Nomex.



Imagen 2. Sistema de medición Diavolt con todos sus accesorios.



Imagen3. Sistema de medición Radcal model 9010



Imagen 4. Montaje experimental



Imagen 5. Montaje experimental.

Ecuación 1. La desviación estándar de la tensión se obtuvo mediante la ecuación

$$desv = \frac{kV_{medido} - kV_{nom}}{kV_{nom}} * 100$$

Ecuación 2. Factor de Relación

$$factor\ de\ relación = \frac{\bar{X}_{sis.Referencia}}{\bar{X}_{sis.\ a\ Comparar}}$$

Donde:

\bar{X} Es el promedio de los valores obtenido en las mediciones.

International Atomic Energy Agency

Calibration certificate No. NIC/2018/3

The following instruments from Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM)
 Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
 Managua, Nicaragua
 have been calibrated at the IAEA Dosimetry Laboratory:

	Ionization chamber	Electrometer
Model/type:	Radcal 10X5-6	Radcal 9010
Serial number:	#16665	90-2393
Manufacturer:	Radcal	Radcal
Calibration period:	from 2018-Mar-26	to 2018-Mar-27

Calibration coefficients in terms of air kerma

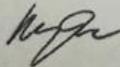
The calibrations have been performed following the procedure given in Appendix 2 DOLP.013 "Calibration of Reference Dosimeters for Diagnostic Radiology at the IAEA Dosimetry Laboratory". The IAEA reference standard chamber Exradin A3, (#XR071832) used to calibrate the instruments had been calibrated at the PTB in May 2017.

Radiation quality	Half Value Layer	Chamber	Chamber + electrometer	\dot{K}_{air}
	mm Al	N_k [mGy/nC]	N_k [mGy/scale unit]	[mGy/min]
RQR2	1.42	-	0.986 ± 0.011	50
RQR3	1.77	-	0.984 ± 0.011	50
RQR4	2.18	-	0.979 ± 0.011	50
RQR5	2.59	-	0.980 ± 0.011	50
RQR6	3.07	-	0.980 ± 0.011	50
RQR7	3.57	-	0.980 ± 0.011	50
RQR8	4.03	-	0.982 ± 0.011	50
RQR9	5.10	-	0.981 ± 0.011	50
RQR10	6.74	-	0.982 ± 0.011	50

Uncertainties in the calibration correspond to a coverage factor, $k = 2$. The calibration coefficients are established at the reference conditions $T = 20.0^\circ\text{C}$, $P = 101.325\text{ kPa}$ and $R.H. = 50.0\%$.

Electrometer settings during the calibration (see Appendix for details):

Settings (user):	dose rate mode
Scale unit (user):	mGy
Polarizing Voltage (user):	automatic
Polarizing Voltage (IAEA):	



D. van der Merwe
 Section Head, Dosimetry and
 Medical Radiation Physics Section

Date of issue: 2018-09-10

Imagen 4. Certificado de calibración del sistema dosimétrico Radcal model 9010.

Glosario

Calibración

Medición exacta y comparación de las entradas y salidas de un instrumento contra un patrón conocido.

Estabilidad

Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver ha dicho estado tras sufrir una perturbación.

Exactitud

Es un atributo a aquellas cosas carentes de error, de las que no se duda y o tiene margen para su discusión.

Kerma

(Kinetic Energy realeased in the material) Energía cinética liberada en el material. Ocurre cuando se consideran partículas indirectamente ionizantes, como los fotones.

Linealidad

Indica que el valor esperado de la variable dependiente depende linealmente de las variables independientes.

Rayos X

Los rayos X con longitudes de onda típicas entre 0.01nm y 10nm pueden producirse con longitudes de onda discretas en transiciones individuales entre los electrones interiores de un átomo, y también pueden producirse al desacelerar partículas cargadas como los electrones.

Repetibilidad

Es la variación que se observa cuando el mismo operador mide la misma parte muchas veces, usando el mismo sistema de medición, bajo las mismas condiciones.

Tensión

Es el responsable de la calidad de los Rayos X, es decir la penetración con este factor se mide la diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo que es la fuerza con la que van hacer acelerado los electrones que se originan en el cátodo y son atraídos hacia el ánodo.