



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN-MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
***SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIATURA  
EN FÍSICA CON MENCIÓN EN FÍSICA MÉDICA***

*TEMA GENERAL*

Metrología de las radiaciones

*SUB TEMA*

Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) en el tercer y cuarto trimestre del año 2020.

*AUTORES:*

Armando Antonio Chavarría Mendoza  
Conny del Socorro Cruz Lara

*TUTOR:*

MSc. Norma Roas

*ASESOR:*

Dr. Byron González

*Nicaragua, Diciembre del 2020*

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. DEDICATORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. VALORACIÓN DEL DOCENTE (CARTA AVAL).....</b>	<b>3</b>
<b>4. RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>5. INTRODUCCIÓN DEL TEMA Y SUB-TEMA .....</b>	<b>5</b>
<b>6. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>7. OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
<b>7.1. Objetivo general.....</b>	<b>8</b>
<b>7.2. Objetivo específicos .....</b>	<b>8</b>
<b>8. DESARROLLO.....</b>	<b>9</b>
<b>8.1. Calidad y Sistema de gestión de calidad .....</b>	<b>9</b>
<b>8.2. Garantía de la calidad .....</b>	<b>10</b>
<b>8.3. Organismos de Normalización .....</b>	<b>12</b>
<b>8.4. Requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017 con respecto al aseguramiento de la validez de los resultados .....</b>	<b>15</b>
<b>8.5. Aseguramiento de la Validez de los resultados.....</b>	<b>16</b>
<b>8.5.1. Calibración de equipos de laboratorios .....</b>	<b>17</b>
<b>8.5.2. Verificación de equipos de laboratorio .....</b>	<b>18</b>
<b>8.5.3. Gráficos de control.....</b>	<b>20</b>
<b>8.6. Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología LAF-RAM .....</b>	<b>22</b>
<b>8.7. Diagnóstico de la implementación del procedimiento técnico del LCM .....</b>	<b>25</b>
<b>8.8. Comparación de kit dosimétricos .....</b>	<b>26</b>
<b>8.9. Metodología para elaboración de un gráfico de control aplicado en un aseguramiento de la validez de los resultados.....</b>	<b>32</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Resultados de Kerma para los tres sistemas dosimétricos.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2. Resultados de Tensiones para los tres sistemas dosimétricos.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 3. Resultados del Tiempo promediado para los tres sistemas dosimétricos .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 4. Muestra los datos de factores de corrección y Kerma en aire para elaboración de gráfico de control .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 5. Tabla de datos de factores de corrección y Tensión para elaboración de gráfico de control .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 6. Tabla de datos de factores de corrección y tiempo para elaboración de gráficos de control .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 7. Mediciones Radcal. Datos tomados como equipo de referencia para nuestras mediciones.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 8. Mediciones del equipo dosimétrico Diavolt .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 9. Tabla de mediciones del equipo dosimétrico Nomex.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ciclo de mejora continua, llamado Diagrama PHVA (Guzmán, Gallegos, & Madrid, 2001).....	<b>14</b>
<b>Figura 2</b> Gráfico de control (IngenioEmpresa., 2016) .....	<b>21</b>
<b>Figura 3</b> Mapa de proceso. Elaboración propia.....	<b>23</b>
<b>Figura 4</b> EQUIPO DE MEDICIÓN DIAVOLT .....	<b>42</b>
<b>Figura 5</b> MONTAJE DE EQUIPO DOSIMÉTRICO NOMEX.....	<b>42</b>
<b>Figura 6</b> EQUIPO DOSIMÉTRICO NOMEX.....	<b>43</b>
<b>Figura 7</b> EQUIPO DOSIMÉTRICO RADCAL. USADO COMO EQUIPO DE REFERENCIA .....	<b>43</b>
<b>Figura 8</b> MONTAJE DEL EQUIPO DE REFERENCIA RADCAL.....	<b>43</b>
<b>Figura 9</b> PREPARANDO MONTAJE PARA REALIZAR MEDICIONES.....	<b>44</b>
<b>Figura 10</b> POSICIONANDO EQUIPOS .....	<b>44</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1. Comparación del Kerma de los sistemas dosimétricos Nomex vs Radcal .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 2. Comparación del Kerma de los sistemas dosimétricos Diavolt Vs Radcal .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 3. Comparación de los sistemas Nomex y Radcal con respecto a la Tensión.....</b>	<b>30</b>
<b>Gráfico 4. Comparación de los sistemas Diavolt y Radcal con respecto a la Tensión .....</b>	<b>30</b>
<b>Gráfico 5. Comparación de los sistemas dosimétricos Nomex y Radcal con respecto al tiempo .....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfico 6. Comparación de los sistemas dosimétricos Diavolt y Radcal con respecto al Tiempo .....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfico 7. Gráfico de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto al Kerma Aire.....</b>	<b>35</b>
<b>Gráfico 8. Gráfico de control de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto a la Tensión.....</b>	<b>36</b>
<b>Gráfico 9. Gráfico de control de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto a la Tiempo .....</b>	<b>37</b>

## 1. DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A la memoria de abuelita Bertha Marina R (Q.E.P.D), porque ella se soñaba verme algún día con mi título universitario.

A mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi padrastro y suegros, porque siempre estuvieron apoyándome en lo que estaba a su disposición.

A mi actual pareja y futura esposa madre de mi hermosa hija, por su amor, confianza y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

*Armando Antonio Chavarría Mendoza.*

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado la fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por ello, primeramente dedico mi trabajo de graduación a Dios.

De igual forma dedico este trabajo de graduación a mis padres Hernán Cruz y Aura Lara pilares importantes en mi vida, me han mostrado su apoyo y amor incondicional en los momentos más difíciles, sin ellos nada de esto sería igual.

A mi esposo Gustavo Barreda quien me impulsa cada día a ser mejor y me ha dado su apoyo y amor incondicional.

A mi hijo Santiago, mi vida, mi luz, mi niño azul, mi campeón, todo lo hago pensando en vos.

A la memoria de mis dos abuelas materna y paterna quienes me enseñaron valores que los mantendré el resto de mi vida y quienes me dieron los mejores consejos de mi vida, besos hasta el cielo a las dos.

A mis profesores gracias por compartir su conocimiento, apoyo y tiempo que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

*Conny del Socorro Cruz Lara*

## 2. AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme siempre un día más de vida además de haberme bendecido mi vida y guiado cada uno de mis pasos.

A mi Madre ejemplo de perseverancia, rectitud y trabajo quien es la persona más importante y a quien me debo por su cariño, dedicación, comprensión además por su incondicional apoyo durante todo este largo camino de mi carrera universitaria así también al desarrollo del presente proyecto.

A mi compañera de tesis con quien he compartido momentos difíciles y logros en todo este tiempo de amistad, gracias por ese apoyo incondicional de siempre.

A mi tutora y asesor ya que con su oportuno y acertado asesoramiento contribuyeron enormemente en la culminación de nuestro proyecto.

*Armando Antonio Chavarría Mendoza.*

A Dios doy primeramente gracias por haberme dado la fuerza y el valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres quienes me han corregido y guiado por el buen camino, brindándome siempre su apoyo a pesar de mis faltas.

A mi esposo por estar conmigo en todo momento dándome consejos, amor y demostrándome que siempre puedo contar con él.

A mi hijo por ser mi motor de superación.

A mi compañero de trabajo por alentarme en momentos difíciles durante el tiempo de trabajo.

A mi tutora y asesor por toda la colaboración y aportaciones brindadas que hicieron posible la culminación de este trabajo, gracias maestros por la oportunidad.

*Conny del socorro Cruz Lara*

### 3. VALORACIÓN DEL DOCENTE (CARTA AVAL)

Managua, Nicaragua  
11 de diciembre del 2020

**PhD. Noel Zelaya**  
**Director Departamento de Física**  
**Facultad de Ciencias e Ing.**

Estimado Dr. Zelaya:

Por este medio estoy haciendo llegar mi valoración como tutora del seminario de graduación realizado por el Br. Armando Chavarría y la Br. Conny del Socorro Cruz Lara Blanco, se ha evaluado el informe final y se considera cumple con los requisitos establecidos con el actual reglamento estudiantil vigente.

Este trabajo es de mucho provecho para el Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo del LAF-RAM. El mismo lleva por título: **Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) en el tercer y cuarto trimestre del 2020**. Los Alumnos han realizado el mismo con dedicación y esfuerzo.

Agradecería su gestión para que la pre-defensa y defensa sea realizada de acuerdo con la reglamentación. Gracias por su gestión y aprovecho la ocasión para saludarlo.

Atentamente,

**Msc. Norma Roas Zúniga**  
**Docente**  
**Dpto. de Física**

#### 4. RESUMEN

El objetivo de nuestro trabajo investigativo, fue analizar los procesos que contiene el aseguramiento de la validez de los resultados del Laboratorio de Física de Radiaciones por y Metrología ( por sus siglas, LAF-RAM) en el área de Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo conocido (por sus siglas, LCM) , interpretando mediante un gráfico la comparación de los sistemas dosimétricos Radcal, Nomex y Diavolt , sugiriendo como acápite una nueva metodología de un gráfico de control , para ello fue necesario realizar análisis de procedimientos anteriores, comparaciones de gráficos con un equipo patrón y sugerir nuevas técnicas para la obtención de excelentes resultados y buenas prácticas en el LAF-RAM en el área del LCM.

Llevando a cabo un análisis detallado del LCM-PT-04 Procedimiento Aseguramiento de la validez de los resultados, el cual es exclusivo para el LCM, que tiene como prioridad el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017 para el aseguramiento de la validez de los resultados en los laboratorios de ensayo y analizando a profundidad la metodología realizada anteriormente para el LCM.

A la vez se pudo identificar claramente que la metodología anterior no contaba con un método estadístico como lo es un gráfico de control, dicho grafico lo aplicamos para los sistemas dosimétrico Nomex y Diavolt mediante los datos obtenidos en las mediciones realizadas, obteniendo la elaboración de tres gráficos de control para cada una de las magnitudes tomadas como lo son el Kerma en aire, tensión y tiempo con respecto a los factores de corrección de cada uno. Dado a eso se implementó esta nueva metodología de gráfico de control con sugerencia a ponerlo en práctica para nuevas mediciones a futuro, todo esto para generar un aporte y para mantener la sostenibilidad del aseguramiento de la validez de los resultados de las buenas prácticas en el LCM.

## 5. INTRODUCCIÓN DEL TEMA Y SUB-TEMA

En los últimos años, la calidad ha despertado un interés especial en tres aspectos en lo que respecta exactitud, fiabilidad y puntualidad aplicándolo en la mayor parte de los directivos de las empresas, en los organismos y no menos importante los laboratorios, siendo un tema complejo la calidad está ligada al cumplimiento de ciertas condiciones preestablecidas, dando pautas en incluir cero defectos, mejora continua y gran enfoque al cliente.

El aseguramiento de la calidad como parte de un sistema de gestión de calidad, se involucra no sólo el desarrollo programado de las actividades que permiten el implantar y dar seguimiento a una metodología de prevención de riesgos y de verificación del cumplimiento de especificaciones y normas, sino que se necesita un cambio de actitud de cómo prestar eficientemente los servicios a los clientes.

Al diseñar e implantar los sistemas de aseguramiento de la calidad, van acompañados de una lucha constante, donde la administración del laboratorio no debe considerar este sistema como sólo un proyecto, sino tomarlo como un proceso dinámico y cambiante, que siempre tiene un principio, pero nunca tiene un final, ya que cuanto más se haga, más queda por hacer; sin embargo, siempre hay oportunidad de practicar un mejoramiento continuo de la calidad.

El Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM), presta los servicios de control de calidad a equipos generadores de rayos X y también monitoreo de área en la sala donde están instalados los equipos a nivel nacional, entre muchos otros servicios, estos son solicitados por industrias, hospitales, clínicas y universidades que utilizan radiaciones ionizantes en sus actividades siendo autorizado desde el 2010 por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA) para el uso de fuentes radiactivas en investigación.

El presente trabajo tiene como fin presentar una metodología para ser incluida en el procedimiento de aseguramiento de la validez de los resultados del Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del LAF-RAM donde se implementó un procedimiento como mejoras de la calidad de dicho proceso. En el que se evaluaron normativas basadas en la

International Organization for Standardization (ISO, por sus siglas en Ingles) ISO/IEC 17025:2017.

Por lo tanto, se realizo un proceso de medición para una comparación de tres sistemas dosimétricos, con el fin de un mejoramiento continuo y así implementar o sugerir un gráfico de control para tal proceso agregándolo como acápite al Manual de procedimiento LCM-PT-04, contribuyendo con una mejor garantía en la operacionalidad de calidad de los resultados de los sistemas dosimétricos del LCM en el LAF-RAM.

## 6. JUSTIFICACIÓN

En el aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de control de calidad y monitoreo (LCM) del LAF-RAM busca principalmente obtener un mejoramiento continuo por medio del cumplimiento de normas establecidas para el funcionamiento y estabilidad de los equipos.

El desarrollo de este trabajo investigativo es posible ya que se cuenta con los equipos precisos que permite realizar mediciones con documentación de referencia para ayuda de bases teóricas y experimentales.

En este trabajo se realizó un análisis del Procedimiento para el Aseguramiento de la Validez de los Resultados( LCM-PT-04) del LAF-RAM, con la finalidad de analizar si existen oportunidades de mejora en dicho procedimiento basados en el proceso técnico del laboratorio de control de calidad y monitoreo, que permitan una mejor implementación de los aspectos relacionados con la calidad de los datos obtenidos y además encontrar posibles sugerencias para la incorporación, se contribuyendo con una nueva metodología basada en la última comparación de sistemas dosimétricos que fue en agosto del 2020, realizando una actualización de datos y se colaborando con la implementación incluyendo un gráfico de control, dado que no está descrita en la metodología anterior.

Por lo tanto, se considera de importancia la realización y análisis de este procedimiento dentro del área de LCM en el LAF-RAM, por lo que nos permite evaluar y determinar según el gráfico de control si cumplen con los parámetros establecidos esto se hará en función de la mejora del aseguramiento de la validez de los resultados, siendo una forma más útil de diagnosticar y controlar el comportamiento y funcionamiento de cada equipo;de manera que se deja abierto sobre este tema la creación de nuevas metodologías a aplicar.

## **7. OBJETIVOS**

### 7.1. Objetivo general

Describir las actividades para el aseguramiento de la validez de los resultados que se realizan en el Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo (LCM) del LAF-RAM

### 7.2. Objetivo específicos

- Interpretar mediante un análisis, los procedimientos relacionados con el aseguramiento de la validez de los resultados en el LCM.
- Comparar los resultados obtenidos con los tres sistemas dosimétricos en el LCM.
- Sugerir una metodología para elaboración de un gráfico de control de los resultados de las comparaciones de los kit dosimétricos.

## 8. DESARROLLO

### 8.1. Calidad y Sistema de gestión de calidad

Es importante comprender que las definiciones de la calidad y la implementación de un proceso de planificación de la calidad son esenciales para el aseguramiento de la calidad por lo tanto según la ISO 9000 calidad se define como el grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos.

La calidad como parte fundamental a la hora de ejercer un sistema de gestión a una organización en forma exitosa se requiere que ésta se dirija y controle en forma sistemática y transparente, de la misma forma se puede conseguir el éxito implementando y conservando un sistema de gestión que esté trazado para la ayuda de mejorar constantemente su desempeño mediante la consideración de las necesidades de todas las partes interesadas.

El sistema de gestión de calidad nace por medio de una necesidad de mejorar la atención al cliente, brindándole satisfacción y mejorando la optimización de recursos de las organizaciones, basados en estándares internacionales establecidos para tal fin, esto conlleva a tomar decisiones estratégicas y crear etapas para trabajar ordenadamente un sistema hasta lograr mejoras y dar continuidad para una guía o metodología de actuación clara y definida al personal sobre aspectos específicos del trabajo a llevar y así adquirir certificación o acreditación por un ente nacional, en el caso de Nicaragua este ente es la Oficina Nacional de Acreditación (ONA), adscrita al Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC).

En si el sistema de gestión de calidad consiste en un conjunto de actividades organizadas y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Este sistema recibe datos, energía o materia lo que le llamamos “Entrada” y provee que este caso es “Salida” información, energía o materia (gestiopolis, 2020; Inatec, 2020).

Un sistema de gestión de calidad comprende las siguientes etapas *RECURSOS* es lo que necesitamos para alcanzar nuestros objetivos con los resultados deseados; *PROCESOS* que consta de un grupo de actividades planificadas con un objetivo a conseguir, el cual hace que

su trabajo haga que se transformen los elementos de entrada del proceso en producto, es decir en resultados (gestiopolis, 2020).

## **8.2. Garantía de la calidad**

La garantía de calidad, es controlada a través de su monitoreo y seguimiento, el cual puede ser realizado mediante herramientas previamente concebidas. Una de estas herramientas puede ser el control de la documentación del sistema, planes de capacitación, planes de implementación de acciones de mejora y correctivas, gestión de riesgos, etc.

Para que la empresa o institución sea consistente y garantizar su servicio para que esto sea más confiable mencionaremos con un breve concepto 4 componentes fundamentales para llevar a cabo la garantía de calidad según su proceso. (Rodríguez-Benavides & Blanco-Sáenz, 2001).

- El planeamiento de la calidad
- Control de calidad
- Aseguramiento de la calidad
- Mejoras de la calidad

La planeación de la calidad es la que presenta un proceso a desarrollar, ya sea un plan estratégico anticipado, garantizando satisfacción y creando buenas expectativas, estableciendo y validando procesos que satisfacen las necesidades del cliente.

En fin, la planeación de la calidad es la encargada de asegurar que los servicios y procesos cumplan con los objetivos trazados por el cliente o la institución otorgando un enfoque bien estructurado y participativo.

Las desviaciones del sistema de gestión de la calidad, pueden ser encontradas en auditorías internas y externas, revisiones periódicas por la dirección o durante la ejecución de ensayos

o calibraciones, por lo que las herramientas de control de calidad, permiten la mitigación de los efectos que puedan causar dichas desviaciones.

Es importante comprender que el Control de la Calidad necesita definir qué procedimientos de Control de la Calidad han de utilizarse para los ensayos en su laboratorio. Esta responsabilidad a menudo reside en el director del laboratorio, pero puede ser delegado a gerentes o supervisores o especialistas de la calidad. Alguien necesita saber cómo seleccionar la regla de control de la calidad correcta y el número correcto de controles a correctos. El control de calidad se considera de uso fundamental en la gestión de la calidad, pero se considera como una parte esencial en el aseguramiento de la validez de los resultados. Obteniendo como ventaja de un control de calidad el orden, la interrelación de los distintos procesos y seguimiento más detallado de las operaciones detectando los problemas antes y corrigiendo más fácilmente (Wayne, 2004).

El aseguramiento de la calidad consiste en la parte de la gestión de calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad.

Para hacer énfasis en el aseguramiento de la calidad se analiza que la planificación de la calidad y el aseguramiento de la calidad van vinculados, para obtener un buen aseguramiento de la calidad necesitamos un plan de calidad. El aseguramiento de la calidad pone énfasis en instrumentar la calidad en el proceso mismo.

La mejora de la calidad está debidamente orientada a aumentar la capacidad de obedecer al pie de la letra los requisitos establecidos conforme la gestión de calidad, los cuales se establecen en la política de calidad de la organización y cuyos objetivos se cumplen con la implementación de todos los procedimientos que se ejecutan para lograr los procesos.

La mejora continua tiene como objetivo como parte del sistema de gestión de la calidad incrementar la probabilidad de aumentar la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas. Las siguientes son acciones destinadas a la mejora: a) análisis y evaluación de la situación existente para identificar áreas para la mejora; b) el establecimiento de los objetivos para la mejora; c) la búsqueda de posibles soluciones para lograr los objetivos; d) la evaluación de dichas soluciones y su selección; e) la implementación de la solución seleccionada; f) la medición, verificación, análisis y evaluación de los resultados de la

implementación para determinar que se han alcanzado los objetivos; g) la formalización de los cambios (Norma Internacional ISO 9000, 2020).

Los resultados se revisan, cuando es necesario, para determinar oportunidades adicionales de mejora. De esta manera, la mejora es una actividad continua. La información proveniente de los clientes y otras partes interesadas, las auditorías, y la revisión del sistema de gestión de la calidad pueden, asimismo, utilizarse para identificar oportunidades para la mejora.

### **8.3. Organismos de Normalización**

La Organización Internacional de Normalización (ISO: International Organization for Standardization, usaremos la abreviación ISO en todo el documento) surgió ante la necesidad de elaborar normas que tuviesen un alcance mundial; (Leiva, Soler, & Molina, 2016) ) se define como una red de institutos de normas nacionales compuesta de 163 países con una oficina central ubicada en Ginebra; Suiza, que coordina el sistema y está compuesta por delegaciones gubernamentales y no gubernamentales divididas en subcomités encargados para desarrollar guías del mejoramiento, y tiene la función principal de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas y organizaciones públicas o privadas a nivel internacional, con el objetivo de orientar, coordinar, simplificar y unificar los usos y procedimientos para conseguir mejores costos, efectividad y calidad.

La comisión electrotécnica internacional (IEC, usaremos la abreviación en todo el documento) forman el sistema especializado para la normalización mundial. Los organismos nacionales miembros de ISO e IEC participan en el desarrollo de las Normas Internacionales a través de comités técnicos establecidos por la organización respectiva, para tratar con campos particulares de la actividad técnica. Los comités técnicos de ISO e IEC colaboran en campos de interés mutuo. Otras organizaciones internacionales, públicas y privadas, vinculadas a ISO e IEC, también participan en el trabajo. (Asociación Colombiana de Petróleo, 2020)

El comité técnico 176 (ISO; CUCSUR, 2020) es el que se encarga del desarrollo del tema ISO 9000 la cual se basa en un sistema de gestión de calidad, esta surgió en 1987. Luego de su

lanzamiento ha estado en constante revisión y actualización hasta la última revisión que fue el 23 de septiembre del 2015, la norma ISO 9000 abarca 10 capítulos, pero del capítulo 4 hasta el 10 se encuentran los elementos de la gestión de calidad.

La norma ISO 9001 habla acerca de los requisitos de los sistemas de gestión de calidad; la adopción de un sistema de gestión de calidad, es una decisión estratégica para una organización que puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible.

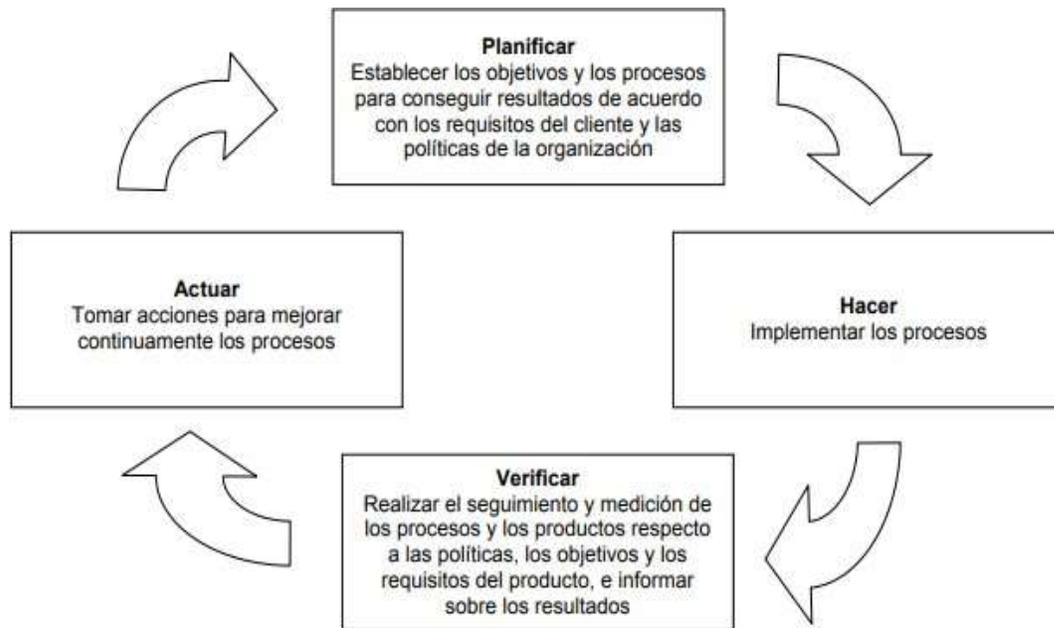
Está construida en base al riesgo, ya que el enfoque está basado en su búsqueda de mejorar la confianza y satisfacción, así como las partes interesadas, por ende, busca como establecer una cultura proactiva de prevención, mejora y protección ambiental. Además de encargarse de asegurar la consistencia de la calidad de productos y servicios

El sistema de gestión de la calidad basado en procesos descrito en la familia de Normas ISO 9000 muestra que en las partes interesadas juegan un papel significativo para proporcionar elementos de entrada y de resultados. El seguimiento de la satisfacción de las partes interesadas requiere la evaluación de la información relativa a su percepción de hasta qué punto se han cumplido sus necesidades y expectativas.

El modelo de esta estructura de la norma se trabaja bajo un enfoque llamado P.H.V.A (Planear, Hacer, Verificar y Actuar.) donde estos son los elementos que componen el ciclo de la mejora.

En donde la metodología para la mejora continua (Ciclo P.H.V.A) está basada en cuatro etapas (**ver Figura 1**):

- Planificar (Plan): Establecer los objetivos y procesos para alcanzar los resultados.
- Hacer (Do): Implementar los procesos.
- Verificar (Check): Realizar el seguimiento y la medición de procesos y productos.
- Actuar (Act): Tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.



**Figura 1** Ciclo de mejora continua, llamado Diagrama PHVA (Guzmán, Gallegos, & Madrid, 2001)

La norma IEC/ISO 17025 es publicada por la ISO en el año 1999, la cual en el año 1990 se conocía como Guía 25:1990 “requisitos generales para la competencia técnica de los laboratorios de ensayo”; luego se mejoró publicando la ISO 17025:2005 ya que la ISO 1999 se publicó con grandes vacíos a nivel de contenido, para el 2014 la organización a nivel de la ISO se tomaron la tarea de hacer nueva actualización de la norma, tomando en cuenta la opinión de expertos de todos los organismos de acreditación a nivel mundial y es así que luego de mucho esfuerzo se publicó la nueva versión mejorada de la ISO 17025:2017 en Noviembre del 2017 (Asociación Colombiana de Petróleo, 2020)

El contenido de la norma ISO/IEC 17025:2017 en términos generales, hay dos cláusulas principales que corresponden a requisitos de Gestión y requisitos técnicos.

Los requisitos de gestión se refieren al funcionamiento y efectividad del sistema de gestión de calidad en el laboratorio. Lo que significa que en la primera cláusula los requisitos de gestión son similares al cumplimiento de la norma ISO 9001.

Mientras que los requisitos técnicos, al contrario, abordan las cualificaciones de los empleados, la metodología de los ensayos, los equipos y su calidad y los informes de aseguramiento de los resultados de los ensayos y calibraciones.

#### **8.4. Requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017 con respecto al aseguramiento de la validez de los resultados**

El sistema de gestión de calidad es fundamental en las organizaciones y no obstante en lo que respecta el área de laboratorio, sin embargo una vez que ya se tiene calidad se busca un enfoque aún más definido con más peso como lo es la validez, para esto existe requisitos que nos ayudan a demostrar que se emitiendo resultados confiables tales requisitos son la ISO/IEC 17025:2017 donde nos describen 11 caminos para asegurar la validez.

Los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017, referidos al aseguramiento de la validez de los resultados tomados del ítem 7, son (Gutierrez, 2020):

##### Requisitos 7.7.1

El laboratorio debe de contar con un procedimiento para hacer el seguimiento de la validez de los resultados. Los datos resultantes se deben registrar de manera que las tendencias sean detectables y cuando sea posible, se deben aplicar técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. Este seguimiento se debe planificar y revisar y debe incluir, cuando sea apropiado, pero sin limitarse (Soares, 2018) a:

- a) Uso de materiales de referencia o materiales de control de calidad
- b) Uso de instrumentos alternativos que han sido calibrados para obtener resultados trazables.
- c) Comprobaciones funcionales de equipamiento de ensayo y medición.
- d) Uso de patrones de verificación o patrones de trabajo con gráficos de control cuando sea aplicable
- e) Comprobaciones intermedias en los equipos de medición.

- f) Repetición del ensayo o calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes.
- g) Reensayo o re-calibración de los ítems conservados.
- h) Correlación de los resultados para diferentes características de un ítem.

Estos requisitos con lleva a que los laboratorios demuestren que operan de manera competente y que son capaces de generar resultados válidos, dado que la norma requiere la planeación e implementación de acciones para abordar riesgos y oportunidades, con esto se determinará el incremento de la eficacia del sistema de gestión, logrando resultados esperados y previniendo efectos negativos.

### **8.5. Aseguramiento de la Validez de los resultados**

La norma de la Organización Internacional de Normalización ISO/IEC 17025:2017 en el ítem 7.7.1 establece que todo laboratorio debe de contar con un procedimiento para hacer seguimiento a la validez de los resultados. Los datos resultantes se deben registrar de manera que las tendencias sean detectables y cuando sea posible, se deben aplicar técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. Por lo consiguiente también posee un sistema de calidad en donde estén establecidas sus actividades tales como, políticas, procedimientos, instrucciones documentadas para garantía del buen cumplimiento de los requisitos de la calidad, compromiso del buen desempeño profesional, objetivos establecidos que sean de calidad y familiarizar a todo el personal con el sistema de gestión implantado en el laboratorio (Bqca. QM Alicia I. Cuesta).

En que nos ayuda y es una ventaja el llevar a cabo las medidas anteriores en que nos planificaremos de manera que tendremos un plan de estudio de nuestro procedimiento, a como también nos ayudará a evitar problemas frente a una inspección sorpresa final, realizando el trabajo de hacer revisiones periódicas tomándolo como practica y formación para una mejora continua dando así mejores resultados de manera competente (cucsur, 2020).

## **85.1. Calibración de equipos de laboratorios**

La calibración es un proceso de suma importancia dentro de los aparatos de medición, este proceso comprende que la medición del patrón cuyo valor estimado queremos encontrar por comparación a un patrón de referencia, para comprobar si el valor obtenido se encuentra dentro de los límites establecidos pertinentes para realizar la función y con esto nos damos cuenta si es necesario realizar un ajuste o en este caso calibración del equipo patrón o equipo de medición.

Estos equipos de medición deben de contar con un certificado de calibración donde se deberá retomar los valores adquiridos, así como también los valores de incertidumbre de los patrones obtenidos de la calibración.

Esto también deberá indicar los puntos de medida del campo calibrado, la incertidumbre del patrón en cada punto de calibración, la corrección de la calibración obtenida de cada punto, el número de repeticiones realizadas en cada punto de calibración y su dispersión, y la incertidumbre asociada a la corrección de cada punto de calibración. (Universidad Politecnica de Valencia., 2020)

Los patrones o equipos de medida se clasifican en patrón de referencia y patrón de trabajo, donde se toma el primer patrón para poder calibrar el patrón de trabajo. Cada equipo de medición calibrado obtiene un certificado de calibración donde se garantiza la exactitud y la trazabilidad. De acuerdo al envejecimiento de los equipos de medición o patrones de medición estos son los que marcan los intervalos de calibración.

Los patrones o equipos de calibración siempre se deben de calibrar, aunque hayan salido de la línea de fabricación debido, a que por el trayecto de envío a dicho destino tiende a descalibrarse lo cual afectará a la toma de futuras medidas; por eso se recomienda tener un programa de calibración para mantener de manera periódica la exactitud de dichos equipos o patrones de medición. Como función importante del uso de los equipos tenemos los intervalos de calibración.

Cada equipo de medición o patrón de medición deberá tener a simple vista una etiqueta de calibración donde nos indique que dichos patrones o equipos de medición pueden

usarse, si tienen algunas limitaciones en su uso o si están fuera de servicio en otras palabras obsoletos. (Universidad Politecnica de Valencia., 2020)

### **852. Verificación de equipos de laboratorio**

El laboratorio debe de contar con todos los equipos necesarios para la realización adecuada de los ensayos o calibraciones. Lo más importante que debemos tener en cuenta de todo esto es: saber si se cumple con el equipamiento necesario, hacer comprobaciones intermedias en los equipos de medición y que tan frecuente se están realizando las calibraciones, si lo hacen una vez al año por lo menos.

En base a la comprobación intermedias o verificaciones intermedias debemos de manejar que son clave dentro del uso del aseguramiento de la validez de los resultados, donde hay tres razones importantes para comenzar a implementarlas:

- Son un requisito de la norma ISO/IEC 17025:2017. Si no se toma en cuenta se puede provocar una no conformidad y puede hacer que se trabaje el doble de no acatar la norma.
- Ayudan a detectar errores. Si los equipos están expuestos a una sobre carga de trabajo o pasan fuera del laboratorio o en desuso esto puede ocasionar que den resultados dudosos, con las verificaciones intermedias se podrá detectar a tiempo estas desviaciones.
- Controlar los periodos de calibración, de manera equivocada se mantiene que el periodo de calibración tiene que ser en un año, pero con este tiempo se tiende a correr el riesgo de ser subestimado o sobreestimado. Con las verificaciones internas y en base al procedimiento de trabajo del LCM se podrá establecer de manera precisa los periodos de calibración.

La parte más importante de este procedimiento de la validez de los resultados que debemos de tener en cuenta, es que cumple con el equipamiento, comprobaciones intermedias en los equipos de medición, y que tan frecuente se están realizando las verificaciones, con qué periodo, si hacen por lo menos 2 veces al año, todo esto para determinar que tanto se ha desviado o se han mantenido esos resultados de los valores iniciales o sea los datos plasmados en el certificado de calibración.

Para que sea eficiente la verificación de equipos de laboratorio, se tiene que implementar un plan de mantenimiento y verificación de sus equipos siempre respetando reglas y normativas de cada laboratorio, pero las más fundamentales en tomar en cuenta son las siguientes:

- Cada laboratorio debe establecer que equipos son de calibración y verificación, ya sea interna o externa, es decir; interna por los cálculos realizados por el personal del mismo laboratorio y externa cuando se hacen intervenciones del personal de otros laboratorios o centros acreditados.
- Se debe de llevar a cabo las actividades anteriores a realizar y los procedimientos a aplicar para prevenir: fallos, deterioros, o un mal funcionamiento de estos equipos. Deben definir la frecuencia o periodicidad, ya sea (anual, mensual, etc) (Carreira, 2016)

El resultado de las verificaciones proporciona la base para tomar una decisión, ya sea la de volver a poner el equipo en servicio, realizar ajustes, repararlo, ponerlo fuera de servicio o declararlo obsoleto.

Esto a su vez ayuda a establecer intervalos para las calibraciones y mantenimiento preventivos.

De acuerdo al mantenimiento preventivo se dice que al inspeccionar los equipos se detectan las fallas en su fase inicial, corrigiéndolas en el momento oportuno, con las ventajas de:

- Asegurar la confiabilidad del funcionamiento de los equipos, dado que operan en mejores condiciones.
- Aumentar la duración de los equipos e instalaciones
- Reducir los eventos de rotura imprevista
- Planificar la compra de repuestos.

### 853. Gráficos de control

Un gráfico o cuadro con líneas de límites se conoce como gráfico de control, y las líneas se denominan líneas de control. Hay tres clases de líneas de control: el límite de control superior, la línea central y el límite de control inferior. Se las puede denotar con las letras LCS,  $\bar{x}$  o  $\bar{R}$  y LCI ( VER FIGURA 2) .

El gráfico de control es utilizado en control estadístico de procesos y se utiliza para realizar mediciones durante el funcionamiento continuo y que sirve para controlar dicho proceso. Los gráficos de control son una herramienta muy utilizada para el proceso y funcionamiento continuo de un equipo de monitoreo.

Un gráfico de control tiene la función de controlar un proceso y a la vez de diagnosticar el comportamiento del proceso a través del tiempo, se utiliza como una ilustración; el gráfico de control puede ser aplicado en el uso del aseguramiento de la validez de los resultados, permitiendo observar el comportamiento del sistema de medición (Castro, Alonso, & González, 2005).

La elaboración de un gráfico de control es muy variada, el gráfico de control puede interpretarse mostrando los datos obtenidos en el gráfico, los resultados de los control se grafican en función del tiempo o número de datos continuos, y generalmente se incluye una línea horizontal con el valor medio de referencia y dos líneas más con los límites de control estadístico, superior e inferior todo esto para observar tendencias, desplazamiento sistemáticos, y errores aleatorios, un gráfico de control por lo tanto tiene como objetivo distinguir variaciones que afecten la calidad de los resultados dentro de un proceso productivo (James O. Westgard, 2013).



**Figura 2 Gráfico de control con límites. Elaboración propia.**

Para hacer uso del gráfico de control, antes de todo se realiza la recolección de datos o también conocida como hoja de registro o de Excel. Su función consiste en la recopilación ordenada y estructurada de toda la información importante y útil que se genera en los procesos y sus actividades. La gran utilidad que tiene la hoja de recopilación de datos es que sirve como soporte de otras técnicas y facilita el análisis y control de los datos sobre los procesos realizados.

Los límites de control se sitúan de forma que un porcentaje fijado de los puntos estén dentro de ellos. Estos límites suelen calcularse para incluir o bien 75% o el 95% de los datos.

No obstante, siempre se nos pueden presentar situaciones donde puede estar por encima del límite o muy bajo del límite en el momento de aplicar el gráfico de control:

Cuando la situación está fuera del rango de límites establecido lo recomendable es analizar las causas del incidente y corregirse en las siguientes situaciones:

- Cuando hay un punto fuera de los límites del 95%. (Nota: Por definición, el 5% de los puntos estarán fuera de este límite, por lo que este caso solo debería preocuparnos si el punto se aleja mucho del límite o si sospechamos que hay algo mal).
- Cuando hay más de 3 puntos seguidos fuera de los límites del 75%. (Nota: En este caso, la clave está en que los 3 puntos fuera sean seguidos, lo cual debería ser muy improbable).

- Cuando se aprecian tendencias crecientes o decrecientes en más de 4 puntos seguidos.
- Cuando más de 6 puntos seguidos se encuentran en la mitad superior o inferior del gráfico (Nota: en este caso, el proceso está descentrado y habría que recalibrarlo).
- Cuando se aprecia que los valores siguen un patrón, no siendo estos valores aleatorios.

En todos estos casos deberían analizarse las causas de la incidencia para ver si ha sido un caso aislado, o bien si ha habido algún problema detrás. En este segundo caso, habrá que tomar medidas si fuera necesario (pdcahome, 2020).

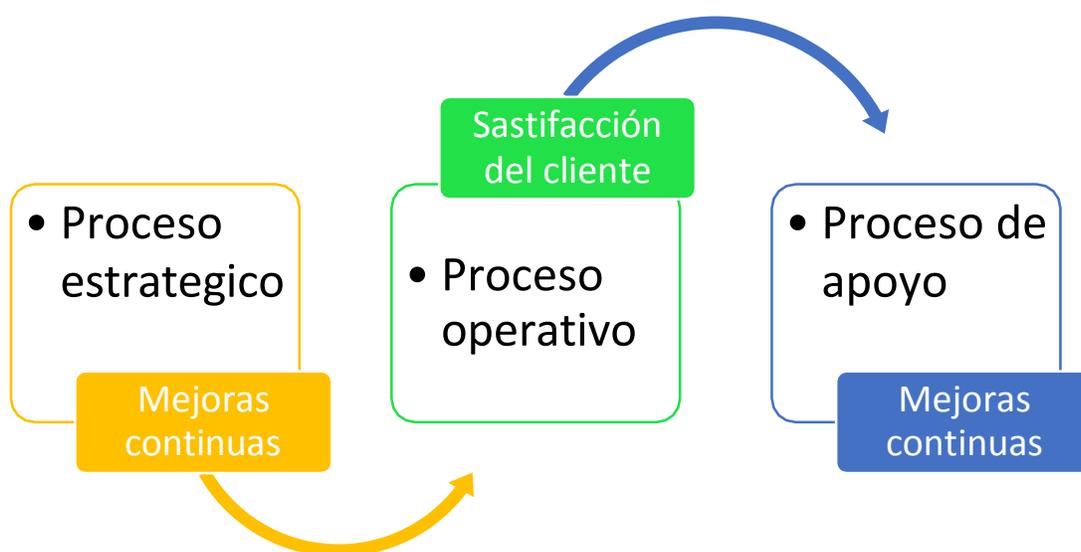
#### **8.6. Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología LAF-RAM**

El laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM por siglas usaremos la abreviación en todo el documento) “*es un edificio que alberga 4 laboratorios especializado en calibraciones y ensayos en distintas aplicaciones en Protección Radiológica. Éstos son: Laboratorio de Calibración Dosimétrica, Laboratorio de Dosimetría Externa, Laboratorio de Dosimetría Interna (o Incorporación) y Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo*”. (Medrano, Vanegas, & Zúniga, 2020), LAF – RAM fue autorizado desde el 2010 por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA) para el uso de fuentes radiactivas en investigación. También está autorizado por entes reguladores nacionales para prestar el servicio de calibraciones de monitores, y en el proceso de acreditación en nuestro país ante la Oficina Nacional de Acreditación (ONA), adscrita al Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC).

El Sistema de Gestión de Calidad del LAFRAM está basado en el cumplimiento de los requisitos de la norma NTN ISO/IEC17025:2017, para la competencia técnica de los laboratorios de calibración dosimétrica y dosimetría externa, ofreciendo una mejor satisfacción al cliente e incrementando competitividad.

El sistema de calidad del LAF-RAM está basado en procesos, que operan en dirección al cumplimiento de los objetivos institucionales, lo cual a su vez genera confianza en la capacidad de sus procesos, la calidad de los servicios además que proporciona una base para la mejora continua y el aumento permanente de la satisfacción de los clientes; para esto el LAF-RAM proporciona un mapa de proceso para tener una mejor evaluación y así establecer o fortalecer medidas de trabajo y de resultados, en donde están clasificados de la siguiente manera:

- Proceso de estrategia que está caracterizado por la gestión de la dirección, gestión de la calidad y la protección radiológica.
- Proceso operativo está basado en la Revisión de Solicitudes, Ofertas y Contrato Manipulación, Transporte y Almacenamiento de ítems Método de Ensayo/Calibración y Aseguramiento de la Validez de los Resultados, los cuales son específicos por laboratorio.
- Los Procesos de Apoyo son: Administración, Mantenimiento, Personal, Control de la Información (Medrano, Vanegas, & Zúniga, 2020).



**Figura 3** Mapa de proceso. Elaboración propia.

El LAF-RAM tiene como objetivo de calidad entre otros brindar confiabilidad, satisfacción y aseguramiento de los resultados, hecho todo este trabajo con esfuerzo, compromiso, haciendo mantenimiento y monitoreo constante de los equipos, como parte de esta confiabilidad el LAF-RAM cumple con el aseguramiento de la validez de los resultados con apoyo en las normas ISO/IEC 17025:2017 quien hace mucho énfasis en cumplir en todo momento en el equipamiento, métodos, competencia y los resultados de calidad. En base a la evaluación mediante el proceso estratégico del mapa de proceso del LAF-RAM se describe de manera detallada el manual del procedimiento técnico del laboratorio de control de calidad y monitoreo LCM-PT-04 para el aseguramiento de la validez de los resultados en la aérea de LCM. Los aspectos esenciales mostrados en el LCM –PT-04 son los siguientes:

1. Preparar el equipo (**VER ANEXOS**). Solicitar a dirección la llave del equipo generador de rayos X móvil para realizar las mediciones, luego con una Bitácora de entrada y salida se anota la fecha, hora y datos del equipo que será verificado, se tiene que garantizar que la temperatura de la sala esté en un rango entre 18° y 22°C.
2. El Transporte de equipos no aplica.
3. El periodo con el que se realiza el programa de calibración de los equipos en LCM es anual, donde se incorporan las cámaras de ionización (en el extranjero) y los equipos de monitoreo (en el LCD).
4. Para realizar la comparación de los kits dosimétricos se deben realizar las mediciones en Kerma en aire, tiempo y tensión. Esta comparación se hace con un periodo de cada 6 meses.
5. En el equipo de rayos X se realizan las mediciones pertinentes con el fin de obtener lecturas de las magnitudes Kerma, tiempo y tensión.
6. Las mediciones son realizadas con los tres sistemas dosimétricos a distintos valores de tensión (kV), corriente (mA) y tiempo (s), con el objetivo de evaluar el comportamiento de los mismos a distintas escalas, tomando como referencia el equipo con fecha de calibración más reciente.
7. Una vez obtenidos las mediciones, se realiza una tabla de Excel para realizar las comparaciones según las lecturas obtenidas de las magnitudes especificadas anterior,

realizando una gráfica de linealidad entre las respuestas de los resultados medidos en cada equipo.

8. Se realiza un cálculo de error absoluto en cada equipo tomando el valor verdadero con el sistema de medición con fecha de calibración más reciente y se realiza un gráfico de los errores para cada equipo.

**Según nuestra sugerencia para la mejora continua del procedimiento técnico LCM-PT-04 del LAF-RAM el siguiente acápite sería de esta manera:**

9. **Luego de obtener los datos de las comparaciones se procede a utilizar el factor de corrección estableciendo límites de control y se realiza un gráfico de control para verificación del comportamiento de los equipos y aseguramiento de la validez de los resultados.**

### **8.7. Diagnóstico de la implementación del procedimiento técnico del LCM**

Para realizar este análisis de datos y respuestas de los equipos es de importancia que el área cuente con un Responsable de Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo, RLCM quien es autorizado para verificar el método de ensayo y otros métodos asociados a las actividades del laboratorio, modificación al plan de desarrollo de los métodos de ensayo y apertura de nuevos servicios; coordina la programación de solicitudes de pruebas de control de calidad a equipos generadores de radiación ionizante y monitoreo además cumplimiento de los procedimiento e instructivos técnicos. (Medrano, Vanegas, & Zúniga, 2020).

Para asegurar la validez de los resultados, se ejecuta un programa de calibración de equipos utilizados en el LCM los cuales son: cámaras de ionización y electrómetros con calibración vigentes, por medio de un acuerdo interno con el LCD en donde ciertos equipos como son las cámaras de ionización (detectores) son calibrados en laboratorios externos fuera del país, con reconocimiento ampliamente demostrado. Se establecen procedimientos para la obtención de datos confiables que permitan realizar comparaciones con las tolerancias

establecidas en documentos como protocolos y guías adoptados legalmente en el marco regulatorio del país (Medrano, Vanegas, & Zúniga, 2020).

De acuerdo al aseguramiento de la validez de los resultados en el LCM que se ha implementado desde junio del 2019, dando lugar a nuevas etapas a crearse a futuro. Por lo tanto, como parte de este mejoramiento se llevó a cabo las mediciones para actualización a la fecha de noviembre del 2020 de dicho procedimiento de modo que los resultados sean más confiable.

Se elaboró un análisis del procedimiento, en donde no se encontró un gráfico el cual ayuda como herramienta útil y necesaria para el análisis de la validez y aseguramiento de los resultados. Por consiguiente, como parte de esta actualización se incorpora un gráfico de control para la mejora de este procedimiento dentro del LCM.

#### **8.8. Comparación de kit dosimétricos**

En noviembre del año 2020 se efectuaron mediciones de Kerma ( $\mu\text{Gy}$ ), Tiempo (s) y Tensión (kV) para la comparación para el kit dosimétricos descrito en el manual de proceso de Aseguramiento de la validez de los resultados LCM-PT-04. Donde se implementó un gráfico de control para un mejor análisis del comportamiento de los equipos. Los cuales mostramos a continuación:

Para la realización de la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes sistemas dosimétricos, se realizó el cálculo de los promedios de las magnitudes medidas.

Esto permitió graficar las respuestas de los sistemas Diavolt y Nomex con respecto al del sistema Radcal, debido al que este último sistema es el que se encuentra con calibración vigente, por tanto, se toma como el valor verdadero en las comparaciones realizadas.( ver tablas)

#### **Las siguientes muestran los promedios obtenidos para cada una de las magnitudes:**

Esto permitió graficar las respuestas de los sistemas Diavolt y Nomex con respecto del sistema Radcal, debido a que este último sistema es el que se encuentra con calibración vigente, por tanto, se toma como el valor verdadero en las comparaciones realizadas. Las **Tabla 1, Tabla2, Tabla3** muestran los promedios obtenidos para cada una de las magnitudes, (datos obtenidos de la tabla completa que puede ser vista en **ANEXOS**):

**Tabla 1. Resultados de Kerma para los tres sistemas dosimétricos**

<b>Kair(<math>\mu</math>Gy)</b>		
<b>Radcal</b>	<b>Diavolt</b>	<b>Nomex</b>
316.8	311.8	333.1
508.2	500.5	531.4
945.8	940.8	987.3
1203.7	1205.7	1267.7

**NOTA:** Se muestran los valores obtenidos para un Promedio para una tensión de 80 kV, 100 mA. Además de presentar una muestra del promedio del Kerma en aire para cuatro tensiones diferente (50, 60, 80,90) kV.

**Tabla 2. Resultados de Tensiones para los tres sistemas dosimétricos**

<b>Tensión (kV)</b>		
<b>Radcal</b>	<b>Diavolt</b>	<b>Nomex</b>
51.5	50.0	50.0
63.3	60.4	60.4
81.1	82.2	80.7
91.8	91.1	91.3

**NOTA:** Se muestran valores obtenidos mediante la toma de datos con tensiones de 90, 80,60 y 50 kV además 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).

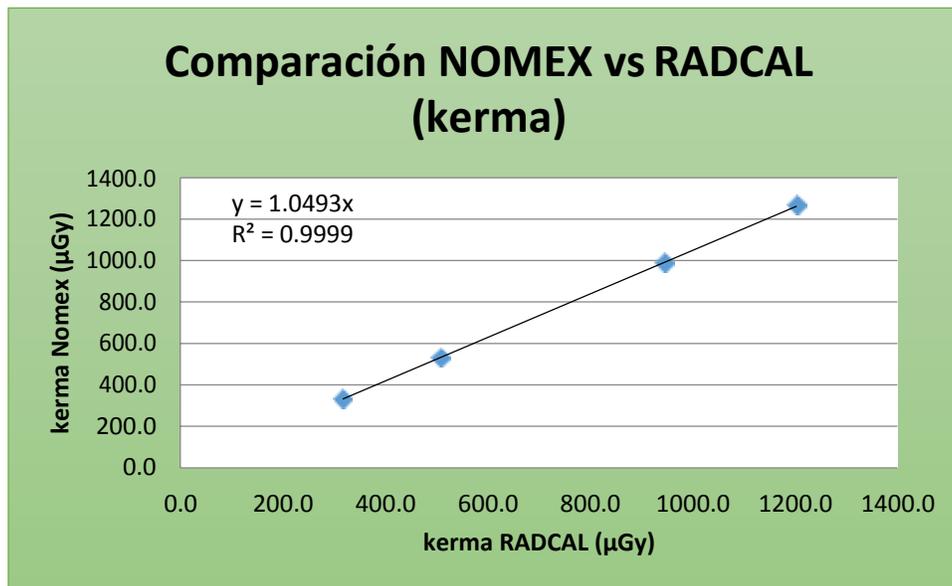
**Tabla 3. Resultados del Tiempo promediado para los tres sistemas dosimétricos**

Tiempo (s)		
Radcal	Diavolt	Nomex
0.100	0.101	0.102
0.200	0.201	0.202
0.250	0.252	0.252
0.320	0.321	0.322

**NOTA:** 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).

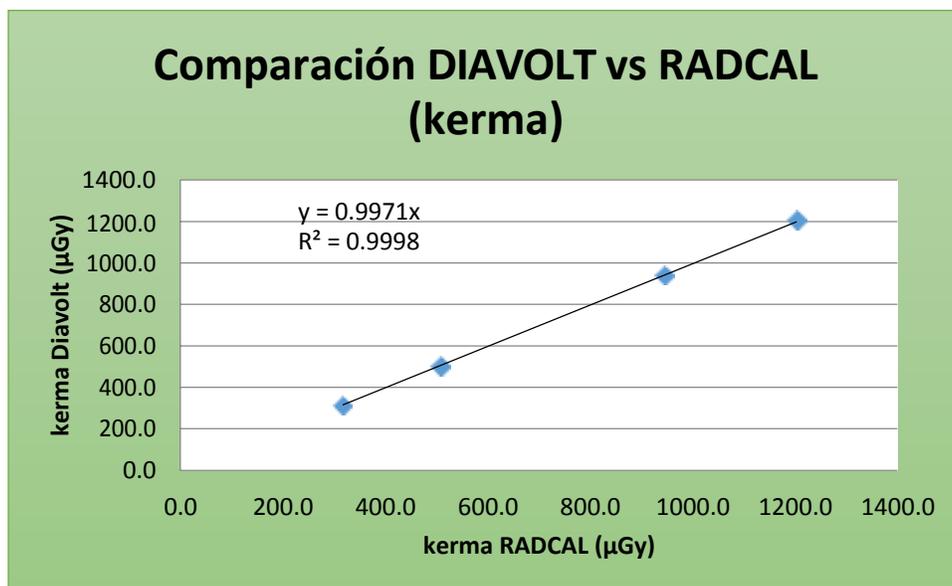
Nota: La respuesta de los gráficos comparativos para los datos de tensión y tiempo fueron promediados para todas las técnicas utilizadas en las mediciones realizadas, los datos de Kair, fueron promediados para 100 mA, con el objetivo de reducir complejidad de las gráficas de comparación de sistemas dosimétricos donde se presenta una muestra del promedio del kerma en aire para cuatro tensiones diferentes 50, 60, 80,90 kV, conociendo que el sistema Radcal es nuestro patrón de referencia con certificado vigente. Al igual que en la tensión y el tiempo de exposición este factor de corrección 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 y 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 Radcal, tales gráficos mostramos a continuación:

**Gráfico 1. Comparación del Kerma de los sistemas dosimétricos Nomex vs Radcal**

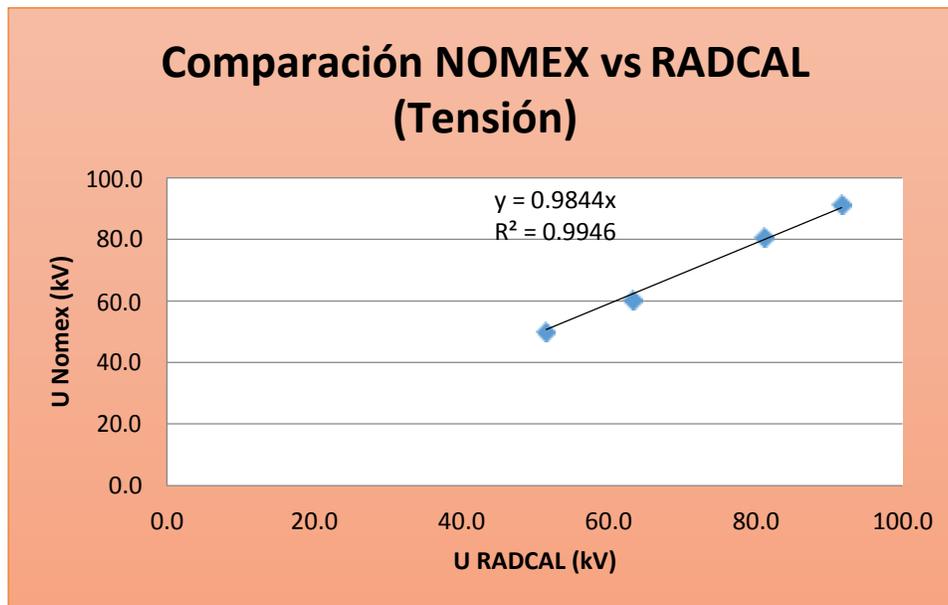


En el gráfico 1 y 2 se observa un comportamiento lineal obteniendo una respuesta de exactitud entre ambos sistemas.

**Gráfico 2. Comparación del Kerma de los sistemas dosimétricos Diavolt Vs Radcal**

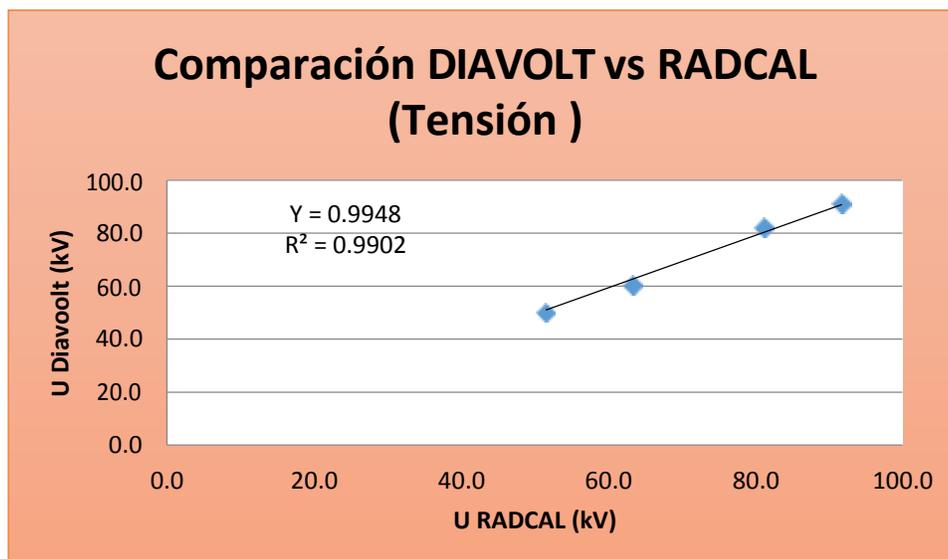


**Gráfico 3. Comparación de los sistemas Nomex y Radcal con respecto a la Tensión**

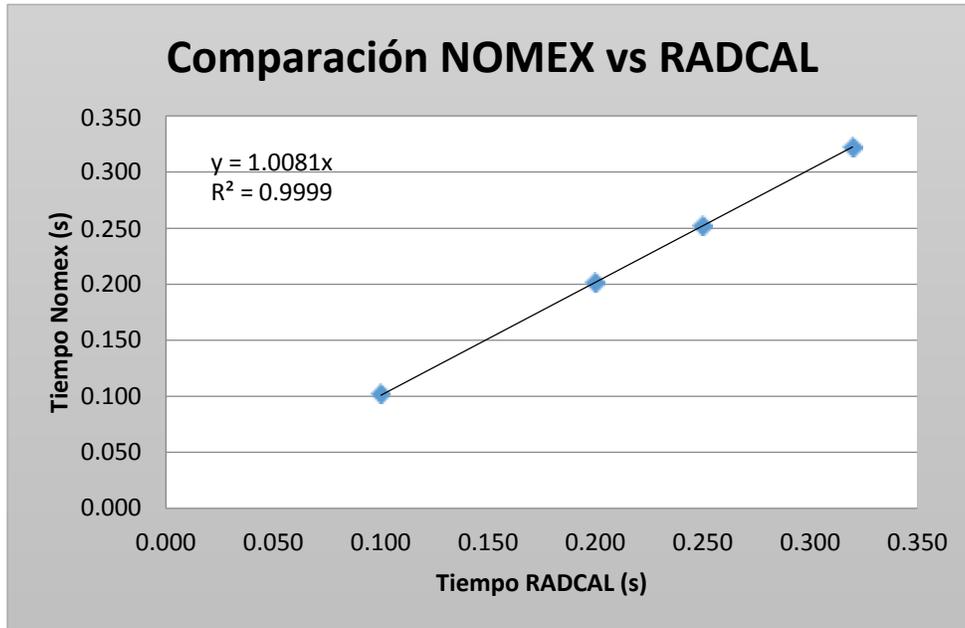


En el gráfico 3 y 4 se observa un comportamiento lineal obteniendo una respuesta de exactitud entre ambos sistemas.

**Gráfico 4. Comparación de los sistemas Diavolt y Radcal con respecto a la Tensión**

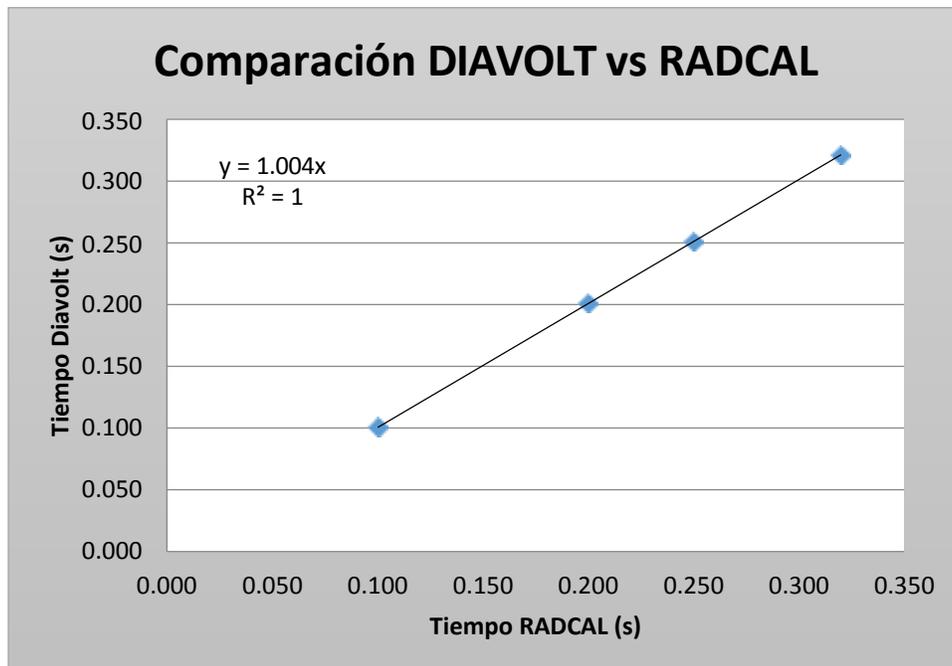


**Gráfico 5. Comparación de los sistemas dosimétricos Nomex y Radcal con respecto al tiempo**



En el gráfico 5 y 6 se observa un comportamiento lineal obteniendo una respuesta de exactitud entre ambos sistemas.

**Gráfico 6. Comparación de los sistemas dosimétricos Diavolt y Radcal con respecto al Tiempo**



## **8.9. Metodología para elaboración de un gráfico de control aplicado en un aseguramiento de la validez de los resultados.**

Cuando hablamos de los equipos de trabajo es necesario conocer el comportamiento en el tiempo de nuestros equipos, es decir, cuanto sea desgastado en el tiempo, por lo general para calcular un gráfico de control, se necesita tener al menos a partir de tres calibraciones de las mismas para el cálculo adecuadamente.

Por lo cual cuando tenemos un certificado de calibración de nuestro equipo patrón podemos tomar las respectivas mediciones e ir graficando , realizando el gráfico de control a partir de las tres mediciones permitiéndonos así conocer la estabilidad de nuestro equipo, como también nos ayuda a que podamos modificar nuestro programa de calibración en base a esos resultados, lo que contribuye a que podríamos extender el período de calibración o podríamos entender que nuestro equipo ha logrado estabilidad lo suficiente y que debemos disminuir los periodos de calibración.

En el momento de presentar y analizar resultados de los informes de calibración y prueba realizados, nos ayuda llevar un control metrológico de patrones de referencia de trabajo y verificaciones, consiguiendo validar métodos de calibración, resultados y captura adecuada de datos y no obstante evaluar las magnitudes metrológicas usadas en el proceso. (MetAs, 2006).

Este trabajo de investigación aborda el estudio de gráfico de control por variables. Típicamente los diagramas de variables son utilizados en parejas las cuales son la media y la desviación estándar en el caso de este trabajo, donde un diagrama revisa el promedio del proceso o sea la estabilidad, y el otro revisa la variación del proceso para el control de la precisión.

Siguiendo y poniendo en práctica toda la teoría dicha anteriormente se describe la metodología realizada para este trabajo en la implementación de un gráfico de control, la cual se detallará a continuación:

Por lo tanto este trabajo se desarrolló con un enfoque cuantitativo y se utilizaron datos generados por los kit dosimétricos como lo son el DIAVOLT, NOMEX Y RADCAL (donde el equipo dosimétrico RADCAL se usó como equipo de referencia para las mediciones) para

la realización de tres gráficos de control tanto para el seguimiento de la exactitud del proceso, como para la precisión del mismo a través de los factores de corrección para calcular un valor Medio y de la Desviación Estándar para establecer los límites respectivamente. Los datos necesarios para la construcción del gráfico de control se obtienen mediante generación de números aleatorios a través de Microsoft Excel 2013.

Se debe de implementar el uso de tablas de datos de control las cuales se obtienen de todos los datos recopilados durante el ensayo o calibración. El tipo de formato utilizado será de una hoja de cálculo donde junto a los resultados se indicará su fecha de ensayo y trazabilidad.

Se prosigue con el número de muestras lo cual por definición es el tamaño de muestras sometidas a ensayos. De esta manera los resultados obtenidos en el control de calidad constituyen una muestra, siendo la población el conjunto de las características de la totalidad de los elementos del proceso.

Después se tiene que buscar el valor medio, que es lo mismo que la media aritmética los cuales son todos los resultados de la muestra.

Por otro lado, también se tiene que incorporar la desviación estándar o la dispersión de los valores individuales con respecto al valor medio.

Se graficó los puntos de los factores de corrección para los sistemas de medición Diavolt y Nomex. Obteniendo de que el factor de corrección para tensión del Nomex es según el registro del año 2019 tomando la primera calibración realizada en el mes de junio fue de 0.9708 y en la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.9452 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes de agosto lo cual fue 0.9536 y en la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año es de 0.9503. También se obtuvieron los factores de corrección para la tensión del Diavolt los cuales fueron tomados según el registro de la primera calibración del año 2019 en el mes de junio, este fue de 0.9407 y de la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.9627 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes agosto fue de 0.9616 y la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año realizada fue de 0.9578.

Así también obteniendo de que el factor de corrección para el Tiempo del Nomex es según el registro del año 2019 tomando la primera calibración realizada en el mes de junio fue de

1.006 y en la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.997 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes de agosto lo cual fue 1.007 y en la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año fue de 1.000. También se obtuvieron los factores de corrección para el tiempo del Diavolt los cuales fueron tomados según el registro de la primera calibración del año 2019 en el mes de junio, este fue de 1.001 y de la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.998 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes agosto lo cual fue de 1.005 y la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año fue de 1.000.

De igual manera se obtiene de que el factor de corrección para el Kerma en aire del Nomex son según el registro del año 2019 tomando la primera calibración realizada en el mes de junio fue de 0.9949 y en la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 1.0493 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes de agosto lo cual fue 1.0189 y en la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año realizada por nosotros fue de 0.9507. También se obtuvieron los factores de corrección para Kerma en aire del Diavolt los cuales fueron tomados según el registro de la primera calibración del año 2019 en el mes de junio, este fue de 0.9739 y de la segunda calibración realizada en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.9793 después se tomaron los factores de corrección de los registros del año 2020 en el mes agosto lo cual fue de 1.0496 y la segunda calibración en el mes de diciembre de dicho año fue de 0.9921.

Como consiguiente se tomó como 95.45% de nivel de probabilidad para trazar los límites de alarma( $2\sigma$  en condiciones normales con suficientes grados de libertad) mientras que los límites de control se trazan, generalmente, al nivel del 99.73%( $3\sigma$  en condiciones normales con suficientes grados de libertad) si el procedimiento está bajo control, los resultados caerán dentro de los límites de control aproximadamente el 100% de las ocasiones y dentro de los límites de alarma aproximadamente el 95% de las veces.

$LCI = X - 3\sigma$ $LC = X$ $LCS = X + 2\sigma$
--

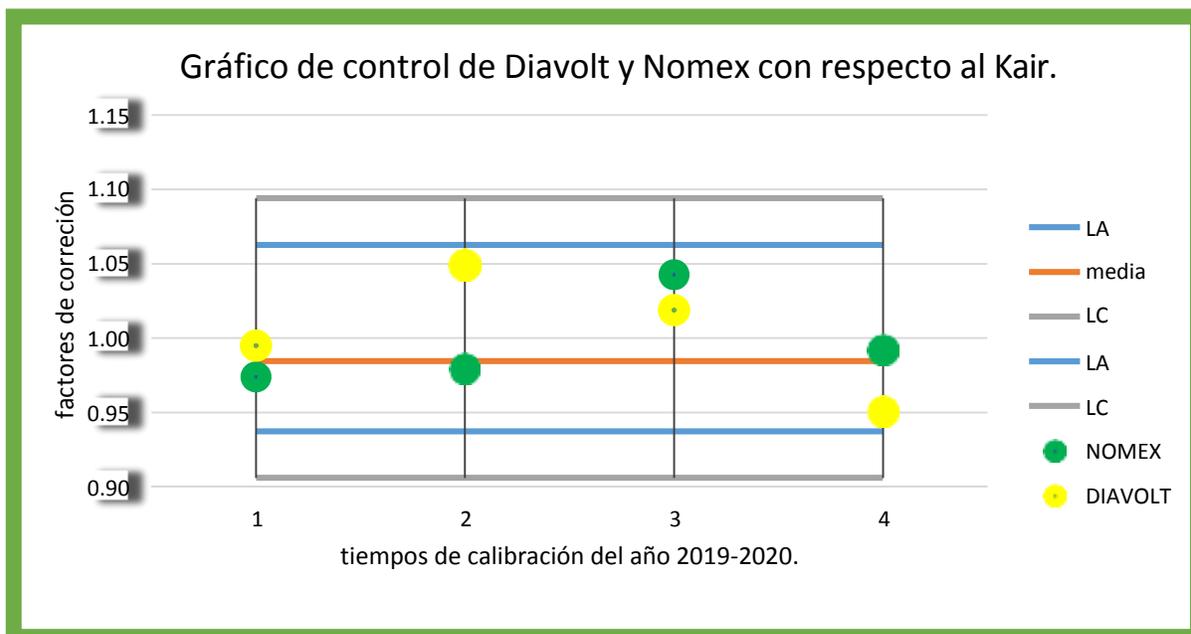
Se tomaron los factores de corrección como la media de Kair ( $\mu\text{Gy}$ ), Tensión (kV) y Tiempo(s) como referencia para poder graficar los límites de control.

**Tabla 4. Muestra los datos de factores de corrección y Kerma en aire para elaboración de gráfico de control.**

Kair				
Año	Mes	NOMEX	DIAVOLT	FC media
2019	Junio	0.9949	0.9739	1
	Diciembre	1.0493	0.9793	1
2020	Agosto	1.0189	1.0426	1
	Diciembre	0.9507	0.9921	1

En la tabla 4 Se presenta el promedio de los tiempos de exposición para cada sistema Diavolt y Nomex tomando los factores de corrección de las mediciones anteriores y actuales a la fecha de noviembre del 2020. Esto se logró mediante el cálculo de factor corrección 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 y Nomex.

**Gráfico 7. Gráfico de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto al Kerma Aire**



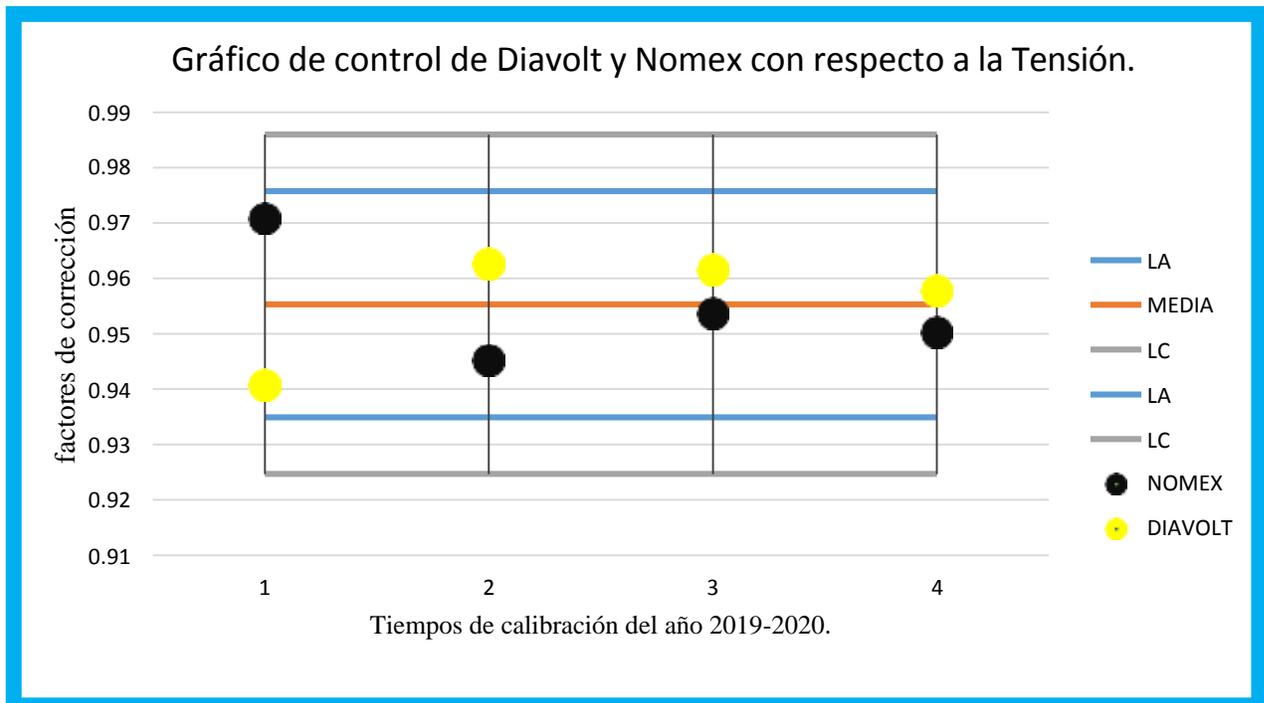
En el gráfico 7 En el gráfico de control con respecto al Kerma se observa un comportamiento bajo control según los límites establecidos de  $2\sigma$  y  $3\sigma$ .

**Tabla 5. Tabla de datos de factores de corrección y Tensión para elaboración de gráfico de control.**

Tensión				
Año	Mes	NOMEX	DIAVOLT	FC media
2019	Junio	0.9708	0.9407	1
	Diciembre	0.9452	0.9627	1
2020	Agosto	0.9536	0.9616	1
	Diciembre	0.9503	0.9578	1

**En la tabla 5** Se presenta el promedio de la Tensión de exposición para cada sistema Diavolt y Nomex tomando los factores de corrección de las mediciones anteriores y actuales a la fecha de noviembre del 2020. Esto se logró mediante el cálculo de factor corrección 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 y Nomex.

**Gráfico 8. Gráfico de control de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto a la Tensión**



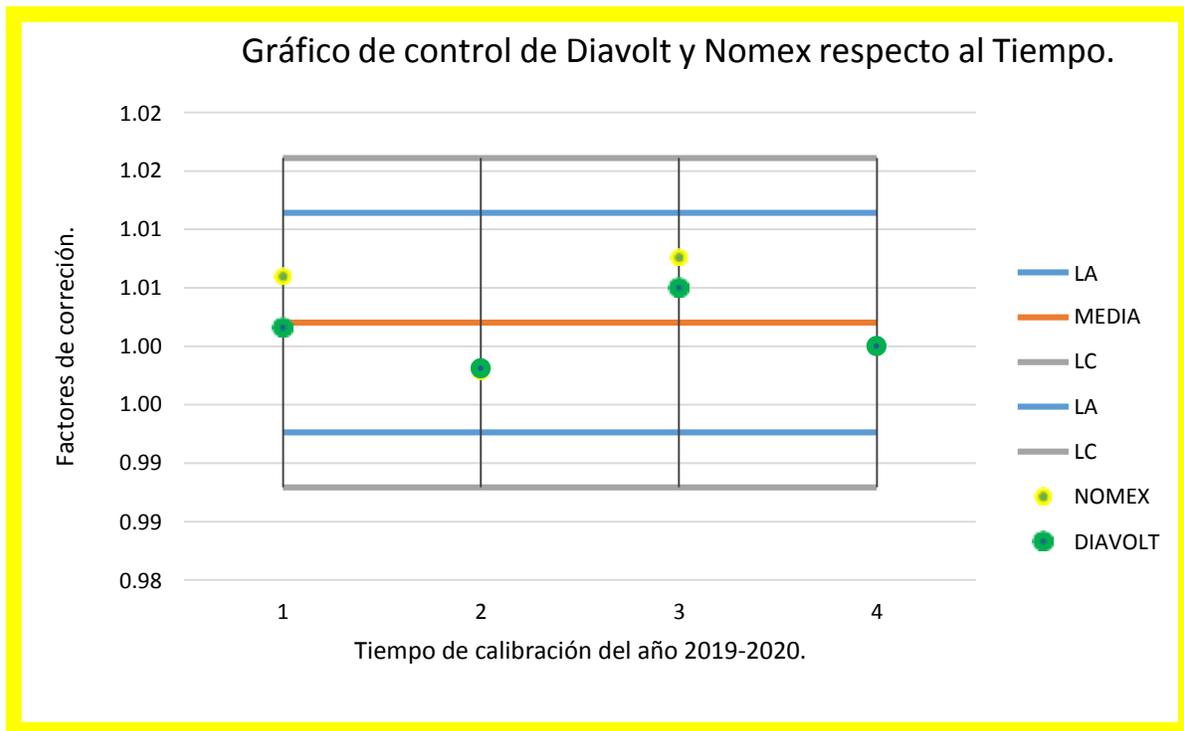
**En el gráfico 8** En el gráfico de control con respecto a la Tensión se observa un comportamiento bajo control según los límites establecidos de  $2\sigma$  y  $3\sigma$ .

**Tabla 6. Tabla de datos de factores de corrección y tiempo para elaboración de gráficos de control.**

Tiempo				
Año	Mes	NOMEX	DIAVOLT	FC media
2019	Junio	1.006	1.00	1
	Diciembre	0.9978	1.00	1
2020	Agosto	1.0076	1.01	1
	Diciembre	1	1	1

En la tabla 6 Se presenta el promedio de los tiempos de exposición para cada sistema Diavolt y Nomex tomando los factores de corrección de las mediciones anteriores y actuales a la fecha de noviembre del 2020. Esto se logró mediante el cálculo de factor corrección 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 y Nomex.

**Gráfico 9. Gráfico de control de control de equipo dosimétrico Diavolt y Nomex con respecto a la Tiempo**



En el gráfico 9 En el gráfico de control con respecto a la tensión se observa un comportamiento bajo control según los límites establecidos de  $2\sigma$  y  $3\sigma$ .

## 9. CONCLUSIONES

Se analizó el procedimiento de Aseguramiento de la validez de los resultados en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología, lo cual se dedujo que, si hay una oportunidad de mejora en dicho procedimiento basado en el proceso técnico del Laboratorio de Control de Calidad y Monitoreo, donde permitió hacer una mejor implementación de los aspectos relacionados con la calidad de los datos obtenidos. Con esto fue posible realizar un diagnóstico de la implementación en el procedimiento técnico del laboratorio de control y monitoreo LCM – PT – 04 y además de encontrar posibles sugerencias para la incorporación.

Se contribuyó con una nueva metodología basándonos en la última comparación de sistemas o kit dosimétricos que fue en agosto del 2020; realizando una actualización de datos y colaborando con la implementación en la que incluye un gráfico de control donde se definieron como límites los siguientes: , se tomó como 95.45% de nivel de probabilidad para trazar los límites de alarma  $2\sigma$  en condiciones normales con suficientes grados de libertad mientras que los límites de control se trazan generalmente, al nivel del 99.73%; de igual se tomó como límite de control o de invalidación para  $3\sigma$  en condiciones normales con suficientes grados de libertad, por lo tanto se puede decir que el gráfico de control para los sistemas dosimétricos se encuentran dentro de los límites con suficiente grados de libertad de control, en otros términos el comportamiento analizado de los sistemas dosimétricos está bajo control.

Se obtuvo una muestra de valores medidos por dichos sistemas en diciembre del año 2020, teniendo así el resultado del factor de corrección para los sistemas de medición Diavolt y Nomex. Obteniendo que el factor de corrección para la tensión para Nomex es de 0.9503 y para el Diavolt es de 0.9578; para el tiempo de exposición para Nomex es de 1.000 y para Diavolt 1.000. y el factor de corrección para el Kerma en aire del Nomex es de 0.9507 y para Diavolt es de 0.9921. En todos los casos el factor de corrección es aproximadamente igual a uno.

En síntesis que el uso de los gráficos de control es de gran ayuda para el aseguramiento de la validez de los resultados ya que con estas podemos ver la estabilidad y exactitud de los sistemas de medición por medio de los factores de corrección y saber si son confiables metrológicamente.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Petróleo. (Miércoles de Octubre de 2020). *GENERALIDADES SOBRE SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LABORATORIOS*. Obtenido de Acp: <https://acp.com.co/web2017/es/resoluciones/220-iso-17025-sistema-de-calidad-laboratorios-1/file>
- bethancourt D.F, 2. (2016). *Ingenio Empresa*. Obtenido de <https://ingenioempresa.com/grafico-de-control/#:~:text=Paso%205%3A%20Determina%20la%20%3ADnea,Interpreta%20el%20gr%3A1fico>
- Bqca. QM Alicia I. Cuesta. (s.f.). *GENERALIDADES DE LA NORMA ISO 17025*. Obtenido de REQUISITOS DE GESTION: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/comagric/codex/rla3013/pdf/aseg1.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/comagric/codex/rla3013/pdf/aseg1.pdf)
- Castro, C. H., Alonso, P. B., & González, J. A. (04 de Noviembre de 2005). *Aplicación de los gráficos de control en el análisis de la calidad textil*. Obtenido de file:///C:/Users/gustavo%20barreda/Downloads/744-2682-1-PB.pdf
- cucsur. (Martes de Octubre de 2020). *sistema de gestion de calidad- requisitos*. Obtenido de ISO 9001;2015: [http://www.cucsur.udg.mx/sites/default/files/iso\\_9001\\_2015\\_esp\\_rev.pdf](http://www.cucsur.udg.mx/sites/default/files/iso_9001_2015_esp_rev.pdf)
- Delgado, O., & Delgado, O. (2020). *SGC LAB, 2020*. Obtenido de <https://sgc-lab.com/como-realizar-las-verificaciones-intermedias-en-tu-laboratorio-sin-ser-un-experto/>
- gestiopolis. (05 de Octubre de 2020). *sistema de gestion de calidad*. Obtenido de gestiopolis: [www.gestiopolis.com/sistemas-gestion-calidad/](http://www.gestiopolis.com/sistemas-gestion-calidad/)
- Gutierrez, V. M. (18 de Noviembre de 2020). *NTC-ISO/IEC17025:2017Requisitos Generalespara la Competenciade los Laboratorios deEnsayo y Calibración*. Obtenido de Academia Edu: [https://www.academia.edu/37239836/NTC\\_ISO\\_IEC\\_17025\\_2017\\_Requisitos\\_Generales\\_para\\_la\\_Competencia\\_de\\_los\\_Laboratorios\\_de\\_Ensayo\\_y\\_Calibraci%C3%B3n](https://www.academia.edu/37239836/NTC_ISO_IEC_17025_2017_Requisitos_Generales_para_la_Competencia_de_los_Laboratorios_de_Ensayo_y_Calibraci%C3%B3n)
- Guzmán, A. H., Gallegos, M. d., & Madrid, M. M. (2001). *Secretaria d comunicaciones y transporte*. Obtenido de Sistema de calidad y acreditación aplicados a laboratorios de prueba : <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt185.pdf>
- Inatec. (06 de Octubre de 2020). *Manual de gestion de calidad*. Obtenido de Inatec: [https://www.tecnacional.edu.ni/media/MANUAL\\_GESTION\\_DE\\_CALIDAD\\_1.pdf](https://www.tecnacional.edu.ni/media/MANUAL_GESTION_DE_CALIDAD_1.pdf)
- ISO. (s.f.). *Sistema de gestion de calidad- fundamentos y vocabulario*. Obtenido de iso: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>
- James O. Westgard, P. (12 de NOVIEMBRE de 2013). *Practicas basicas de control de calidad*. Obtenido de Capacitación en Control Estadístico de la Calidad para Laboratorios Clínicos: <https://www.ifcc.org/media/333582/2015%20Pr%C3%A1cticas%20B%C3%A1sicas%20de%20Control%20de%20Calidad.pdf>

- Leiva, V. B., Soler, V. G., & Molina, A. I. (Junio de 2016). *Estrategia y Desarrollo de una guía de implementación de la norma ISO9001:2015 Aplicación Pymes de la comunidad valenciana*. Obtenido de Dialnet: <file:///C:/Users/gustavo%20barreda/Downloads/Dialnet-EstrategiaYDesarrolloDeUnaGuiaDelImplantacionDeLaNo-655245.pdf>
- Marcela Alvarez, 2. (2006). *verificacion del funcionamiento de laboratorios*. Obtenido de <https://docs.google.com/presentation/d/1YNrtXCPnhEqdwnYx7Evc-9KyI9RqmfeWyoRfsEtr-Zg/edit#slide=id.p1>
- Medrano, M., Vanegas, F. S., & Zúniga, N. R. (2020). *MANUAL CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS*. Managua/ Nicaragua: Unan- Managua.
- MetAs, L. G. (06 de Junio de 2006). *Cartas de Control para Instrumentos de Medición*. Obtenido de AMC SpA: <http://amcsoluciones.cl/media/metas-03-La-Guia-MetAs-04-06-Cartas-Control.pdf>
- Norma Internacional ISO 9000. (26 de Noviembre de 2020). *Sistemas de gestión de la calidad/ conceptos y vocabularios*. Obtenido de Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana : <http://www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%209000-2000%20Sistemas%20de%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Calidad.pdf>
- pdcahome. (12 de noviembre de 2020). *Diagramas de control: Gráficos para controlar procesos*. Obtenido de pdcahome: [www.pdcahome.com/diagramas-de-control/](http://www.pdcahome.com/diagramas-de-control/)
- Rodríguez-Benavides, G., & Blanco-Sáenz, R. (junio de 2001). *Aseguramiento de la calidad analítica y norma ISO 17 025*. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-29482001000100009](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-29482001000100009)
- Soares, M. (07 de Septiembre de 2018). *CAPACITACIÓN SOBRE LA NORMA ISO/IEC 17025:2017 - CAMBIOS Y TRANSICIÓN* . Obtenido de Programa Mipymes y Cooperativas : [https://www.programamipymesycooperativas.gob.gt/wp-content/uploads/2019/02/4\\_ISO\\_IEC\\_17025\\_2017\\_Guatemala.pdf](https://www.programamipymesycooperativas.gob.gt/wp-content/uploads/2019/02/4_ISO_IEC_17025_2017_Guatemala.pdf)
- SPC Consulting group. (6 de febrero de 2013). Obtenido de SPC Consulting Group.: <https://spcgroup.com.mx/grafica-de-control/>
- Torres, I. (2020). *Consultores, 2020*. Obtenido de <https://iveconsultores.com/como-hacer-calibracion-y-verificacion-interna-iso-9001/>
- Universidad Politecnica de Valencia. (2 de noviembre de 2020). Obtenido de Universidad Politecnica de Valencia.: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/02/29/calibracion-equipo-medida/#:~:text=Se%20denomina%20calibraci%C3%B3n%20al%20conjunto,conocidos%20de%20una%20magnitud%20medida.>

## 11. ANEXOS



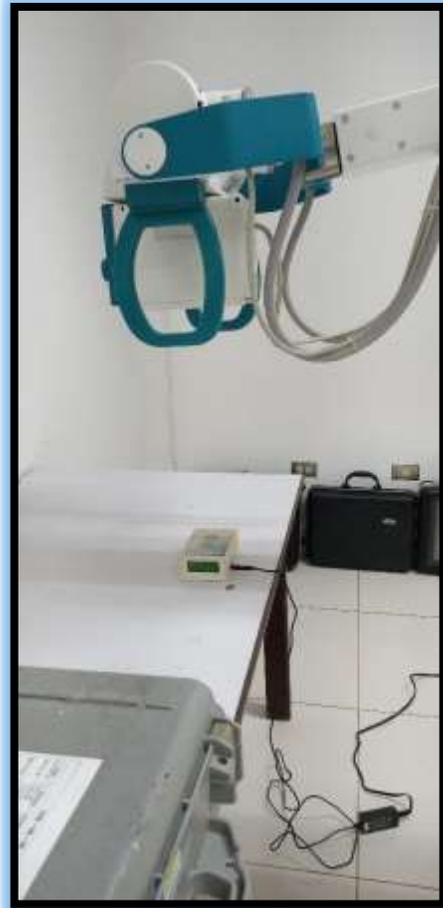
**Figura 4 EQUIPO DE MEDICIÓN  
DIAVOLT**



**Figura 5 MONTAJE DE EQUIPO  
DOSIMÉTRICO NOMEX**



**Figura 6 EQUIPO DOSIMÉTRICO  
NOMEX**



**Figura 8 MONTAJE DEL EQUIPO DE  
REFERENCIA RADCAL**



**Figura 7 EQUIPO DOSIMÉTRICO  
RADCAL. USADO COMO EQUIPO DE  
REFERENCIA**



**Figura 9 PREPARANDO MONTAJE  
PARA REALIZAR MEDICIONES**

**Ilustración 1**



**Figura 10 POSICIONANDO EQUIPOS**

**Ilustración 2**

**Tabla 7. Mediciones Radcal. Datos tomados como equipo de referencia para nuestras mediciones**

RADCAL						
$U_{nominal}(kV)$	$I(mA)$	$t_{nominal}(s)$	$Q(mAs)$	$U(kV)$	$t(s)$	$K_{aire}(\mu Gy)$
50	50	0.1	5	51.85	0.100	156.9
				51.80	0.100	161.3
				51.80	0.100	161.9
	100		10	51.49	0.100	314.8
				51.50	0.100	317.2
				51.48	0.100	318.4
	200		20	51.20	0.100	627.8
				51.17	0.100	630.9
				51.22	0.100	630.6
60	50	0.1	5	63.79	0.100	261.5
				63.67	0.100	258.2
				63.59	0.100	261.5
	100		10	61.31	0.100	507.2
				61.31	0.100	510.1
				61.34	0.100	507.4
	200		20	62.88	0.100	1011.0
				62.91	0.100	1010.0
				62.89	0.100	1012.0
80	64	0.1	6.4	81.48	0.100	619.5
				81.47	0.100	627.2
				81.50	0.100	623.4
	100		10	81.24	0.100	945.2
				81.23	0.100	943.4
				81.16	0.100	948.7

	200		20	80.75	0.100	1875.0
				80.73	0.100	1864.0
				81.67	0.100	1867.0
90	64	0.1	6.4	92.04	0.100	786.7
				91.99	0.100	799.4
				91.96	0.100	801.0
	100		10	91.81	0.100	1208.0
				91.80	0.100	1201.0
				91.79	0.100	1202.0
	160		16	91.52	0.100	1930.0
				91.54	0.100	1923.0
				91.56	0.100	1923.0

**Tabla 8. Mediciones del equipo dosimétrico Diavolt**

DIAVOLT						
$U_{nominal}(kV)$	$I(mA)$	$t_{nominal}(s)$	$Q(mAs)$	$U(kV)$	$t(s)$	$K_{aire}(\mu Gy)$
50	50	0.1	5	50.3	0.101	156.4
				50.2	0.101	157.8
				50.3	0.101	158.2
	100		10	49.9	0.102	311.6
				50.0	0.101	311.5
				49.9	0.101	312.2
	200		20	49.9	0.101	616.0
				49.9	0.101	618.5
				49.9	0.101	617.5
60	50	0.1	5	60.6	0.101	252.8
				60.6	0.101	254.2

				60.6	0.101	255.2
	100		10	60.5	0.101	499.5
				60.5	0.101	501.9
				60.5	0.101	500.2
				60.2	0.101	996.6
	200		20	60.2	0.101	999.3
				60.1	0.101	1001.0
80	64	0.1	6.4	82.3	0.102	622.2
				82.5	0.102	617.9
				82.4	0.101	620.9
	100		10	82.4	0.101	939.3
				82.4	0.101	941.6
				82.3	0.101	941.6
	200		20	82.0	0.101	1861.0
				81.9	0.101	1858.0
				81.9	0.101	1865.0
90	64	0.1	6.4	91.3	0.101	796.5
				91.2	0.101	797.8
				91.2	0.101	797.8
	100		10	91.1	0.101	1204.0
				91.1	0.101	1206.0
				91.1	0.101	1207.0
	160		16	90.9	0.101	1934.0
				90.8	0.101	1937.0
				90.9	0.101	1937.0

**Tabla 9. Tabla de mediciones del equipo dosimétrico Nomex**

NOMEX						
U(kV)	I(mA)	t(s)	Q(mAs)	U (kV)	t(s)	K <sub>aire</sub> (μGy)
50	50	0.1	5	50.0	0.101	165.4
				50.0	0.101	165.6
				50.0	0.101	164.3
	100		10	50.0	0.101	333.6
				50.0	0.101	332.7
				50.0	0.101	333.1
	200		20	49.6	0.101	660.4
				49.6	0.102	660.0
				49.6	0.102	657.1
60	50	0.1	5	60.4	0.102	266.4
				60.6	0.102	266.9
				60.5	0.102	264.3
	100		10	60.5	0.101	534.9
				60.4	0.101	535.5
				60.5	0.101	523.7
	200		20	60.2	0.101	1068.0
				60.2	0.101	1068.0
				60.3	0.101	1064.0
80	64	0.1	6.4	81.0	0.102	654.1
				81.0	0.102	652.7
				81.0	0.102	651.7
	100		10	80.6	0.102	988.1
				80.6	0.102	986.3
				80.6	0.102	987.5
	200		20	80.6	0.102	1969.0
				80.3	0.102	1969.0
				80.3	0.102	1966.0
90	64	0.1	6.4	91.6	0.102	837.0
				91.6	0.102	836.4
				91.6	0.102	834.2
	100		10	91.4	0.102	1269.0
				91.3	0.102	1268.0
				91.3	0.102	1266.0
	160		16	91.1	0.102	2009.0
				91.1	0.102	2031.0
				91.1	0.102	2029.0