

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD EN EQUIPOS DE RAYOS X

José Ignacio Restrepo Valencia

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
PROGRAMA ACADÉMICO DE FÍSICA
SANTIAGO DE CALI
FEBRERO DE 2019

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD EN EQUIPOS DE RAYOS X

José Ignacio Restrepo Valencia

Trabajo de Grado presentado a la UNIVERSIDAD DEL VALLE como requisito
parcial para optar el título de FISICO

Director: Ph.D Ligia Edith Zamora

Co Director: B.Sc. Esp. Mauricio Ariza

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
PROGRAMA ACADEMICO DE FISICA
SANTIAGO DE CALI
FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
PROGRAMA ACADEMICO DE FISICA

JOSE IGNACIO RESTREPO VALENCIA

**Implementación de protocolos de control de calidad en
equipos de rayos X**

Palabras claves

- Radio protección
- Rayos X
- Control de calidad

Agradecimientos

Primeramente a Dios, quien me dio las fuerzas y la sabiduría para poder realizar este trabajo, a mi esposa Sindy Bayona quien estuvo en los momentos más difíciles en el transcurso de este pregrado.

A mi madre Ana María, quien me apoyó incondicionalmente, dándome consejos y ánimos cuando quise desistir.

A la empresa SIFEM GROUP quienes me dieron la oportunidad de realizar este trabajo con sus equipos, y personal capacitado para ello, en cabeza del físico Mauricio Ariza.

A mi amigo Juan Felipe quien me ayudo en varias etapas de este trabajo, a mis hermanos y familiares, tíos primos a todos ellos mil gracias.

A los profesores Esperanza Torijano y Diego Peña quienes me dieron la oportunidad de continuar aun cuando quise retirarme de la carrera.

A mi directora del trabajo La profesora Ligia Zamora, quien me dio la orientación profesional para culminar este trabajo.

Y a todas las personas que estuvieron apoyándome incondicionalmente.

Resumen	X
Abstract	XI
1. Introducción	1
2. Teoría	4
Radiaciones ionizantes	4
Fuentes de radiación ionizante	7
Unidades de dosis y dosimetría	7
Producción de rayos X	11
Detección de la radiación	14
3. Aspectos generales de la protección radiológica	19
Clasificación de las áreas	21
Monitoreo ambiental	21
Protección radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos	22
Monitoreo individual	23
Monitoreo rutinario	24
Monitoreo de áreas	24
Niveles orientativos de referencia	24
4. Experimentación levantamiento radiométrico	26
4.1 Instrumentación	26
4.2 Metodología	27
4.3 Interpretación y acciones	28
4.4 Experimentación Protocolos de control de calidad a equipos emisores de Rayos X	29
4.4.1 Instrumentación usada para el procedimiento	30
4.4.2 Objetivos del control de calidad	32
4.4.3 Justificación	33
4.4.4 Pruebas de control de calidad y metodología	33
5. Resultados y discusión	35
5.1 Estudio radiométrico	35

5.2 Resultados control de calidad	38
5.2.1 Equipo periapical	39
5.2.2 Equipo de Rayos X convencional	43
5.2.3 Equipo de mamografía	49
5.2.4 Equipo de fluoroscopia	53
6. Conclusiones	
Bibliografía	
Anexos	

Índice de figuras

2.1	Representación esquemática de la estructura atómica	4
2.2	Esquema de un tubo de rayos X	11
2.3	Equipo de radiografía periapical, con sus partes principales.	13
2.4	Equipo de mamografía con sus partes principales	13
2.5	Equipo de fluoroscopia	14
2.6	Dosímetro personal TLD	15
2.7	Esquema de un detector gaseoso de radiación	15
2.8	Cámara de ionización	16
2.9	Detector proporcional	16
2.10	Detector Geiger-Müller	17
2.11	Esquema interno de un detector de centelleo	17
2.12	Detector de Germanio	18
3.1	Niveles orientativos de dosis para procedimientos de radiografía	25
4.1	Cámara de ionización marca RADCAL	27
4.2	Kit de control de calidad marca RADCAL	30
4.3	Herramienta de punto focal	31
4.4	Herramienta para verificar la alineación y colimación del haz	31
4.5	Phantom de mamografía o simulador de mama	32
4.6	Phantom de radiografía general y fluoroscopia	32
5.1	Equipo de rayos X convencional Clínica Colsánitas con su placa de seriales	36
5.2	Esquema o croquis de las instalaciones donde los puntos rojos indican los lugares de las mediciones	37
5.3	Registro fotográfico equipo periapical Fiad Xplor-x	39
5.4	Sistema de colimación equipo periapical	40
5.5	Registro fotográfico equipo de rayos X convencional clínica Colsánitas	43

5.6	Perpendicularidad del haz de radiación equipo de rayos X convencional	44
5.7	Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación equipo de rayos X convencional	45
5.8	Imagen obtenida para la prueba de alto contraste equipo de rayos X convencional	47
5.9	Imagen obtenida para la prueba de bajo contraste equipo de rayos X convencional	48
5.10	Imagen obtenida para la prueba de rango dinámico equipo de rayos X convencional	48
5.11	Registro fotográfico equipo de mamografía Ensalud IPS	49
5.12	Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación	50
5.13	Resultado obtenido para la prueba del sistema de imagen mamógrafo	52
5.14	Registro fotográfico equipo de fluoroscopia	54
5.15	Sistema de colimación equipo de angiografía	55
5.16	Perpendicularidad y centrado del haz equipo de fluoroscopia	55

Índice de tablas

2.1	Unidades de medida de la dosis absorbida	8
2.2	Factor de ponderación WR	9
2.3	Unidades de medida de la dosis equivalente	9
2.4	Factor de ponderación W_T o coeficiente de radio sensibilidad en los diferentes tejidos y órganos	10
4.1	Factores de ocupación (T)	28
4.2	Niveles de restricción de dosis ARCAL 49	29
5.1	Datos del equipo de rayos X convencional Clínica Colsánitas	35
5.2	Parámetros de operación del equipo	36
5.3	Dosis calculada en el estudio radiométrico	37
5.4	Medidas radiación de fuga alrededor del cabezal	40
5.5	Resultados repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición equipo periapical	41
5.6	Resultados exactitud y repetibilidad de la tensión equipo periapical	41
5.7	Resultados radiación de fuga equipo rayos X convencional	43
5.8	Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición equipo rayos X convencional	45
5.9	Exactitud y repetibilidad de la tensión equipo de rayos X convencional	46
5.10	Valores de HVL para el equipo de rayos X convencional	46
5.11	Repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición mamógrafo	51
5.12	Repetibilidad y exactitud de la tensión mamógrafo	51
5.13	Dosis de entrada en la piel mamógrafo	53
5.14	Repetibilidad y exactitud de la tensión equipo de fluoroscopia	55
5.15	Resultados dosis de entrada en la piel equipo de fluoroscopia	56

Un control de calidad a equipos emisores de rayos X consiste en la medición y revisión de parámetros de operación del tubo de rayos X, niveles de exposición de radiación del personal ocupacional y el público en general cercano al equipo. Con base en los protocolos internacionales de control de calidad (ARCAL 49, Acuerdo de Cooperación Regional para la Promoción de la Ciencia Nuclear y Tecnología en América Latina y el protocolo español de control de calidad) se redactará el documento de procedimientos y se realizarán cuatro controles de calidad distribuidos para un equipo de mamografía, uno de odontología periapical, uno de rayos X convencional y uno de fluoroscopia.

Este trabajo consiste en evaluar los resultados de las mediciones a los parámetros de operación del tubo de rayos X si cumplen o no con las tolerancias mínimas de operación para su uso clínico. Los procedimientos escritos serán reglamentados como protocolos internos de control de calidad para la empresa SIFEM GROUP S.A.S.

Abstract

Quality control of X-ray emitting equipment consists in the measurement and revision of operating parameters of the X-ray tube, radiation exposure levels of the occupational personnel and the general public close to the equipment. Based on the international quality control protocols (ARCAL 49, Regional Cooperation Agreement for the Promotion of Nuclear Science and Technology in Latin America and the Spanish quality control protocol) there will be four quality controls distributed for a mammography equipment, a periapical, a conventional X ray and a fluoroscopy.

This work consists of evaluating the results of the measurements to the operating parameters of the X-ray tube whether or not they meet the minimum operating tolerances for clinical use. The written procedures will be regulated as internal quality control protocols for the company SIFEM GROUP S.A.S.

Introducción

En Colombia la utilización de equipos capaces de producir radiación ionizante, es cada vez mayor por parte de las distintas ramas del campo de la medicina [1]. Dado que el alcance de su implementación aporta beneficios a la salud, y en dichos términos ha significado un avance crucial para la diagnosis temprana de enfermedades e incluso cambiar la forma en que se venían realizando tratamientos y diagnóstico de algunas patologías que representaban la realización de procedimientos quirúrgicos invasivos, como es el caso de los procedimientos neurológicos [2]. Sin embargo, el creciente aumento de la utilización de estas tecnologías junto con el no cumplimiento de algunas recomendaciones básicas, ha conllevado a la producción de efectos deterministas en algunos casos aislados a pacientes expuestos a este tipo de procedimientos, de modo que se evidencia la necesidad de prevenir, de implementar estrategias metodológicas y herramientas dosimétricas que anticipen la aparición de tales efectos.

En vista de la importancia de este procedimiento y sus distintos tipos de aplicaciones, se hace necesario el planteamiento e implementación de protocolos de calidad para evaluar las características de los parámetros físicos por los cuales se rige el funcionamiento de estos equipos, de modo que se aseguren exposiciones adecuadas a la radiación tanto para pacientes como el personal ocupacionalmente expuesto. La IAEA (*Organismo Internacional de Energía Atómica*) en su reporte técnico No 457 hace un estimado de la dosis poblacional y ésta es aportada en un 90% por estudios radiodiagnósticos que se practican a pacientes según criterios médicos de los que se menciona “*Se estima que el número anual de todos los tipos de exámenes médicos*

de rayos X realizados en el mundo fue de aproximadamente 2100 millones en el año 2000, lo que corresponde a una frecuencia anual de 360 exámenes por cada 1000 personas en todo el mundo [3].

Con base en lo anterior, es clara la necesidad de realizar controles de calidad y optimización a los equipos de rayos X de lo cual se espera como resultado la disminución de la dosis aportada por cada procedimiento llevado a cabo en pacientes, lo que inmediatamente acarreará la disminución de riesgos estocásticos y prevención en la aparición de efectos deterministas [4-6].

Las autoridades responsables del control de las radiaciones ionizantes frecuentemente están emplazadas en comisiones nucleares o de energía atómica, las cuales usualmente controlan el espesor del blindaje estructural, la seguridad del equipo, y los niveles de exposición ocupacional y en un menor grado controlan la calidad en los equipos [7], siendo nulos dichos controles a equipos de bajas energías como los que se utilizan para radiografía convencional, mamografía, fluoroscopia, angiografía e intervencionismo, entre otros, que es el caso puntual de Colombia.

En ese sentido, de acuerdo con la Resolución N° 2003 de 2014 emitida por el Ministerio de Salud y la Protección Social, señala la existencia de dos tipos de prácticas radiológicas en Colombia, la Primera es “Radiología e imágenes diagnósticas de baja complejidad” y la segunda “Radiología e imágenes diagnósticas mediana y alta complejidad”, siendo la práctica de intervencionismo y angiografía enmarcadas dentro de la categoría de alta complejidad junto a la práctica de medicina nuclear [8].

La necesidad de garantizar que la dosis programada sea igual a la recibida por el paciente, ha dado lugar a investigaciones como la realizada por J R Williams et al [9], donde identificaron 4 parámetros en el equipo, que tienen una influencia directa con la dosis de entrada en la piel, midiendo la perpendicularidad del haz, la calidad de la radiación y la capa de filtración del tubo de rayos X usando un simulador de paciente o *Phantom*. Por otro lado, Rady Azzoz et al [10], realizaron una investigación sobre la optimización de la dosis en los controles de calidad de los dispositivos de rayos X, en donde resaltan la importancia de los factores técnicos, dado que optimizar éstos parámetros puede generar reducciones sustanciales en la

dosis al paciente. También los investigadores Mehrdad Gholami et al [11] realizaron un programa de control de calidad en seis hospitales de Lorestan (Iran), con el objetivo de encontrar cambios en los parámetros de exposición de los pacientes. Como resultado de esta investigación demostró que viejos equipos de rayos X con pocos o ningún mantenimiento, son probablemente la principal fuente de reducción de la calidad de las imágenes radiográficas, y también incrementan la dosis recibida por el paciente.

Este trabajo de grado se desarrollará de la siguiente forma: en el capítulo 2 se tratará el marco teórico, con los conceptos fundamentales para el desarrollo de la tesis, en el capítulo 3 se hará una introducción de lo que es protección radiológica y porque es importante, en el capítulo 4 se enunciaran los procedimientos para realizar un estudio radiométrico y la realización de controles de calidad para los equipos de radiografía usados en la práctica medicinal. En nuestro caso son: equipos periapicales, equipos de mamografía, equipos de rayos x convencionales y equipos de fluoroscopia. Finalmente en el capítulo 5 se mostraran los resultados de las mediciones.

2. Radiaciones ionizantes

Los átomos son los bloques elementales básicos de la materia. Consisten en partículas diminutas, las denominadas partículas fundamentales o elementales, que se mantienen cohesionadas por fuerzas eléctricas y nucleares. Constan de un núcleo denso central formado por partículas nucleares (protones y neutrones) y rodeado por electrones en capas orbitales específicas.

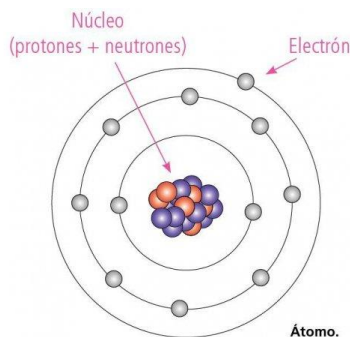


Figura 2.1 Representación esquemática de la estructura atómica

El átomo posee un número atómico (Z), que es el número de protones en el núcleo; posee un numero neutrónico (N), que es la cantidad de neutrones en el núcleo del mismo; tiene un número de masa atómica (A), que es la suma del número de protones y el número de neutrones de un átomo ($A=Z+N$).

Los núcleos pueden transformarse unos en otros, o pasar de un estado energético a otro, mediante la emisión de radiaciones. Se conoce como *decaimiento radiactivo o desintegración radiactiva*.

Esta transformación o decaimiento sucede de manera espontánea en cada núcleo, sin que pueda impedirse mediante ningún factor externo. Cada decaimiento va acompañado por la emisión de al menos una radiación.

La energía que se lleva cada radiación es perdida por el núcleo, siendo la fuerza nuclear el origen de esta energía y lo que da a las radiaciones sus dos características más útiles: poder penetrar materia y poder depositar su energía en ella.

No todos los núcleos de la naturaleza son radiactivos. El decaimiento nuclear sólo sucede cuando hay un exceso de masa-energía en el núcleo, la emisión le ayuda entonces a lograr una mayor estabilidad.

Los decaimientos radiactivos de los diferentes núcleos se caracterizan por: el tipo de emisión, su energía y la rapidez de decaimiento.

Los radioisótopos son átomos radiactivos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones (N), y por lo tanto, difieren en número másico (A).

Se define una radiación como ionizante cuando al interaccionar con la materia produce la ionización de la misma, es decir, origina partículas con carga eléctrica (iones). El origen de estas radiaciones es siempre atómico, pudiéndose producir tanto en el núcleo del átomo como en los orbitales y pudiendo ser de naturaleza corpuscular (partículas subatómicas) o electromagnética (rayos X, rayos gamma (γ)) [12].

Las radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética son similares en naturaleza física a cualquier otra radiación electromagnética pero con una energía fotónica muy elevada (altas frecuencias, bajas longitudes de onda) capaz de ionizar los átomos. Las radiaciones corpusculares están constituidas por partículas subatómicas que se mueven a velocidades próximas a la de la luz.

Existen varios tipos de radiaciones emitidas por los átomos, siendo las más frecuentes: la desintegración beta, la emisión alfa, de rayos X y neutrones. Las características de cada radiación varían de un tipo a otro, siendo importante considerar su capacidad de ionizar y su capacidad de penetración, que en gran parte son consecuencia de su naturaleza.

Radiación alfa: Emisión de agregado de dos protones y dos neutrones. Estas partículas alfa son idénticas a núcleos de helio (${}^4\text{He}$), por lo que su carga es $+2e$ y su número de masa es 4. Tienen una energía muy elevada y muy baja capacidad de penetración; las detiene una hoja de papel.

Radiación beta negativa: es la emisión de un e^- y antineutrino ($\bar{\nu}_e$). Los neutrinos son partículas subatómicas de tipo fermiónico, sin carga y espín $1/2$. Desde hace unos años se sabe, en contra de lo que se pensaba, que estas partículas tienen masa, pero muy pequeña, y es muy difícil medirla. Hoy en día (2012), se cree que la masa de los neutrinos es inferior a unos $5,5 \text{ eV}/c^2$ lo que significa menos de una milmillonésima de la masa de un átomo de hidrógeno. Además, su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla.

Radiación beta positiva: Es la emisión de un positrón (partícula de masa igual al electrón y carga positiva), como resultado de la transformación de un protón en un neutrón y un positrón. Las radiaciones beta tienen un nivel de energía menor que las partículas alfa y una capacidad de penetración mayor; son absorbidas por una lámina de metal.

Radiación de neutrones: Es la emisión de partículas sin carga, de alta energía y gran capacidad de penetración. Los neutrones se generan en los reactores nucleares y en los aceleradores de partículas, no existiendo fuentes naturales de radiación de neutrones.

Radiación gamma: Son radiaciones electromagnéticas procedentes del núcleo del átomo, tienen menor nivel de energía que las radiaciones alfa y beta, y mayor capacidad de penetración, lo que dificulta su absorción por los apantallamientos.

Rayos X: También son de naturaleza electromagnética pero se originan en los orbitales de los átomos como consecuencia de la acción de los electrones rápidos sobre la corteza del átomo. Son de menor energía, pero presentan una gran capacidad de penetración y son absorbidos por apantallamientos especiales de grosor elevado.

En las reacciones nucleares, un núcleo inestable, llamado *núcleo padre*, emite radiaciones en forma espontánea y se convierte en un núcleo más estable de un elemento diferente, llamado *núcleo hijo*. Las reacciones nucleares están determinadas por la proporción de protones y neutrones de un núcleo y se deben a la transformación mutua entre las partículas nucleares.

En los núcleos de gran masa ($Z > 83$), la fuerza de repulsión entre los protones supera a la fuerza que los mantiene unidos. Para estabilizarse emiten radiación alfa ($\text{He} = A:4$ y $Z:2$), transformándose en núcleos de menor masa.

Si un núcleo tiene un exceso de neutrones respecto a los protones, necesita aumentar su cantidad de protones para estabilizarse. Esto lo consigue transformando algunos neutrones en protones, por medio de la emisión de electrones o beta negativo.

2.1 Fuentes de radiación ionizante

Las fuentes de radiaciones ionizantes pueden ser naturales o artificiales:

Naturales: proceden de radioisótopos que se encuentran presentes en el aire, cuerpo humano, los alimentos, la corteza terrestre (rocas, materiales de construcción), el agua o el espacio (radiación cósmica). Son radiaciones no producidas por el hombre.

Artificiales: están producidas por ciertos métodos o equipos desarrollados por el hombre como por ejemplo los equipos emisores de rayos X, unidades de tele terapia, fuentes de radiactividad abiertas y selladas, detonaciones nucleares, desechos radiactivos.

2.2 Unidades de dosis y dosimetría

La Dosimetría de radiación [13] es el cálculo de la dosis absorbida en tejidos y materia como resultado de la exposición a la radiación ionizante, tanto de manera directa como indirecta. Los términos más importantes en dosimetría incluyen:

- Dosis de radiación Absorbida (D)
- Dosis equivalente (H)

- Dosis efectiva (E)
- Dosis colectiva
- Tasa de dosis

2.2.1 Dosis de radiación absorbida (D)

Es una medida de cantidad de energía absorbida del haz de radiación por masa de tejido unitaria.

SISTEMA INTERNACIONAL	SISTEMA ANTIGUO
Gray (J/kg)	Rad (ergios/g)
1 Gray = 100 rads	

Tabla 2.1 Unidades de medida de la dosis absorbida

2.2.2 Dosis equivalente (H)

Es una medida que permite tener en cuenta la distinta eficacia radiobiológica (ERB) de diferentes tipos de radiación.

Por ejemplo las partículas alfa penetran solo unos milímetros en el tejido, pierden toda su energía y son totalmente absorbidas, mientras que los Rayos X penetran mucho más, pierden parte de su energía y se absorben solo parcialmente. El efecto biológico de una dosis de radiación absorbida en concreto de partículas alfa sería considerablemente más grave que una dosis similar de radiación absorbida de rayos X.

Al introducir un valor numérico conocido como factor de ponderación de radiación W_R que representa los efectos biológicos de diferentes radiaciones, la unidad de dosis equivalente (H) proporciona una unidad común que permite realizar comparaciones entre un tipo de radiación y otro; por ejemplo:

Rayos X, Rayos gamma y partículas beta	WR =1
Neutrones rápidos (10 keV – 100 keV) y protones	WR=10
Partículas alfa	WR=20

Tabla 2.2 Factor de ponderación WR

Dosis equivalente (H) = dosis de radiación absorbida (D) x factor de ponderación de radiación (W_R)

SISTEMA INTERNACIONAL	SISTEMA ANTIGUO
Sievert (Sv)	rem
1 Sievert = 100 rem	

Tabla 2.3 Unidades de medida de la dosis equivalente

2.2.3 Dosis Efectiva (E)

Esta medida permite comparar dosis de diferentes investigaciones de distintas partes del cuerpo, convirtiendo todas las dosis en una *dosis equivalente para todo el cuerpo*. Esta acción es necesaria porque algunas partes del cuerpo son más sensibles a la radiación que otras. La comisión Internacional de Protección Radiológica (CIRP) ha asignado a cada tejido un valor numérico, conocido como *factor de ponderación* (W_T), basado en su radio sensibilidad, es decir en el riesgo de que el tejido resulte dañado por la radiación; cuanto más alto es el riesgo mayor es el factor de ponderación de tejido.

Dosis efectiva (E) = dosis equivalente (H) x factor de ponderación de tejido (W_T)

Unidad SI: Sievert (Sv)

Tejido/órgano	W_T
Mama	0.12
Medula ósea roja	0.12
Colon	0.12
Pulmón	0.12
Estomago	0.12
Gónadas	0.08
Tiroides	0.04
Vejiga	0.04
Hígado	0.04
Esófago	0.04
Piel	0.01
Cerebro	0.01
Superficie ósea	0.01
Glándulas salivales	0.01
Resto del organismo	0.12

Tabla 2.4 factor de ponderación W_T o coeficiente de radio sensibilidad en los diferentes tejidos y órganos

2.2.4 Tasa de Dosis

Es una medida de la dosis por unidad de tiempo, por ejemplo dosis/hora.

Unidad SI: micro Sievert/hora (μSvh^{-1})

2.2.5 Kerma

El kerma, K es el acrónimo en inglés de energía cinética liberada por unidad de masa (*kinetic energy released per unit mass*) y es el cociente de dE_{tr} por dm , donde dE_{tr} es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas ionizantes cargadas liberadas por las partículas ionizantes no cargadas en un material especificado de masa dm .

Se define por la expresión:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Su unidad de medida se describe a continuación:

SISTEMA INTERNACIONAL	SISTEMA ANTIGUO
Gray (Gy)	Julio/kilogramo J kg ⁻¹
1 Gy = 1 J/kg	

Tabla 2.5 Unidades de medida del Kerma

2.3 Producción de rayos X

Los rayos X se producen cuando electrones energéticos (de alta velocidad) bombardean un material y luego pasan a estar en reposo. Este fenómeno sucede dentro de una envoltura de vidrio al vacío llamada *tubo de rayos X* [13].

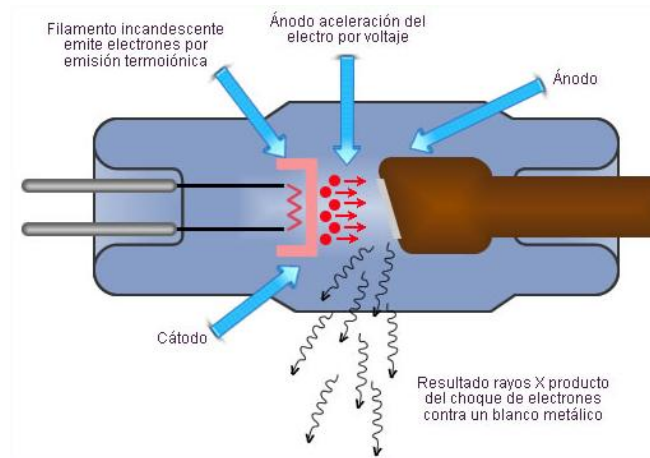


Figura 2.2 Esquema de un tubo de rayos X

Dentro de las características de un tubo de rayos X cabe destacar lo siguiente:

El Ánodo: Es el lado positivo del tubo de Rayos X, existen dos tipos: estacionarios y rotatorios. El ánodo tiene tres funciones en el tubo de Rayos X:

- Es un conductor eléctrico
- Proporciona soporte mecánico al blanco.

- Debe ser un buen conductor térmico, cuando los electrones chocan con el ánodo, más del 99% de su energía cinética se convierte en calor, que debe ser eliminado rápidamente antes de que pueda fundir el ánodo. El cobre es el material más utilizado en el ánodo.

El Blanco: Se le denomina blanco a una porción del ánodo en el cual los electrones emitidos desde el cátodo chocan para generar los Rayos X; el material usado es tungsteno.

El cátodo: El cátodo consiste de un filamento de tungsteno que al ser calentado emite electrones. Estos electrones son acelerados, debido a una diferencia de potencial aplicada entre el cátodo y el ánodo, hacia a un blanco montado en el ánodo.

Punto focal: Es el área del blanco desde la que se emiten los Rayos X. Constituye la fuente de radiación. El efecto que el tamaño del punto focal ejerce sobre la calidad de los Rayos X es muy importante. Cuanto más pequeño es el punto focal, mejor es el detalle de la imagen, pero como el punto focal grande tolera más el calor que el punto focal pequeño, hubo que buscar un método por medio del cual se pudiese obtener un punto focal de tamaño práctico y que al mismo tiempo produjera buena imagen. Estos métodos son: la utilización del principio de foco lineal y el ánodo giratorio.

2.3.1 Equipos emisores de rayos X usados en la práctica medicinal

Equipos periapicales: los equipos de rayos X dentales [14] se pueden utilizar para exponer a receptores intra orales o extra orales. Son usados para sacar radiografías de cada pieza dental.



Figura 2.3 Equipo de radiografía periapical, con sus partes principales.

Equipos de Mamografía: La mamografía consiste en una exploración diagnóstica de imagen por rayos X de la glándula mamaria, mediante aparatos denominados mamógrafos. El mamógrafo es un equipo radiológico diseñado especialmente para obtener imágenes radiográficas de la mama.



Figura 2.4 Equipo de mamografía con sus partes principales

Equipos de fluoroscopia: Un equipo de fluoroscopia [16] ofrece imágenes de estructuras anatómicas en tiempo real. Los estudios dinámicos son exámenes que

muestran el movimiento circulatorio de estructuras con el interior vacío. Durante el procedimiento se utiliza generalmente un medio de contraste para resaltar la anatomía. Durante la fluoroscopia la imagen radiológica se presenta en un monitor o pantalla. El tubo de rayos X se hace funcionar a menos de 5 mA. A pesar del bajo nivel de mA, la dosis al paciente es considerablemente mayor durante el proceso que en los exámenes radiográficos porque el haz de rayos X le irradia durante un espacio de tiempo considerablemente mayor. Dentro de un equipo de fluoroscopia cabe resaltar su elemento más importante que es el tubo intensificador de imagen.

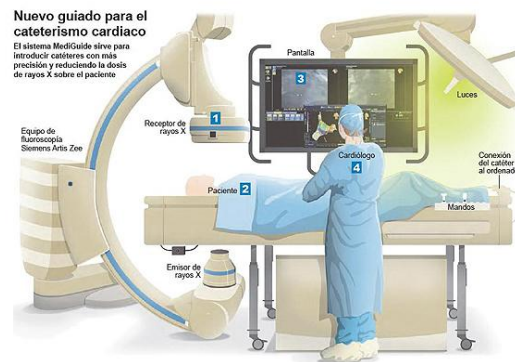


Figura 2.5 Equipo de fluoroscopia

2.4 Detección de la radiación

La radiación no se puede detectar con nuestros sentidos, no tiene color, no tiene olor ni la podemos tocar, pero si podemos cuantificarla [17]. Para ello, es necesario valerse de un dispositivo por medio del cual sea posible detectar la cantidad de radiación presente en algún lugar o material. Estos dispositivos son comúnmente denominados detectores de radiación y existe una gran variedad de ellos dependiendo de las características de las ondas radiantes.

Podríamos dividir estos detectores en dos grupos: **detectores pasivos** o retardados y **detectores activos** o inmediatos.

Dentro del primer grupo encontramos a las **películas fotográficas**, una de las primeras formas de detectar radiación; las cuales se “velan” al recibir cierta cantidad de energía radiante. También forman parte de este grupo los detectores termoluminiscentes, TLD por sus siglas en inglés, que permiten realizar la determinación de la dosis basándose en el fenómeno de la luminiscencia.

Este tipo de detectores no indican la cantidad de radiación, por otro lado, los detectores activos cuentan con la programación electrónica para proporcionar información sobre los niveles de radiactividad o la energía depositada en alguna parte de nuestro cuerpo. Dependiendo de las necesidades que se tengan, será el uso de uno u otro detector.

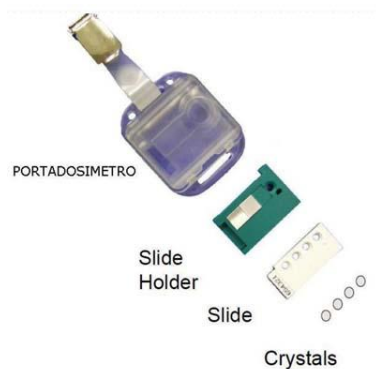


Figura 2.6 Dosímetro personal TLD

Algunos de los detectores activos más utilizados son los siguientes:

Detectores gaseosos: El funcionamiento de estos artefactos es gracias a que la radiación ioniza el gas contenido en el detector, enviando una señal eléctrica que puede ser emitida al aplicar alto voltaje. Dentro de este grupo tenemos a los detectores Geiger-Muller, las cámaras de ionización y los detectores proporcionales.

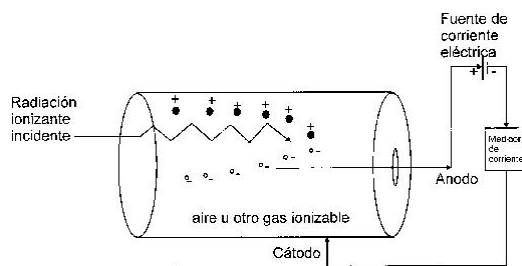


Figura 2.7 Esquema de un detector gaseoso de radiación

Cámaras de ionización: Se utilizan para medir la intensidad de campos de radiación. Tienen la capacidad para determinar de manera muy exacta la radiación presente.



Figura 2.8 Cámara de ionización

Detectores proporcionales: También llamados contadores proporcionales, utilizan un gas denominado P-10, que consiste en 90% Argón y 10% metano, como medio sensible. La aplicación más frecuente de estos detectores es el monitoreo de contaminaciones superficiales con radiación alfa o beta.



Figura 2.9 Detector proporcional

Contador Geiger-Müller: Fue el primer detector fabricado (1908), en un principio únicamente detectaba radiación alfa, pero actualmente puede detectar los demás tipos de radiación. Puede medir la presencia de radiación en personas, objetos y lugares.



Figura 2.10 Detector Geiger-Müller

Detectores de centelleo: La radiación es capaz de excitar ciertos materiales llamados centelladores (como el yoduro de sodio con impurezas de talio) provocando la emisión de fotones. Esta cualidad es aprovechada por los detectores de centelleo, transformando la luz emitida en una señal eléctrica y amplificando esta última por medio de un tubo fotomultiplicador.

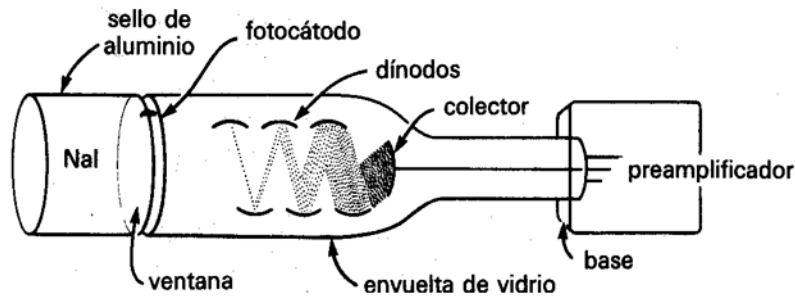


Figura 2.11 Esquema interno de un detector de centelleo

Detectores semiconductores: Este tipo de detectores son los más sensibles a la radiación y en consecuencia también los más delicados. La detección se realiza por medio de un material semiconductor, a base de germanio o silicio. Hoy en día, existen diferentes clases de detectores semiconductores como los de barrera superficial, de silicio-litio y los de germanio de muy alta pureza (HPGe).



Figura 2.12 Detector de Germanio

Aspectos generales de la protección radiológica

La ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) ha recomendado límites de dosis con el objetivo principal de asegurar una protección adecuada aún para los individuos más expuestos [18]. Una práctica con exposición de trabajadores y miembros del público produce una distribución de dosis, que resulta en un detrimento, y una distribución de beneficios. En general estas dos distribuciones son muy diferentes y, por lo tanto, la distribución de beneficios puede ser usada para justificar el detrimento sólo si éste es pequeño en cada individuo, y no excede niveles aceptados normalmente en la vida diaria. Los límites de dosis se aplican a exposiciones (o variación de exposiciones) que son el resultado de decisiones del hombre y que se distribuyen en la población de manera distinta que los beneficios de dichas decisiones. Por lo tanto, no se aplican a las exposiciones a fuentes naturales de radiación, o a las exposiciones recibidas como paciente en la práctica médica.

El Monitoreo de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes es la herramienta fundamental que contribuye a alcanzar los objetivos de la protección radiológica ocupacional, esto es, asegurar que en condiciones normales de trabajo no se superen los límites de dosis y reducir las exposiciones al nivel más bajo que razonablemente pueda alcanzarse. Para posibilitar el efectivo control de los riesgos radiológicos debidos a la irradiación externa, se definen las denominadas **áreas controlada y supervisada**, donde se establece un sistema de Monitoreo o control radiológico individual de la propia área de trabajo, a fin de lograr el objetivo propuesto y además, medir los niveles de exposición que pudieran producirse en caso de situaciones anormales.

El mismo es un sistema integrado de medición, registro y evaluación de la exposición de los individuos a la radiación, y debe tener la capacidad de evaluar la dosis absorbida, la dosis equivalente en los distintos órganos corporales y la dosis efectiva que resultan de la exposición a las radiaciones. Los métodos de Monitoreo ocupacional pueden entonces agruparse en dos categorías, los aplicados en los ambientes de trabajo y aquellos utilizados directamente sobre el individuo. En relación a los primeros se pueden citar el Monitoreo de los campos de radiación ambiental. Respecto a los segundos se pueden citar los dispositivos para la dosimetría individual de la radiación externa (dosímetros).

La responsabilidad primaria indelegable de realizar y mantener un adecuado sistema de monitoreo de la exposición a las radiaciones es del grupo de salud ocupacional. El monitoreo radiológico requiere un sistema integrado de medición, registro y evaluación de la exposición de los individuos expuestos. El sistema debe ser efectivo y eficiente tanto para la exposición externa y debe ofrecer la posibilidad de evaluar la dosis absorbida, la dosis equivalente y la dosis efectiva. En relación a los métodos de control aplicados sobre los ambientes se pueden citar:

- La dosimetría individual de la radiación externa mediante la utilización de dispositivos de medición de uso individual (dosímetros).
- El monitoreo mediante equipos que determinan la dosis equivalente ambiental. En base a tales mediciones y teniendo en cuenta las características y la naturaleza de los campos de radiación, la geometría y duración de la exposición, etc., y a través de modelos de cálculo pueden derivarse la dosis equivalente o efectiva recibida por un trabajador. En consecuencia, un sistema adecuado de control radiológico individual requiere:
 - Planificar las características del monitoreo (dosimetría individual de la exposición externa).
 - Determinar el personal que estará controlado en forma individual.
 - Disponer de una adecuada capacidad de interpretación de los datos obtenidos.
 - Disponer de los medios necesarios para realizar el monitoreo, mantener registros actualizados y realizar la comunicación de la información obtenida.

3.1 Clasificación de las áreas

El control de las fuentes radiactivas se facilita si los lugares en que están instaladas son calificados para ese fin. Al respecto las Normas Básicas Internacionales de Seguridad Radiológica define dos tipos de áreas de trabajo:

- Área controlada
- Área supervisada

Un área controlada es todo lugar de trabajo donde se requiera, en condiciones normales de operación, que los trabajadores sigan procedimientos preestablecidos para controlar la exposición a la radiación o para prevenir la dispersión de la contaminación radiactiva. La norma antes citada requiere que en el área controlada debe implementarse lo siguiente:

- Delimitar el área mediante barreras físicas apropiadas y controlar el acceso al área controlada.
- Utilizar un sistema de señalización que identifique los riesgos de exposición a la radiación externa, y que esté ubicado en las puertas de acceso y en otros lugares apropiados del interior del área.
- Establecer un Código de Práctica específico para el área controlada.
- Realizar el Monitoreo dosimétrico individual del personal.

Un área supervisada es todo lugar de trabajo que no ha sido designado como área controlada y en el que las condiciones radiológicas deben mantenerse bajo supervisión, aun cuando no se requieran rutinariamente procedimientos especiales. Las áreas supervisadas deber estar individualizadas con señalización adecuada y las condiciones de trabajo deben revisarse periódicamente. En general, es suficiente realizar una evaluación dosimétrica del personal en base a informaciones o mediciones del área supervisada.

3.2 Monitoreo ambiental

El control radiológico ambiental es necesario en los lugares de trabajo calificados como áreas controladas y suficientes en aquellos establecidos como áreas supervisadas. Por lo tanto, su objetivo fundamental es servir de control principal de la exposición del personal en áreas que no requieren Monitoreo individual y actuar como control complementario en áreas en las que se requiere dicho Monitoreo.

El Monitoreo ambiental de las áreas de trabajo permite controlar la dosis recibida por un trabajador, en base a las características de los equipos generadores de rayos X, la naturaleza de los campos de radiación, la geometría y duración de la exposición.

3.3 Protección radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos

Los principios generales que orientan la protección radiológica de los TOEs (trabajadores ocupacionalmente expuestos) tienden a mantener bajo control las situaciones de inevitable exposición crónica a las radiaciones. Si bien tales principios y normas que se derivan constituyen una guía en la que debe quedar contemplada toda situación práctica posible, no puede prescindirse en ninguna circunstancia del criterio y juicio profesional en su aplicación. De allí que la adecuada instrucción de quienes intervienen en tareas que implican exposición a las radiaciones y la de los responsables de su control, constituye un aspecto esencial de todo programa de protección radiológica.

El grupo de salud ocupacional, dada su función de garantizar la protección contra los efectos de las radiaciones ionizantes a los TOEs y a él mismo, debe establecer un sistema de control radiológico individual y facilitar los medios que dicho control demande. Se debe velar por:

- Designar una persona técnicamente competente encargada, entre otras, de las siguientes funciones: asesorar sobre la implementación de un programa de control radiológico individual, supervisar su funcionamiento e informar al responsable de la instalación las dosis recibidas por los individuos. Asimismo, asesorar sobre la forma de mejorar las medidas de protección y las disposiciones a adoptar en caso que se produzcan situaciones anormales.
 - Formular propuestas y recomendaciones a la entidad responsable para mejorar las medidas de protección y reducir las exposiciones.
 - Analizar cualquier nuevo factor o cambio en los procesos y procedimientos y evaluar su impacto en el nivel de protección.
 - Elaborar planes de control radiológico para hacer frente a situaciones anormales.
 - Someter a consideración de la Autoridad Reguladora la modificación en la instalación o en su operación que se aparten de la licencia o autorización de operación.
- Cada trabajador, después de recibir las instrucciones, es responsable del uso correcto de los dosímetros, de la observancia de las medidas prescriptas para el control de la

exposición externa e interna y del cumplimiento de cualquier otra disposición relacionada a la protección radiológica en la instalación donde desempeña sus tareas. Ciertas funciones, tales como la selección, ensayo, calibración, mantenimiento y distribución de la instrumentación, la interpretación de los datos resultantes del monitoreo de las áreas de trabajo, el mantenimiento de registros y el suministro de los medios necesarios para comunicar la información registrada pueden ser desempeñadas por un servicio competente externo a la instalación que se trate. Los servicios centralizados de control radiológico individual pueden ofrecer la ventaja de normalizar las técnicas y procesos. Por otra parte, los servicios descentralizados pueden ser ventajosos en algunos casos, por ejemplo, cuando se precisa un proceso rápido para el control de la exposición o bien cuando la escala de actividades es tal que resultan más económicos.

3.4 Monitoreo individual

El tipo y dimensión del control radiológico individual en cualquier área de trabajo depende de:

- Los niveles esperables de dosis individuales y la historia dosimétrica previa.
- La naturaleza del riesgo radiológico (radiación externa o contaminación interna).
- La naturaleza de la radiación.
- La probabilidad de ocurrencia de sobre-exposiciones potenciales.

Sea cual fuere el programa de control radiológico individual adoptado, es recomendable revisarlo periódicamente y cada vez que se introduzca alguna modificación importante en las condiciones de trabajo. Para el monitoreo individual de la irradiación externa del personal se ha establecido la dosis equivalente individual, $H_p(d)$, que es la dosis equivalente en tejido muscular, a la profundidad apropiada d , bajo un punto especificado en la superficie del cuerpo. Para la piel y órganos superficiales se recomienda $d = 0,07$ mm, para el cristalino $d = 3$ mm, mientras que para órganos y tejidos profundos y el control de la dosis efectiva, se adopta $d = 10$ mm.

3.5 Monitoreo rutinario individual de la radiación externa

Uno de los primeros problemas a encarar para establecer un programa de monitoreo individual rutinario es definir el conjunto de individuos que deberán ser monitoreados sobre la base de las dosis individuales que pueden llegar a recibir en función del trabajo que realicen en la instalación. El diseño de un programa de monitoreo incluye la especificación de los tipos de dosímetros a utilizar y la forma y el lugar en la que deben ser ubicados. En campos de radiación compuestos por radiaciones penetrantes y no penetrantes, se utilizan dosímetros de dos componentes. En campos de radiación complejos e inhomogéneos puede ser necesario la utilización de más de un dosímetro. En particular, en aquellas operaciones que involucren el manejo de fuentes de radiación en forma cercana a las manos, puede ser aconsejable la utilización de dosímetros ubicados en los dedos.

Un sistema de control radiológico individual requiere dosímetros que satisfagan las siguientes condiciones:

- En condiciones de utilización la pérdida de información sobre la dosis acumulada, registrada durante el período de medición, debe ser mínima.
- Su uso no debe interferir o dificultar las actividades habituales de los trabajadores.
- Deben ser fácilmente identificables para su distribución y para la correcta asignación de las dosis.

3.6 Monitoreo de áreas

Los métodos empleados para la vigilancia radiológica en las áreas de trabajo, que contribuyen a la seguridad radiológica de los trabajadores, es el monitoreo de los campos de radiación externa. Para que las técnicas de muestreo y medición relativas al monitoreo del aire resulten efectivas y eficientes, se debe prestar atención a las características del equipo (condiciones de operación).

3.7 Niveles orientativos de referencia

En muchas actividades se puede establecer con certeza los valores de dosis individuales que recibirán los trabajadores en operaciones bien definidas; en estos casos es posible establecer restricciones de dosis que se aplicarían a la actividad laboral en cuestión [19].

NIVELES ORIENTATIVOS APLICABLES EN PROCEDIMIENTOS DE DIAGNOSTICO RADIOLOGICO		
CUADRO III-I. NIVELES ORIENTATIVOS DE DOSIS APLICABLES EN RADIOGRAFIA DIAGNOSTICA A UN PACIENTE ADULTO TIPICO		
Examen	Dosis de entrada en superficie por radiografía ^a (mGy)	
Columna vertebral lumbar	AP	10
	LAT	30
	ASL	40
Abdomen, urografía y colecistografía intravenosas	AP	10
Pelvis	AP	10
Articulación de la cadera	AP	10
Tórax	PA	0,4
	LAT	1,5
Columna vertebral torácica	AP	7
	LAT	20
Dental	Periapical	7
	AP	5
Cráneo	PA	5
	LAT	3
Notas: PA: Proyección posteroanterior; LAT: Proyección lateral; ASL: Proyección de la articulación sacrolumbar; AP: Proyección anteroposterior.		

Figura 3.1 Niveles orientativos de dosis para procedimientos de radiografía. Tomada de [19].

Experimentación

En este capítulo definiremos los procedimientos para la realización de un estudio radiométrico y controles de calidad en las instalaciones donde se operen equipos emisores de rayos X. Estos procedimientos se escribieron como manual de operaciones para la empresa SIFEM GROUP, con el fin de realizar futuros controles de calidad y estudios de levantamiento radiométrico, en las instalaciones que el cliente lo requiera.

4. Procedimiento para realizar el levantamiento radiométrico

Un levantamiento radiométrico consiste en medir los niveles de dosis en las áreas adyacentes a la ubicación del equipo emisor de rayos X, con el fin determinar si las instalaciones son seguras para la operación del equipo. Con base en los resultados obtenidos se determinará si la operación del equipo es segura para el personal ocupacionalmente expuesto y el público en general.

Esta prueba debe realizarse al momento de la instalación del equipo, cada dos años y después de realizar cambios, ya sean en el equipo o en la instalación. El tiempo estimado de la prueba es de 30 minutos.

4.1 Instrumentación

Para la realización del estudio radiométrico se requieren los siguientes equipos y materiales:

- a) Cámara de ionización, en nuestro caso se usó una cámara de ionización marca RADCAL, modelo RSM.



Figura 4.1 Cámara de ionización marca RADCAL.

- b) Cinta métrica.
c) Planilla de registro

4.2 Metodología

La metodología consiste en aplicar los protocolos internacionales de control de calidad como lo son el ARCAL 49 y el protocolo español de control de calidad, los cuales nos indican de forma detallada los procedimientos para cada tipo de equipo. La mayoría de los pasos a seguir son los mismos para los cuatro equipos que se evaluarán en este trabajo de grado, que son: equipo periapical, equipo de mamografía, equipo de rayos X convencional y equipo de fluoroscopia. En el punto donde se requiera se hará la descripción necesaria para cada equipo. Los pasos para realizar el estudio radiométrico se presentan a continuación:

- a) Realice un esquema de la sala donde se encuentra el equipo, con sus zonas adyacentes indicando en su esquema la naturaleza de las zonas, ejemplo: pasillo, consultorio, etc.
- b) Señale con números los puntos donde se desea medir e identifíquelos en el formato de registro.

- c) Escriba en el formato de registro, el serial del tubo, marca y modelo, así mismo como del equipo.
- d) Determine un tiempo de exposición para las mediciones, puede ser un tiempo de 1 s para equipos periapicales, para los demás equipos realizar una exposición rutinaria de operación.
- e) Seleccione el tiempo de exposición en el equipo de rayos X. en algunos equipos se ajusta el parámetro *mAs*.
- f) Ubique un elemento dispersor de rayos X debajo del localizador, de tal forma que le incidan directamente los rayos. puede ser un recipiente con agua.
- g) Encienda la cámara de ionización en modo *Tasa de dosis*.
- h) Registre el nivel de radiación de fondo. (*en un lugar aislado de fuentes de radiación ionizante*).
- i) Ubique la cámara de ionización en el primer punto de medición en contacto, realice la exposición y registre la medición más alta en el formato de registro. (en caso que sea una puerta con ventana, hacer la medición en la ventana y en otro sitio de la puerta).
- j) Repita el procedimiento del ítem (i) pero a un metro de distancia del punto de medición.
- k) Haga un registro fotográfico de la sala y del equipo.

4.3 Interpretación y acciones

- a) Se establece el factor de ocupación **T** de las personas en el área durante el uso del equipo, de acuerdo a la siguiente tabla:

Ocupación	Local	T
Integral	Consultorio, recepción	1
Parcial	Espera, vestier, circulación interna	1/4
Eventual	Circulación externa, baños, escaleras	1/16
Raro	Jardines cercados, casa de maquinas	1/32

Tabla 4.1 Factores de ocupación (T)

- b) Determine la carga de trabajo (W), en términos de $\text{mA} \cdot \text{min}/\text{semana}$, para las condiciones máximas de operación rutinaria. De acuerdo a la siguiente expresión:

$$W = \frac{N_R * I * t}{60}$$

Donde, N_R es el número de radiografías por semana, I es la corriente de operación y t es el tiempo de operación en segundos. El producto $I * t$ es el $\text{mA} * \text{s}$ promedio por radiografía.

- c) Para cada punto medido exprese la mayor lectura obtenida en $\frac{\text{mSv}}{\text{mA} * \text{min}}$.
- d) Multiplique el valor del ítem anterior por $W \frac{\text{mA} * \text{min}}{\text{sem}} * U * T$, donde U es el factor de uso y T el factor de ocupación. El factor de uso es 1 para equipos que siempre apunten el haz hacia el mismo lado.
- e) Exprese el valor por semana en términos de dosis por año, multiplicando por las 50 semanas del año.
- f) Compare los valores obtenidos con los límites de restricción de dosis establecidos en el ARCAL 49, de acuerdo a la siguiente tabla:

Área controlada	0.10 mSv/sem o 50 mSv/año
Área libre	0.01 mSv/sem o 0.5 mSv/año

Tabla 4.2 Niveles de restricción de dosis ARCAL 49

- g) En caso de no cumplir con los límites mínimos, dar recomendaciones técnicas, como instalar blindajes, cambiar de posición el equipo disminuir el uso, entre otras.

4.4 Procedimiento para realizar controles de calidad a equipos emisores de rayos X.

En las instalaciones médicas de rayos X para radiodiagnóstico, se utilizan las radiaciones ionizantes con el fin de obtener un beneficio para la sociedad con los mínimos efectos adversos radiológicos para las personas. Para reducir estos efectos a valores aceptables, los criterios y medidas de protección radiológica han de aplicarse en diferentes aspectos: equipos, instalación y protección del personal.

Vamos a describir los procedimientos para realizar un control de calidad a cuatro tipos de equipos emisores de rayos X usados en radiografía general, los cuales son: periapicales, mamógrafos, radiografos generales y angiografos. Cabe aclarar que cada equipo es tratado de manera individual, y algunos pasos que se describen a continuación son iguales o equivalentes para todos; y otros son específicos en cada caso, esto con el fin de detectar posibles fallas de operación en los equipos y optimizar los procedimientos que garanticen los niveles mínimos de radiación permitidos por la regulación internacional. Los pasos escritos en este trabajo quedaron como manual de operación para la empresa SIFEM GROUP, esto con el fin de realizar futuros controles de calidad siguiendo la metodología aquí escrita.

4.4.1 Instrumentación usada para el procedimiento

Para la realización de los controles de calidad se utilizaron los siguientes equipos:

- a) Kit de control de calidad Marca RADCAL, que consiste en un módulo digitalizador, un multisensor de estado sólido con su base soporte y su respectivo software.



Figura 4.2 Kit de control de calidad marca RADCAL

Este kit permite tener en pantalla el registro de dosis, así como la tasa de dosis, voltaje del tubo tiempo de exposición entre otros.

- b) Herramienta de tamaño de punto focal.



Figura 4.3 Herramienta de punto focal

Con esta herramienta podemos determinar el tamaño del punto focal.

- c) Herramienta para verificar la colimación y alineación del haz.



Figura 4.4 Herramienta para verificar la alineación y colimación del haz

Esta herramienta nos permite determinar, la desviación entre el campo luminoso y el campo de radiación, así como la perpendicularidad del haz.

- d) Cámara de ionización marca RADCAL. Véase *Figura 4.1*.

Con esta herramienta podemos medir la cantidad de dosis que recibe el operario de equipos de angiografía a dos metros de la fuente, con blindaje es decir debajo del chaleco de plomo y sin blindaje es decir por fuera del chaleco.

e) Phantom o simulador de mama.



Figura 4.5 Phantom de mamografía o simulador de mama

Con esta herramienta se puede simular una mama promedio, con micro calcificaciones que nos permitirán evaluar el sistema de imagen de un mamógrafo.

f) Phantom para radiología y fluoroscopia.

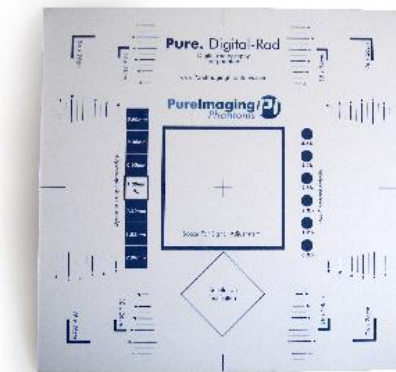


Figura 4.6 Phantom de radiografía general y fluoroscopia

Con esta herramienta podemos verificar el bajo contraste, alto contraste y rango dinámico del sistema de imagen del equipo de radiografía general y angiografía.

4.4.2 Objetivos del control de calidad

a) Escribir los procedimientos y realizar las pruebas de Control de Calidad con base en el protocolo IAEA ARCAL 49 y el protocolo español de control de calidad.

- b) Medir los parámetros físicos de emisión del tubo de rayos X y verificar sus tolerancias.
- c) Evaluar los sistemas de posicionamiento.
- d) Estimar la cantidad de dosis a la entrada de la piel del paciente.

4.4.3 Justificación

Un equipo emisor de rayos X sujeto a los controles de calidad, es confiable en los términos de su desempeño y su efectividad para la realización de estudios de imágenes diagnósticas con gran precisión y calidad. Consecuencia de la realización de controles de calidad periódicos se tiene que se optimizan las técnicas radiográficas disminuyendo con esto la dosis en pacientes en tanto que se evita la repetición de estudios por la dificultad en su interpretación. El control de calidad en equipos de rayos X es importante también para determinar el tiempo de vida útil del tubo de rayos X y de los componentes del sistema de alta tensión.

4.4.4 Pruebas de control de calidad y metodología

Se efectúa una revisión del estado de funcionamiento y las tolerancias de los parámetros mecánicos como: inclinación de la camilla, coincidencia del tamaño del campo luminoso con el control nominal de apertura, movimientos del tubo de rayos X y perpendicularidad del haz de radiación. Posteriormente se realizan mediciones de los parámetros eléctricos frente al haz de radiación: kilo voltaje, corriente de tubo y tiempo de exposición, tomado varias series de datos y para varios puntos dentro del rango de uso de cada uno de los parámetros de emisión.

La metodología en forma de instructivo que se escribió para la empresa SIFEM GROUP Se describe en los anexos con todo detalle.

Las pruebas que se realizaron a los equipos son:

1. Inspección física y mecánica del equipo
2. Radiación de fuga
3. Perpendicularidad del haz de radiación
4. Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación (sistema de colimación)

5. Repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición
6. Repetibilidad y exactitud de la tensión
7. Capa hemirreductora HVL (half value layer)
8. Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición
9. Sistema de imagen
10. Control automático de exposición CAE y control automático de brillo CAB
11. Dosis de entrada en la piel

Para mayor descripción *véase Anexos, sección Protocolos de control de calidad de la empresa SIFEM SA.*

Resultados y discusión

En este capítulo mostraremos los resultados de los procedimientos de los capítulos anteriores, estudio radiométrico y controles de calidad. Se abordará para cada caso un tipo de equipo donde se muestre los valores obtenidos, cálculos, y resultados finales, así como determinar en cada parámetro si se cumple o no la tolerancia mínima permitida por los protocolos de los capítulos anteriormente mencionados.

5.1 Estudio Radiométrico

El estudio radiométrico presentado a continuación corresponde a un equipo de radiografía general o RX convencional, que está ubicado en el primer piso área de imágenes de la Clínica Colsánitas de la ciudad de Cali. El estudio se realizó el día 31 de julio de 2018.

TIPO	RX convencional	MARCA TUBO	TOSHIBA	MODELO TUBO	E7242
SERIE DEL TUBO	7J0464	KV Max	125	mA Max	500
TIPO DE DOSIMETRIA	TLD	CANTIDAD DE OPERADORES	10	PACIENTES /SEMANA	300
EQUIPO ASOCIADO AL TUBO DE RX					
MARCA	CARE STREAM	MODELO	ASCEND		

Tabla 5.1 Datos del equipo de rayos X convencional Clínica Colsanitas



Figura 5.1 Equipo de rayos X convencional Clínica Colsanitas con su placa de seriales.

Condiciones de emisión: Se opera el equipo usando las siguientes condiciones de operación:

MAGNITUD	VALOR	UNIDADES
Tensión	91	kV
Corriente	320	mA
mA.s	320	mA.S
Tiempo	1,00	s
W(Carga de Trabajo)	1600	mA.min/sem

Tabla 5.2 Parámetros de operación del equipo

Se usa Phantom para simular la dispersión generada por el paciente. Lectura promedio de radiación de fondo = $(0.13 \pm .01) \mu\text{Sv/h}$.

Croquis de las instalaciones

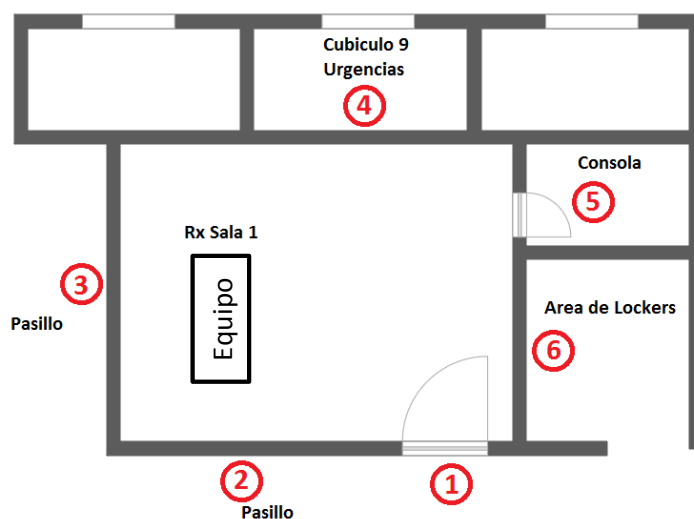


Figura 5.2 Esquema o croquis de las instalaciones donde los números encerrados en un círculo indican los lugares de las mediciones.

Se considera como ZONA CONTROLADA: El interior de la sala de procedimientos y la consola de control; ZONA SUPERVISADA: Hall de acceso y entrada principal; ZONA DE LIBRE ACCESO: los demás lugares colindantes.

Una vez definidas las zonas donde se va a medir identificadas con los círculos, procedemos a realizar las mediciones.

Dosis estimada con el tubo posicionado vertical

El factor de uso corresponde a que en el 60% de los casos se utiliza el tubo en posición vertical, esto es para pacientes recostados en la camilla, el factor de ocupación varía de acuerdo a la zona, *ver procedimientos de estudio radiométrico*.

Puntos de medición	(U) Factor de Uso	(T) Factor de ocupación	Dosis en Contacto mSv/sem $\pm$.0005	Dosis a un metro mSv/sem $\pm$.0005
1	0,6	0,25	0,001	0,001
2	0,6	0,25	0,001	0,001

3	0,6	0,25	0,001	0,001
4	0,6	0,25	0,001	0,001
5	0,6	1	0,074	0,030
6	0,6	0,25	0,001	0,001

Tabla 5.3 Dosis calculada en el estudio radiométrico

Análisis y conclusión del estudio radiométrico

Con el fin de determinar el riesgo potencial de exposición a radiación ionizante, tanto para el Personal Ocupacionalmente expuesto como para el público en general, se comparan los valores obtenidos de dosis con los siguientes valores orientativos corresponden a la cuarta parte del límite de dosis semanal.

Para un **área controlada** los límites de dosis son 0,10 mSv/sem y 5 mSv/año.

Para un **área de libre acceso** los límites de dosis son 0,01 mSv/sem y 0,5 mSv/año.

Los niveles de radiación en cada una de las zonas de trabajo son normales, siempre y cuando se utilicen adecuadamente los parámetros operacionales de distancia, tiempo y blindaje.

Las condiciones del blindaje para el equipo son satisfactorias puesto que los niveles de radiación en las zonas donde hay permanencia del personal ocupacionalmente expuesto y público, son inferiores a los límites de dosis orientativos descritos anteriormente.

5.2 Resultados de los controles de Calidad

Aquí presentaremos los resultados obtenidos de realizar cuatro controles de calidad a cuatro tipos de equipos de radiografía usados en la medicina convencional, que son un equipo odontológico periapical, un equipo de radiografía general o RX convencional, un equipo de mamografía y un equipo de fluoroscopia.

5.2.1 Control de calidad en Equipo periapical

Este control de calidad se realizó el 5 de julio del 2018 en las instalaciones de Comfandi Santa Rosa en la ciudad de Cali. De acuerdo a los procedimientos descritos en el Anexo *procedimientos de controles de calidad*. Para cada prueba se mostrará el resultado, determinando si el equipo cumple o no las tolerancias mínimas de operación.

El equipo es un Fiad Explor X, modelo 1508134, con un Kilovoltaje de operación de 70 kVp, una corriente de operación de 7 mA, serial 2903TU0608, ubicado en el segundo piso consultorio 204.

5.2.1.1 Prueba Inspección física y mecánica

El equipo cumple con los parámetros mínimos, no se observan cables sueltos, y tiene sus grados de libertad en buen funcionamiento.



Figura 5.3 Registro fotográfico equipo periapical Fiad Xplor-x

En el Registro fotográfico del equipo, se evidenció que el botón de disparo del haz de rayos X se puede confundir con el interruptor del bombillo. Se le informo al encargado del equipo la importancia de señalizar el botón de disparo.

5.2.1.2 Prueba Radiación de fuga

Las medidas se tomaron en contacto con el cabezote, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Punto 1m del foco	Valor ($\mu\text{Gy/h}$) $\pm .01$
Superior	No detecta
Anterior	0.35
Posterior	0.03
Lat. derecho	0.01
Lat. izquierdo	0.01

Tabla 5.4 Medidas radiación de fuga alrededor del
cabezal.

Los valores medidos de radiación de fuga se encuentran dentro de la tolerancia aceptada para el equipo de rayos-x inspeccionado deben ser menor a 1 mGy/h a un metro de distancia del punto focal. El equipo cumple con esta prueba.

5.2.1.3 Prueba Sistema de colimación

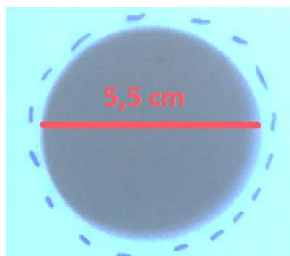


Figura 5.4 Sistema de colimación equipo periapical

El campo de radiación debe ser menor a 6 cm, por lo tanto la prueba es satisfactoria para este equipo.

5.2.1.4 Prueba Repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición

De acuerdo al procedimiento descrito en los anexos se obtuvo el siguiente resultado:

Tiempo nominal (s)	0,25	0,50	1,00	2,00
Tiempo medido promedio (s) ± 0.01	0,29	0,54	1,04	2,04
EXACTITUD (%) ± 0.1	-14,2	-7,2	-3,6	-1,8
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,10	0,10	0,10	0,10
T1 (s)	0,29	0,54	1,04	2,04
T2 (s)	0,29	0,54	1,04	2,04
T3 (s)	0,29	0,54	1,04	2,04
T4 (s)	0,29	0,54	1,04	2,04

Tabla 5.5 Resultados repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición equipo periapical

Para esta prueba la tolerancia debe ser menor o igual a $\pm 10\%$.

De acuerdo a las medidas efectuadas se encuentra que para tiempos de exposición 0,25; 0,50; 1,00 y 2,00 s, el equipo se encuentra dentro de tolerancia para la prueba de exactitud, obteniendo $-14,2 \pm 1$; $-7,2 \pm 1$; $-3,6 \pm 1$ y $-1,8 \pm 1$ % en relación a la repetibilidad encontramos los siguientes resultados $0,1 \pm 0.01$; $0,1 \pm 0.01$; $0,1 \pm 0.01$ y $0,1 \pm 0.01$ %; en conclusión el equipo se encuentra dentro de la tolerancia, excepto por la exactitud en el valor de tiempo de 0.25 s que arrojó un resultado de 14,2 %, esto se informó a la entidad para que hagan las respectivas correcciones, en el control de tiempo.

5.2.1.5 Prueba Repetibilidad de la tensión

De acuerdo al procedimiento se obtuvo el siguiente resultado:

Tensión nominal (kV)	70
Tensión medida (kV) ± 0.01	65,07
EXACTITUD (%) ± 0.01	7,04
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,31

Tabla 5.6 Resultados exactitud y repetibilidad de la tensión equipo periapical

La tolerancia para esta prueba debe ser menor a $\pm 10\%$.

De acuerdo a los valores calculados de exactitud 7.04 % y repetibilidad 0.31 % se encuentra que el equipo está dentro de la tolerancia, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.1.6 Prueba Capa hemirreductora o HVL

La tolerancia de esta prueba debe ser mayor a 1.5 mm de aluminio (Al) para tensiones iguales o superiores a 70 kV.

La capa hemirreductora medida (HVL) corresponde a 1.91 ± 0.01 mm Al, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.1.7 Prueba Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición

La tolerancia para esta prueba debe ser menor o igual a 10% para la linealidad y repetibilidad, para el rendimiento debe ser mayor a 25 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a un metro del punto focal.

Se obtuvo el siguiente resultado:

Repetibilidad: 6.48 ± 0.01 %

Linealidad: 2.31 ± 0.01 %

Rendimiento: 0.21 ± 0.01 mGy/mAs

Rendimiento: $52,38 \pm 0.01$ $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a un metro del foco.

De acuerdo a los resultados encontrados Repetibilidad: 6,48 %, Linealidad 2,31 % y Rendimiento 52,38 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a un metro del foco, El equipo está dentro de la tolerancia, para las pruebas de Repetibilidad, Linealidad, y Rendimiento, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.1.8 Prueba Dosis de entrada en la piel

De las mediciones se obtuvo que la dosis de entrada en la piel fue de 5.98 ± 0.01 mGy para una tensión de 70 kV, y una corriente de 7 mA. La tolerancia de esta prueba debe ser menor a 7 mGy. Por lo tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2 Equipo de Rayos X convencional

Este control de calidad se realizó el 17 de julio de 2018 en la clínica Colsánitas Sebastián de Belalcázar de la ciudad de Cali. La marca del equipo es Toshiba, modelo del tubo E7843, Tensión de operación máxima 150 kVp, corriente de operación máxima 250 mA, Serial del cabezote del tubo 3L0346, ubicado en el primer piso de imágenes.

5.2.2.1 Prueba inspección física y mecánica del equipo

El equipo presenta todos sus componentes en buen estado, y los grados de libertad en perfecta condición, no se observaron cables pelados o sueltos ni se observó alguna pieza suelta o floja en su estructura.

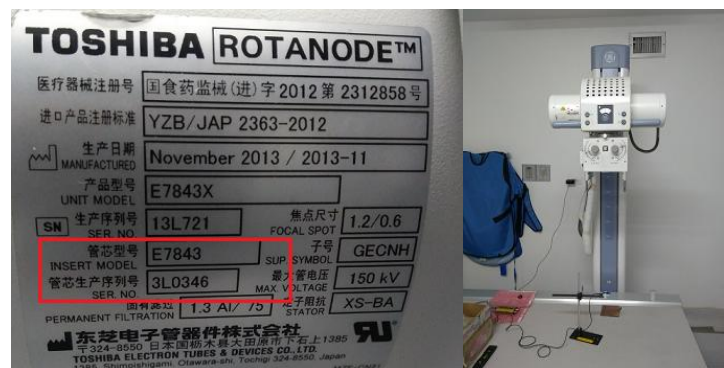


Figura 5.5 Registro fotográfico equipo de rayos X convencional clínica Colsanitas

El resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2.2 Prueba Radiación de fuga

Las medidas se tomaron en contacto con el cabezote, con una tolerancia mínima menor a 1 mGy/h a una distancia de un metro del punto focal.

Punto	VALOR (mGy/h) ± 0.01
Superior	No se detecta
Anterior	0,04
Posterior	0,01

Lateral derecho	No se detecta
Lateral izquierdo	No se detecta

Tabla 5.7 Resultados radiación de fuga equipo rayos X convencional

El resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2.3 Prueba Perpendicularidad del Haz

Se obtuvo el siguiente resultado:



Figura 5.6 Perpendicularidad del haz de radiación equipo de rayos X convencional

La perpendicularidad del haz de radiación respecto del receptor de la imagen es inferior a 1.5° razón por la cual este parámetro se encuentra dentro de las especificaciones, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.2.4 Prueba Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación

Se obtuvo el siguiente resultado:



Figura 5.7 Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación equipo de rayos X convencional

La distancia máxima entre los bordes del campo visual el campo de radiación es 2% de la distancia foco-película utilizada (2 cm para DFP=100 cm).

La coincidencia del haz de radiación respecto del haz luminoso (10 cm X 10 cm) y (18 cm X 18 cm) es inferior a 2 cm razón por la cual este parámetro se encuentra dentro de las especificaciones, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.2.5 Prueba Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tiempo nominal (s)	0,125	0,250	0,400
Tiempo medido (s) ± 0.005	0,125	0,250	0,400
Exactitud (%) ± 0.1	-0,2	0,0	0,0
Repetibilidad (%) ± 0.1	0,2	0,0	0,0

Tabla 5.8 Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición equipo rayos X convencional

La tolerancia para ambas pruebas debe ser menor a $\pm 10\%$. De acuerdo a las medidas efectuadas se encuentra que para tiempos de exposición 0,125; 0,250 y 0,400 s, el equipo se encuentra dentro de la tolerancia para la prueba de exactitud, en relación a la repetibilidad el equipo se encuentra dentro de la tolerancia.

5.2.2.6 Prueba Exactitud y repetibilidad de la tensión

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tensión nominal (kV)	60	80	90	100
Tensión medida (kV) ± 0.01	61,96	83,26	94,59	105,77
EXACTITUD (%) ± 0.01	-3,26	-4,07	-5,10	-5,77
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,16	0,12	0,21	0,19

Tabla 5.9 Exactitud y repetibilidad de la tensión equipo de rayos X convencional

El valor de tensión medida es un promedio de varias mediciones en ese valor nominal. La tolerancia para esta prueba debe ser menor al ± 10 %.

De acuerdo a los valores calculados de exactitud -3,26; -4,07; -5,10 y -5,77 % y repetibilidad 0,16; 0,12; 0,21 y 0,19 % se encuentra que el equipo está dentro de la tolerancia, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.2.7 Prueba Capa hemirreductora HVL

La medición de este parámetro se hizo para tres diferentes valores de tensión, con un resultado de:

Tensión (kVp)	80	90	100
HVL Promedio (mm Al) ± 0.01	3,29	3,70	4,11

Tabla 5.10 Valores de HVL para el equipo de rayos X convencional

La tolerancia de esta prueba se describe en los anexos. La capa hemirreductora medida (HVL) corresponde a 3,29; 3,70 y 4,11 mm Al, para los valores de tensión (kV) 80, 90 y 100 respectivamente por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2.8 Prueba Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición

Se obtuvo el siguiente resultado:

Repetibilidad 1.39 ± 0.01 %

Linealidad 0.69 ± 0.01 %

Rendimiento a un metro del foco $46.0 \pm 0.01 \text{ } \mu\text{Gy/mAs}$

La tolerancia para la repetibilidad y linealidad debe estar por debajo del 10%. La tolerancia para el rendimiento debe ser mayor a $25 \text{ } \mu\text{Gy/mAs}$ a un metro del punto focal. De acuerdo a los resultados encontrados Repetibilidad: 1,39 %, Linealidad 0,69 % y Rendimiento $46,0 \text{ } \mu\text{Gy/mAs}$ a 1 m. El equipo está dentro de tolerancia, para las pruebas de Repetibilidad, Linealidad, y Rendimiento, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2.9 Prueba Sistema de imagen

Para la prueba de alto contraste se obtuvo

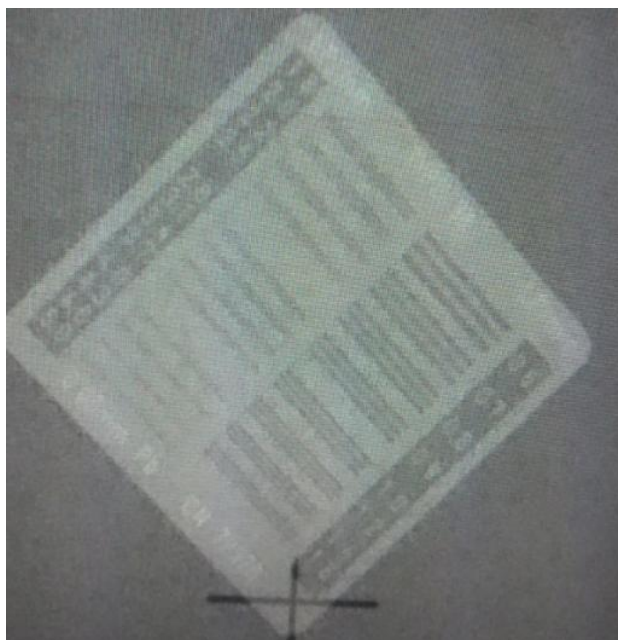


Figura 5.8 Imagen obtenida para la prueba de alto contraste equipo de rayos X convencional

El número de líneas por milímetro de acuerdo a la imagen es mayor de 2.5 lp/mm , este valor corresponde con el valor de base del tubo y se sugiere verificarlo al menos una vez al año. El resultado es satisfactorio.

Para la prueba de bajo contraste se obtuvo:



Figura 5.9 Imagen obtenida para la prueba de bajo contraste equipo de rayos X convencional

El número de objetos resueltos por el sistema de imagen es mayor de 3 por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

En la prueba de rango dinámico se obtuvo:

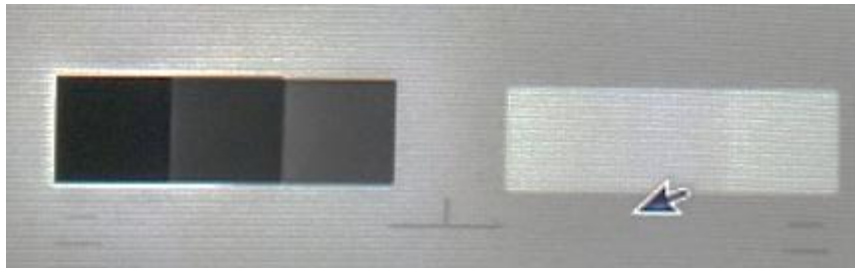


Figura 5.10 Imagen obtenida para la prueba de rango dinámico equipo de rayos X convencional

Los siete niveles de gris son resueltos por el sistema de imagen, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.2.10 Prueba Dosis de entrada en la piel

El kerma en el aire a la entrada de la piel del paciente debe ser inferior a 35 mGy. El valor encontrado para la dosis de entrada en superficie $1,07 \pm 0.01$; $2,01 \pm 0.01$ y $2,59 \pm 0.01$ mGy para tensiones de 60, 80 y 90 kV respectivamente, corresponde con los niveles orientativos determinados por las normas básicas de seguridad, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.3 Equipo de Mamografía

Este control de calidad se realizó el día 14 de agosto de 2018 en las instalaciones de la Ensalud IPS de la ciudad de Popayán. El equipo un mamógrafo marca GENORAY, el modelo del tubo es XM15, serial del cabezote del tubo 65N221, con una tensión máxima de operación de 52 kV, corriente máxima de operación de 500 mA.

5.2.3.1 Prueba Inspección física y mecánica

El equipo presenta todos sus grados de libertad sin problema alguno, el compresor de mama se ve en buen estado; el equipo y consola no tienen cables sueltos ni partes flojas. El resultado de la prueba es satisfactorio.

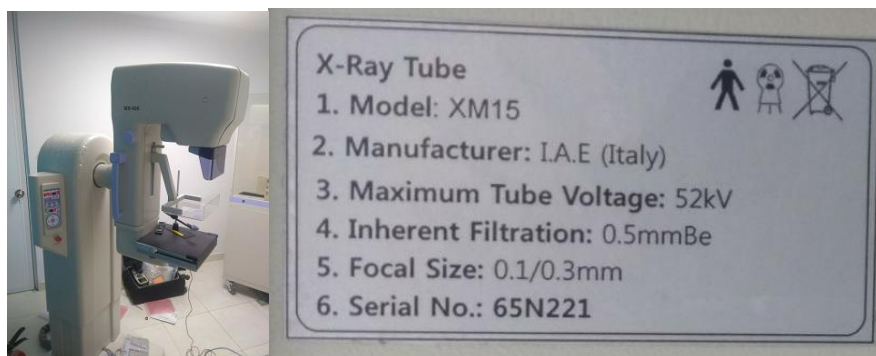


Figura 5.11 Registro fotográfico equipo de mamografía Ensalud IPS

5.2.3.2 Prueba radiación de fuga

Las medidas se tomaron en contacto con el cabezote y no se obtuvieron lecturas de radiación de fuga. Por lo tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.3.3 Prueba coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación

Se obtuvo el siguiente resultado:

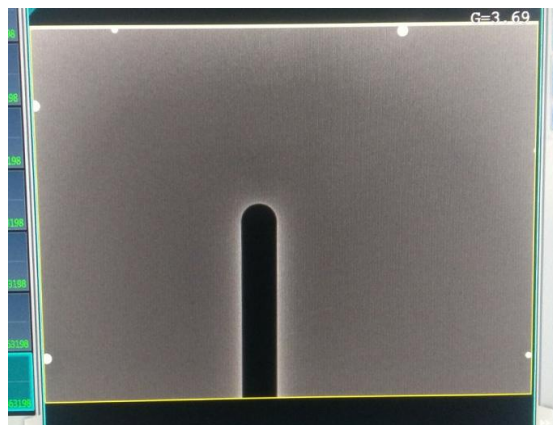


Figura 5.12 Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación

En la imagen se observan los elementos radiopacos que señalan el borde del campo luminoso. La suma de las distancias entre bordes de todos los lados deberá ser menor o igual a 4% de la distancia foco-película de prueba, la alineación del campo de radiación con el borde la película o $< \pm 3$ mm en el lado correspondiente a la pared torácica o $< \pm 5$ mm en los lados restantes.

La coincidencia del haz de radiación respecto del haz luminoso (es inferior a las tolerancias mencionadas razón por la cual este parámetro se encuentra dentro de las especificaciones, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.3.4 Prueba repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tensión nominal (kV)	1,00	1,60	2,00
Tensión medida (kV) ± 0.01	1,01	1,61	2,01
EXACTITUD (%) ± 0.01	-1,00	-0,60	-0,50
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.11 Repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición mamógrafo

La tolerancia de esta prueba es $< \pm 10\%$. De acuerdo a las medidas efectuadas se encuentra que para tiempos de exposición 1,00; 1,60 y 2,00 s, el equipo se encuentra dentro de la tolerancia para la prueba de exactitud, en relación a la repetibilidad el equipo se encuentra dentro de la tolerancia. El resultado de la prueba es satisfactoria.

5.2.3.5 Prueba exactitud y repetibilidad de la tensión

Se obtuvo el siguiente resultado, para tres diferentes valores de tensión:

Tensión nominal (kV)	25	30	35
Tensión medida (kV) ± 0.01	25,09	30,00	34,70
EXACTITUD (%) ± 0.01	-0,34	0,00	0,86
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,40	0,00	0,00

Tabla 5.12 Repetibilidad y exactitud de la tensión mamógrafo

La tolerancia de la prueba $< \pm 10\%$.

De acuerdo a los valores calculados de exactitud -0,34; 0,00; y 0,86%. La repetibilidad 0,40; 0,00 y 0,00 %. Se encuentra que el equipo está dentro de la tolerancia, por tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.3.6 Prueba capa hemirreductora o HVL

La capa hemirreductora medida (HVL) corresponde a 0,30; 0,35 y $0,38 \pm 0.01$ mm Al, para los valores de tensión (kV) 25, 30 y 35 respectivamente por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.3.7 Prueba rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición

Se obtuvo el resultado:

Repetibilidad $0.06 \pm 0.01 \%$

Linealidad $0.01 \pm 0.01 \%$

Rendimiento $0.42 \pm 0.01 \text{ mGy/mAs}$

La tolerancia para esta prueba debe estar para la repetibilidad y linealidad por debajo de $\pm 10\%$; para el caso del rendimiento debe ser mayor a 0.300 mGy/mAs .

De acuerdo a los resultados encontrados Repetibilidad: $0,06 \%$, Linealidad $0,01 \%$ y Rendimiento $0,424 \text{ mGy/mAs}$. El equipo está dentro de la tolerancia, por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.3.8 Prueba evaluación control automático de exposición CAE

Se hicieron las pruebas insertando diferentes espesores de acrílico, y láminas de plomo, donde se evidenció que el equipo ajusta correctamente los parámetros de tensión y corriente para obtener una buena imagen y tener repetibilidad en la misma; por lo tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.3.9 Prueba sistema de imagen

Se obtuvo el resultado:



Figura 5.13 Resultado obtenido para la prueba del sistema de imagen mamógrafo

De acuerdo a las tolerancias descritas en los anexos, se alcanzan a observar tres fibras, tres masas tumorales, y cuatro micro calcificaciones. Con los resultados de la imagen se encuentra que el equipo está dentro de la tolerancia, razón por la cual el resultado es satisfactorio.

5.2.3.10 Prueba dosis de entrada en la piel

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tiempo (s) ± 0.01	Corriente (mA) ± 0.01	Tensión (kV)	mA*s ± 0.01	Kerma en aire (Ka) ± 0.01	Ks=ka*1,09 (mGy) ± 0.01
2,37	42,57	28	100	13,18 13,21 13,21	14,38

Tabla 5.13 Dosis de entrada en la piel mamógrafo

Ks es el valor del kerma en la piel del paciente. El valor encontrado para la dosis de entrada en superficie 14,38 mGy corresponde con los niveles orientativos determinados por las normas básicas de seguridad [20], por tanto el resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.4 Equipo de Fluoroscopia

El control de calidad se realizó el 1 de agosto de 2018, en las instalaciones de la clínica de los Remedios, de la ciudad de Cali. El equipo un angiógrafo marca SIEMENS, modelo 10144179, serial del cabezote del tubo 645101775, tensión máxima de operación 120 kVp.

5.2.4.1 Prueba inspección física y mecánica del equipo

Para la verificación de las condiciones mecánicas del equipo, se realizaron pruebas sobre el equipo de angiografía para considerar los grados de libertad para el estativo a suelo sobre el que descansan el tubo de rayos x y el detector de panel plano. Se verifico que el equipo fuese capaz de asumir las diferentes posiciones de adquisición señaladas a continuación:

Angulación axial: entre -140° y $+137^\circ$

Angulación cráneo caudal: entre -41° y 50°

Movimiento de estativo a suelo: desplazamiento correcto del arco en C a posición de adquisición.

La rotación sobre el eje vertical, permite posicionar el tubo ortogonalmente sobre el eje anteroposterior o eje dorso ventral del paciente y rodear al paciente. Así mismo, la rotación sobre el eje horizontal permite la colocación del tubo sobre el plano coronal del paciente, en aquellos casos en los que el especialista requiera que se posibilite posicionar el tubo para aprovechar la movilidad sobre la región a intervenir.

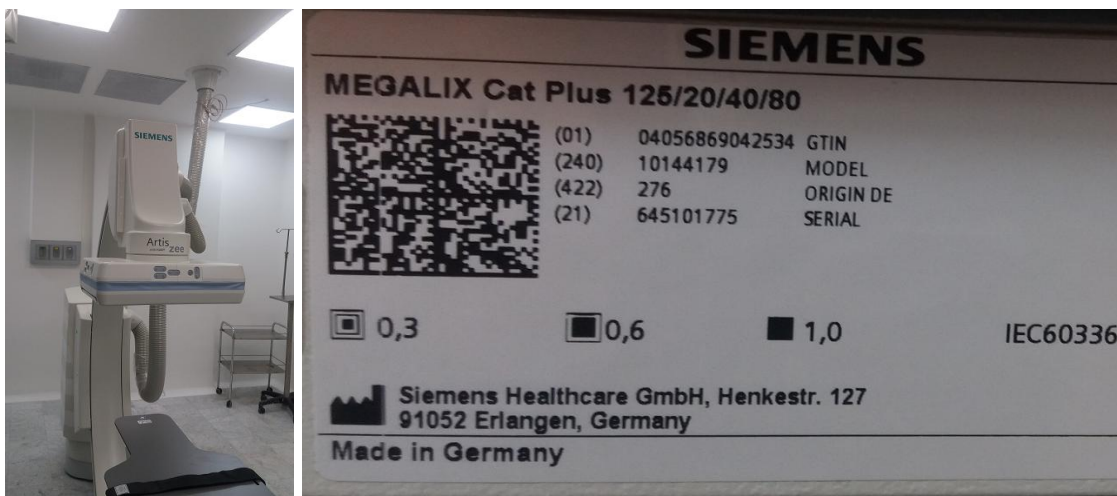


Figura 5.14 Registro fotográfico equipo de fluoroscopia

Registro fotográfico del equipo con su respectivo serial. El resultado de la prueba es satisfactorio.

5.2.4.2 Prueba radiación de fuga

Para esta prueba no se detectó radiación de fuga alrededor del cabezal. Por lo tanto la prueba es satisfactoria.

5.2.4.3 Prueba sistema de colimación

Se obtuvo el siguiente resultado

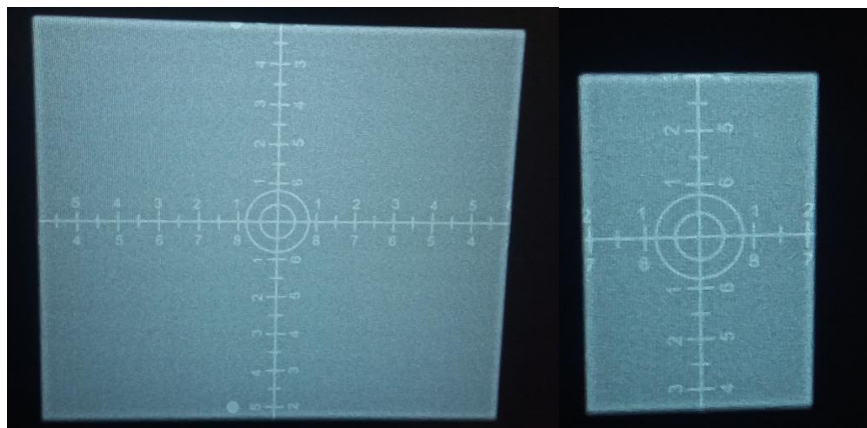


Figura 5.15 sistema de colimación equipo de angiografía

Como se indica en las figuras anteriores, se puede observar que la simetría de los campos se conserva por tanto se encuentra dentro de la tolerancia permitida.

5.2.4.4 Prueba perpendicularidad y centrado del haz

Se obtuvo el siguiente resultado:

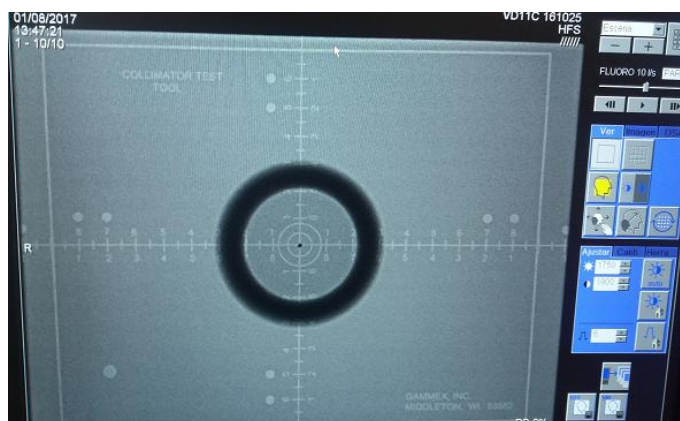


Figura 5.16 Perpendicularidad y centrado del haz equipo de fluoroscopia

Como se puede observar entre el campo de radiación y la superficie del detector existe total ortogonalidad. Por lo tanto la prueba es satisfactoria.

5.2.4.5 Prueba repetibilidad y exactitud de la tensión

Se obtuvo el siguiente resultado:

Tension nominal (kV)	78,80
Tension medida (kV) ± 0.01	77,23
EXACTITUD (%) ± 0.01	1,99
REPETIBILIDAD (%) ± 0.01	0,26

Tabla 5.14 Repetibilidad y exactitud de la tensión equipo de fluoroscopia

De acuerdo a las medidas efectuadas se encuentra que el equipo es capaz de reproducir la tensión (kV) con una desviación de 0,26% y exactitud de 1,99 %, para un mismo espesor. Es decir, se encuentra en tolerancia. Por lo tanto la prueba es satisfactoria.

5.2.4.6 Prueba control automático de brillo CAB

Se hicieron las pruebas insertando diferentes espesores de acrílico, y láminas de plomo, donde se evidenció que el equipo ajusta correctamente los parámetros de tensión y corriente para obtener una buena imagen y tener repetibilidad en la misma; por lo tanto el resultado es satisfactorio.

5.2.4.7 Prueba dosis de entrada en la piel

Se obtuvo el siguiente resultado:

Espesor del Paciente	Tensión (kV)	Tiempo (s) ± 0.01	Cantidad de pulsos	Kerma en aire (mGy) ± 0.0001	Tasa de kerma (mGy/s) ± 0.0001	Dosis de entrada (mGy/min) ± 0.0001
Pediátrico	50	1,28	14	0,0047	0,0037	60,0065
Delgado	67	1,10	12	0,0203	0,0183	60,0284
Medio	78	1,40	15	0,0780	0,0556	60,1091
Grueso	91	1,38	15	1,3690	0,9928	61,9169

Tabla 5.15 Resultados dosis de entrada en la piel equipo de fluoroscopia

La tolerancia de la prueba para fluoroscopia de alta dosis debe ser menor a 200 mGy por minuto. En relación con los valores hallados para estimar la dosis en piel usando los correspondientes factores de corrección, se pudo evidenciar que el funcionamiento del equipo se encuentra por debajo del valor de tolerancia permitida, con lo que se espera que este equipo aporte menor cantidad de dosis a la entrada del paciente durante procedimientos hagiográficos.

Conclusiones

Producto de las mediciones de los parámetros de calidad se pudo comprobar que en Colombia es posible realizar controles de calidad a quipos emisores de rayos X siguiendo normas y parámetros internacionales.

Para el equipo periapical, se pudo comprobar que en algunos lugares donde se tienen estos equipos, que son en su mayoría consultorios odontológicos, no cuentan con todos los parámetros mínimos de seguridad, tales como una simple señalización del botón de disparo, algunos equipos no cuentan con un regulador de voltaje a la línea de entrada que garantice un correcto funcionamiento y evite subidas de tensión en la salida. Por otra parte se evidenció que para valores de tiempo pequeños (100 ms) el equipo presentó una desviación del valor nominal con el valor medido, dando una tolerancia de exactitud superior a la mínima requerida de 10%, esto se registró en el reporte entregado al encargado del equipo para que realicen las futuras correcciones. Por lo demás se pudo concluir que el equipo es seguro para usarse con pacientes y también con el personal ocupacionalmente expuesto.

Con el equipo de rayos x convencional se pudo concluir que cumple todos los parámetros mínimos de operación, se pudo observar que a tensiones superiores a 90 kV, el porcentaje de desviación en la exactitud aumentaba, pero para este caso dentro de la tolerancia. El equipo evaluado en este trabajo de grado es seguro para usarse con pacientes y personal ocupacional.

El equipo de mamografía y de fluoroscopia evaluados en este trabajo de grado cumple con todos los parámetros mínimos de operación, por lo tanto son seguros para usarse con pacientes y personal ocupacional.

Referencias

- [1] *Introduction to radiological physics and Radiation Dosimetry*. (1986) **Frank Herbert Attix**, Jhon Wiley & Sons, Capitulo 1.
- [2] *Pruebas y procedimientos de diagnóstico neurológico*. [En línea], Actualizada diciembre 21 de 2016. [Fecha de consulta Julio de 2018]. Disponible en: https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/diagnostico_neurologico.htm
- [3] *Dosimetry in diagnostic Radiology an international code of practice*, International Atomic Energy Agency. (2007), Technical report series No. 457.
- [4] “*Implementación de las normas Básicas de Seguridad Internacionales en las Prácticas Médicas, Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*”. (2001) ARCAL 49 (Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nuclear en Latinoamérica y el Caribe ARCAL 49.
- [5] “*Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico*”. (1996) Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Protección Radiológica.
- [6] “*Normas básicas Internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (NBS)*”. (1997) Colección de seguridad N° 115, Organismo Internacional de Energía Atómica.
- [7] ICRP. (2005). *patient dosimetry for x rays used in medical imaging Report 74*. Oxford: Oxford University Press.
- [8] Ministerio de Salud. (2014). Resolución 2003 de 2014. *Diario Oficial- Imprenta Nacional de Colombia*.

- [9] R Williams, J & K Catling, M. (1998). An investigation of X-ray equipment factors influencing patient dose in radiography. *The British journal of radiology*. 71. 1192-8. 10.1259/bjr.71.851.10434915.
- [10] Rady Azzoz, ElShahat, K. M., & Abdel, Monem Rezk, R. (2014). *Evaluation of Quality control systems for X-Ray machines at different Hospitals using patient's radiological dose assessment technology. IOSR Journal of Applied Physics* (Vol. 6).
- [11] Gholami, M., Nemati, F., & Karami, V. (2015). The Evaluation of Conventional X-ray Exposure Parameters Including Tube Voltage and Exposure Time in Private and Governmental Hospitals of Lorestan Province, Iran. *Iranian Journal of Medical Physics Iran J Med Phys. Iran J Med Phys*, 12 (2), 85–92.
- [12] Fundamentals of Ionizing radiation dosimetry. Pedro Andreo, et al. 2017. Wiley-VCH, Berlin. Capitulo 1.
- [13] *Fundamentos de Radiología Dental*, **Eric Whaites**. [\(2008\)](#) Editorial Elseiver Masson, Capitulo 2.
- [14] Alexander L. C. Kwan et al. (2016). Acceptance Testing and Quality Control of Dental Imaging Equipment. The Report of AAPM Task Group 175, American Association of Physicists in Medicine.
- [15] Reis, C., Pascoal, A., Sakellaris, T., & Koutalonis, M. (2013). Quality assurance and quality control in mammography: a review of available guidance worldwide. *Insights into Imaging*, 4(5), 539–553.
- [16] N.W. Marshall, A.R. Lecomber, C.J. Kotre, K. Faulkner. (1998). Fluoroscopy Quality Assurance Measurements: Automatic Exposure Rate Control and Image Quality, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 80, Issue 1-3, Pages 69–72.
- [17] Fundamentals of Ionizing radiation dosimetry. Pedro Andreo, et al. 2017. Wiley-VCH, Berlin. Capitulo 10.
- [18] Fundamentos de física medida. Antonio Brosed. Sociedad Española de física medica. 2011. ADI servicios editoriales. Tema 5.

- [19] Normas básicas internacionales de seguridad para la proteccion contra la radiacion ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiacion. Organismo Internacional de energia atômica IAEA. 1997. Viena coleccion 115.

- [20] Dosimetria em radiologia. D Andisco, S. Blanco y A.E. Buzzy. Revista Argentina de radiologia. 2014. Páginas 114-117.

Protocolo interno para la realización de controles de calidad de la empresa SIFEM GROUP, los cuales se escribieron durante la elaboración de este trabajo de grado. A continuación relacionamos cada una de las pruebas realizadas durante el control de calidad con sus procedimientos en detalle.

12. Inspección física y mecánica del equipo

Esta prueba se aplica a los cuatro tipos de equipos.

Objetivo: Comprobar, que todos los accesorios y componentes mecánicos del equipo se encuentran en buen estado.

Frecuencia: Antes del comienzo del trabajo.

Tiempo estimado: 5 minutos.

Instrumentación

Equipo de registro fotográfico (cámara digital o celular con cámara).

Metodología

- a) Verifique que todos los movimientos del equipo puedan hacerse sin ningún problema.
- b) Revise el estado de los cables de conexión, botones e interruptores.
- c) Haga un registro fotográfico del equipo.

Interpretación y acciones

- a) En caso de una eventualidad Informar al encargado del servicio de mantenimiento.

13. Radiación de fuga

Esta prueba se aplica a los cuatro tipos de equipos.

Objetivo: Evaluar la radiación de fuga del equipo de radiología general.

Frecuencia: Inicial y después de cambios.

Tolerancias: $< 1\text{mGy/h}$ a 1m del foco.

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+
- c) Computador con software especializado para registrar la medición.
- d) Cinta adhesiva.

Metodología

- a) Cierre completamente el colimador.
- b) Identificar en un esquema los puntos de medición (*anterior, posterior, lateral izquierdo, lateral derecho, superior*) alrededor del foco o cabezal donde se encuentra el tubo de rayos X.
- c) Ubicar el sensor de estado sólido AGSM-DM+ en contacto con el cabezal en cada punto de medición. Puede usar cinta adhesiva para sujetar el sensor.
- d) Registre las medidas y haga observaciones en el software sobre la posición del sensor.

Interpretación y acciones

- a) Determine la radiación de fuga a un metro del foco, a partir de las mediciones, usando la ley del inverso del cuadrado de la distancia.
- b) Las medidas deben estar por debajo de 1mGy/h .

14. Perpendicularidad del haz de radiación

Esta prueba solo se aplica al equipo de rayos X convencional.

Objetivo: Evaluar la perpendicularidad del haz de radiación con respecto al plano de incidencia.

Frecuencia: Inicial, anual y después de cambios.

Tolerancia: Desviación $\leq 3.0^\circ$

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

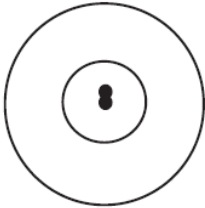
- a) Dispositivo para la alineación del rayo central (cilindro de acrílico con esferas radiopacas, en la parte superior e inferior - *Beam Alignment Test Tool modelo 162A*).
- b) Dispositivo para la evaluación del colimador (placa metálica con marcas radiopacas, ejes ortogonales con marcas de escala y dos círculos concéntricos – *Collimator Test Tool 161B*).
- c) Nivel de burbuja.

Metodología

- a) Inserte un chasis cargado en el porta-chasis.
- b) Coloque el dispositivo de colimación (*collimator test tool*) sobre el porta-chasis.
- c) Coloque el cilindro (*Beam Alignment Tool*) sobre el dispositivo de colimación, centrado y nivelado con respecto a la superficie de la camilla.
- d) Posicione el tubo de Rayos X a una distancia foco película de 100 cm.
- e) Registre la distancia utilizada en la planilla.
- f) Realice una exposición con los parámetros: 45kV, 2.5mAs, *recomendación del fabricante*.
- g) Procese la película de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Interpretación y acciones

- a) Perpendicularidad del haz:
 - Debe ser menor a 3° de acuerdo al siguiente esquema:

		
El rayo central es perpendicular con 0.5° de desviación.	El rayo central es perpendicular con 1.5° de desviación.	El rayo central es perpendicular con 3° de desviación.

- Reportar al personal técnico si la desviación es mayor a 3°.

15. Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación (sistema de colimación)

Esta prueba se realiza para los cuatro tipos de equipos, debido a la diferencia del colimador en cada equipo se describe a continuación para cada caso en particular.

El objetivo de la prueba es verificar la coincidencia del campo luminoso del equipo con el área o campo de radiación, y verificar la simetría del colimador.

4.1 Equipo intraoral o periapical

Objetivo: Evaluar el sistema de colimación del equipo.

Frecuencia: Anual, Inicial y después de cambios.

Tolerancias: Diámetro del campo ≤ 6 cm

Tiempo estimado: 5 minutos

Instrumentación

- Cinta métrica.
- Película radiográfica.

Procedimiento

- Acerque el film fotográfico al cono localizador de rayos X, de tal forma que quede bien ajustado al localizador para obtener un área circular de exposición.
- Marque el borde exterior del localizador con una línea punteada, sobre la película.
- Seleccione un tiempo de exposición, en el equipo de rayos X.
- Realice la exposición de la película.

- e) Mida el diámetro de la zona de exposición con la cinta métrica.
- f) Registre la medida en los formatos de procedimiento con su incertidumbre.

Interpretación y acciones

- a) Determine un diámetro promedio. El diámetro de la zona de exposición debe ser ≤ 6 cm.
- b) Determine la distancia del foco a la piel, debe ser ≥ 20 cm para tensiones de tubo superiores a 60 kV.
- c) Informar al encargado del servicio de mantenimiento.

4.2 Equipo de mamografía

Objetivo: Evaluar la coincidencia del haz luminoso con el campo de radiación.

Frecuencia: Inicial, anual y después de cambios.

Tolerancias: $<$ al 4% de la distancia foco película.

Tiempo estimado: 20 minutos.

Instrumentación

- a) Lámina de agua solida con espesor de 3 cm.
- b) Chasis cargados
- c) Objetos radiopacos de diferentes tamaños.

Metodología

- a) Coloque la lámina de agua solida sobre el soporte de la mama.
- b) Coloque un chasis cargado en el porta chasis del equipo.
- c) Encienda el haz luminoso del colimador y ubique los objetos sobre la lámina de tal forma que coincidan con el borde del campo luminoso.
- d) Ubique el compresor a una distancia de 6 cm del chasis.
- e) Instale un elemento radiopaco en la superficie inferior del compresor, tangente al borde de la pared torácica.
- f) Realice una exposición en modo manual.

- g) Procese la película, según recomendaciones del fabricante.
- h) Repita el procedimiento para las colimaciones disponibles.

Interpretación y acciones

- a) Mida la desviación del borde del campo luminoso donde ubicó los objetos, con el campo de radiación.
- b) Tolerancias: la suma de las distancias entre los bordes debe ser menor o igual a 4% de la distancia foco película.

La alineación del campo de radiación con el borde la película debe ser:

- $< \pm 3$ mm en el lado que corresponde a la pared toraxica.
 - $< \pm 5$ mm en los demás lados.
 - Alineación entre el borde (de la pared toraxica) de la bandeja de compresión y el borde receptor de imagen: verifique que la distancia entre el borde de la bandeja de compresión y el campo de radiación sea menor a 1% de la distancia foco película.
- c) Registrar los valores en la planilla.

4.3 Equipo de Radiología general

Objetivo: Evaluar la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación.

Frecuencia: Inicial, Anual y después de cambios.

Tolerancia: $\leq 2\%$ y la suma de todos los bordes $\leq 4\%$ de la DFP (distancia foco película).

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Dispositivo para la evaluación del colimador (placa metálica con marcas radiopacas, ejes ortogonales con marcas de escala y dos círculos concéntricos – *Collimator Test Tool 161B*).
- b) Chasis cargado.
- c) Nivel de burbuja.

Metodología

- a) Coloque el dispositivo de colimación (*Collimator Test Tool*) sobre el porta-chasis completamente nivelado.
- b) Posicione el tubo de Rayos X a una distancia foco película de 100 cm.
- c) Registre la distancia utilizada en la planilla.
- d) Centre el campo luminoso con el del dispositivo de colimación, ajustando un campo de 10x10 cm.
- e) Realice una exposición con los parámetros 50 kV y 2 mAs.
- f) Ajuste un campo luminoso de 18x14 cm.
- g) Realice nuevamente una exposición.

Interpretación y acciones

- a) Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación:
 - La distancia entre el campo de radiación y las marcas seleccionadas debe ser $\leq 2\%$ de la distancia foco-película.
 - Registrar la información en la planilla de datos registrados.

4.4 Equipo de fluoroscopia

Objetivo: Evaluar la coincidencia y simetría del colimador con el campo de radiación.

Frecuencia: Inicial, Anual y después de cambios.

Tolerancia: se debe observar una simetría del indicador en pantalla de colimación con el campo de radiación.

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- d) Dispositivo para la evaluación del colimador (placa metálica con marcas radiopacas, ejes ortogonales con marcas de escala y dos círculos concéntricos – *Collimator Test Tool 161B*).
- e) Nivel de burbuja.

Metodología

- h) Coloque el dispositivo de colimación (*Collimator Test Tool*) sobre el intensificador de imagen completamente nivelado y centrado, con respecto al colimador.
- i) Registre la distancia foco-intensificador de imagen en la planilla.
- j) Cierre completamente el colimador y realice la exposición en modo fluoroscopia, abriendo gradualmente el colimador.
- k) Verifique la simetría del campo a medida que se abre el colimador.

Interpretación y acciones

- a) Verifique en el monitor o sistema de imagen la simetría del campo de radiación con respecto al indicador de colimación.

16. Repetibilidad y exactitud del tiempo de exposición

Esta prueba aplica para los equipos: periapical, mamografo y radiología general.

Objetivo: Evaluar la exactitud y la repetibilidad del indicador del tiempo de exposición.

Frecuencia: Inicial, anual y posterior a cambios.

Tolerancia: $< \pm 10\%$.

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+
- c) Computador con software especializado para registrar la medición.
- d) Cinta métrica.
- e) Nivel de burbuja.

Metodología

- a) Defina cuatro valores de tiempo o mAs normalmente usados en el equipo de Rayos X.
- b) Ubique el multisensor de estado sólido a una distancia de 80 cm para el equipo de radiología general y 50 cm para el equipo periapical.
- c) Seleccione en el equipo el primer tiempo o mAs definido en el paso (a).
- d) Realice la exposición con una tensión entre 60-80 kV (solo para el equipo de radiología general).
- e) Registre los datos.
- f) Repita el procedimiento de medición para los demás tiempos definidos.

Interpretación y acciones

- a) Para determinar la *exactitud* en cada tiempo seleccionado usamos la siguiente ecuación que calcula el porcentaje de desviación:

$$\text{Desvio max (\%)} = 100 * \frac{T_{nom} - T_{med}}{T_{nom}}$$

Donde T_{nom} es el tiempo nominal seleccionado en el equipo; T_{med} es el tiempo medido por el multi sensor que más se aleje o discrepe del valor nominal.

- b) Para determinar la *repetibilidad* usamos la siguiente ecuación:

$$\text{Repetibilidad (\%)} = 100 * \frac{L_{mayor} - L_{menor}}{(L_{mayor} + L_{menor})/2}$$

Donde L_{mayor} y L_{menor} , son los valores más discrepantes de las medidas.

- c) Realice un gráfico de *tiempo medido* vs *tiempo nominal*, para analizar el comportamiento del temporizador.

La tolerancia para cada tiempo definido debe ser $\leq 10\%$, si el resultado es negativo indica que la tolerancia está por debajo del valor, si es positivo estrá por encima.

17. Repetibilidad y exactitud de la tensión

Esta prueba permite evaluar la tensión del tubo de rayos X, y nos mostrará si el valor de tensión se mantiene dentro de un margen mínimo de operación para varias mediciones con los mismos parámetros de operación del tubo.

Objetivo: Comprobar la exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos X.

Frecuencia: Inicial, anual y posterior a cambios.

Tolerancia: Repetibilidad $\leq \pm 10\%$, Exactitud $\leq \pm 10\%$, para el mamógrafo debe ser Repetibilidad $\leq \pm 2\%$, Exactitud $\leq \pm 5\%$.

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+.
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+.
- c) Computador con software especializado para registrar la medición.
- d) Cinta métrica.
- e) Nivel de burbuja.

6.1 Procedimiento para el equipo periapical

- a) Ubique el multisensor de estado sólido a 50 cm del punto focal, debajo del localizador.
- b) Seleccione un tiempo de exposición
- c) Realice la exposición.
- d) Registre la medición de kVp.
- e) Repita el procedimiento de medición para cuatro tiempos diferentes.

6.2 Procedimiento para los demás equipos

- a) Ubique el multisensor de estado sólido en el soporte de la mama, completamente nivelado (para el mamógrafo), Para el equipo de radiografía general, ubique el multi sensor a una distancia de 80 cm y para el equipo de fluoroscopia a una distancia de 50 cm.
- b) Ajuste el colimador y centre el sensor en el campo luminoso.
- c) Defina cuatro valores de kV y mA comúnmente usados en la práctica.
- d) Realice tres exposiciones para las diferentes combinaciones de kV y mA, en el caso del fluoroscopio la exposición debe ser de aproximadamente dos segundos.
- e) Registre en los comentarios del software los valores de kV y mA usados en cada exposición.

Interpretación y acciones

a) Para determinar la exactitud, usamos la siguiente ecuación que define la el porcentaje de desviación máximo.

$$\textbf{Desvio max} (\%) = 100 * \frac{kV_{nom} - kV_{med}}{kV_{nom}}$$

Donde **kV_{nom}** es el valor nominal seleccionado o del equipo (kV fijo); **kV_{med}** es el valor medido por el multisensor que más se aleje o discrepe del valor nominal.

b) Para determinar el porcentaje de *repetibilidad* usamos la siguiente ecuación:

$$\textbf{Repetibilidad} (\%) = 100 * \frac{kV_1 - kV_2}{(kV_1 + kV_2)/2}$$

Donde **kV_1** y **kV_2** , son los valores medidos más alejados del valor nominal.

18. Capa hemirreductora HVL (half value layer)

Esta prueba permite medir el espesor del material que atenúa la radiación alrededor del tubo de rayos X y se conoce como HVL.

Objetivo: Verificar si la filtración del tubo de rayos X es correcta.

Frecuencia: Anual, Inicial y después de cambios.

Tolerancia: para el equipo periapical HVL > 1.5 mm de Aluminio, Para los demás equipos de acuerdo a la siguiente información:

Tensión (kV)	HVL (mm Al)
70	2,30
80	2,60
90	3,00
100	3,20
110	3,50
120	3,90
130	4,10

Tabla A7.1 Tolerancia para la prueba de capa hemirreductora
HVL.

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+.
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+.
- c) Computador con software especializado para registrar la medición.
- d) Cinta métrica.
- e) Nivel de burbuja.

Metodología

- a) Defina tres valores de tensión (Ej: 60, 80, 90 kV) y un valor de mAs, para el equipo periapical se debe seleccionar un tiempo fijo de exposición.
- b) Ubique el multisensor completamente nivelado a 80 cm del punto focal, 50 cm para el equipo periapical.
- c) Realice siete medidas de HVL en cada valor de tensión seleccionado.

Interpretación y acciones

- a) Verifique que el promedio de HVL para cada valor de tensión esté dentro de la tolerancia descrita anteriormente.

19. Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición

Esta prueba se realiza para los equipos periapical, mamógrafo y radiología convencional y nos permite verificar que el valor de la dosis aplicada se mantenga en un margen de tolerancia mínima para varias exposiciones con los mismos parámetros de tensión y corriente en el tubo.

Objetivo: Determinar si el quipo cumple con los parámetros mínimos de rendimiento, evaluando la constancia del kerma en aire para un valor de mAs, así como la repetibilidad y la linealidad.

Frecuencia: Inicial y después de cambios.

Tolerancias:

- Repetibilidad tolerancia $\leq \pm 10\%$
- Linealidad tolerancia $\leq \pm 10\%$
- Rendimiento entre 30 y 80 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a un metro del punto focal para los equipos periapicales, mayor de 25 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ para equipos de mamografía, y mayor de 25 $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a 80 kV para equipos de radiografía general.

Tiempo estimado: 10 minutos

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+.
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+.
- c) Computador con software especializado para registrar la medición.
- d) Cinta métrica.

8.1 Procedimiento para equipos periapicales

- a) Ubique el multisensor de estado sólido a 50 cm del punto focal, debajo del localizador.
- b) Defina tres tiempos de exposición (por ejemplo 0.5 s, 1.0 s y 2.0 s).
- c) Seleccione un tiempo de exposición definido.
- d) Realice la exposición, registrando la tensión (kVp) y la corriente (mA) fija.
- e) Registre el valor obtenido.
- f) Repita el procedimiento tres veces.
- g) Realice el procedimiento anterior para los dos tiempos restantes.

8.2 Procedimiento para equipos de mamografía

- h) Ubique el multisensor de estado sólido a 50 cm del punto focal, sobre el soporte de mama.
- i) Defina tres valores de mAs usados comúnmente.
- j) Seleccione el modo manual.
- k) Seleccione un valor entre 25 y 28 kVp y la combinación de filtro Mo/Mo.

- l) Seleccione el primer valor de mAs definido anteriormente.
- m) Realice la exposición y registre los valores de kV, mAs y filtro usados, en las observaciones del software.
- n) Repita el procedimiento para los diferentes valores de mAs definidos.

8.3 Procedimiento para equipos de radiología general

- o) Ubique el multisensor de estado sólido a 80 cm del punto focal
- p) Defina tres valores de mAs y tres valores de tensión usados comúnmente.
- q) Seleccione el modo manual.
- r) Seleccione el primer valor de mAs y kV definido anteriormente.
- s) Realice la exposición y registre los valores de kV, mAs, en las observaciones del software.
- t) Repita el procedimiento variando los dos parámetros, hasta completar todas las posibles combinaciones (total 9 medidas).

Interpretación y acciones para los tres equipos en esta prueba

- a) Para determinar el porcentaje de repetibilidad usamos la siguiente ecuación:

$$\text{Repetibilidad (\%)} = 100 * \frac{L_{mayor} - L_{menor}}{(L_{mayor} + L_{menor})/2}$$

Donde L_{mayor} y L_{menor} , son los valores medidos de dosis más alejados del valor nominal (vlrs. Discrepantes).

- b) Calcule el promedio de las tres medidas, para cada mAs seleccionado.
- c) Calcule el rendimiento de cada mAs dividiendo el promedio de las mediciones, por el término mAs, y registre éste valor.
- d) Calcule la linealidad, usando dos valores de rendimiento R1, R2 y la expresión:

$$\text{Linealidad (\%)} = 100 * \frac{R_1 - R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Registre el valor obtenido, teniendo en cuenta que un signo menos indica que está por debajo del valor nominal, y signo positivo por encima.

- e) Calcule el promedio de los tres valores de rendimiento del ítem (c) y regístrelo.

- f) Calcule el valor del rendimiento en $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ para una distancia de un metro (1 m) y registre el valor obtenido, este valor debe estar dentro de las tolerancias descritas anteriormente para cada equipo.

20. Sistema de imagen

Esta prueba se hizo únicamente para los equipos de radiografía general y mamografía, donde se requiere que el equipo tenga una buena resolución de imagen, a fin de entregar mejores diagnósticos médicos.

Objetivo: Evaluar la resolución del sistema de imagen y la sensibilidad en alto contraste y bajo contraste.

Frecuencia: Inicial, Anual y después de cambios.

Tolerancia: para equipos de radiografía general

- Alto contraste: Número de líneas por mm mayor que 2.5 lp/mm.
- Bajo contraste: Numero de objetos visualizados no debe ser inferior a 3.
- Rango dinámico: Se deben observar todos los escalones.

Tolerancia: para equipos de mamografía deben ser visualizadas claramente como mínimo: cuatro fibrillas; tres grupos de micro calcificaciones y tres masas.

Tiempo estimado: 30 minutos.

Instrumentación

- a) Phantom para radiología y fluoroscopia.
- b) Phantom de mamografia.

9.1 Metodología para el equipo de radiología general

- a) Ubique el phantom a 100 cm del punto focal.
- b) Seleccione una tensión de 70 kV y un mAs de 2.5.
- c) Realice la exposición y procese la imagen de acuerdo a las especificaciones del equipo.

Interpretación y acciones

- a) Debe verificar que la imagen cumpla la tolerancia descrita anteriormente. Por ejemplo:

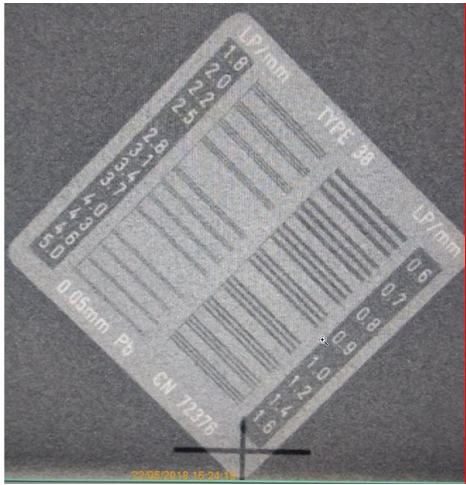
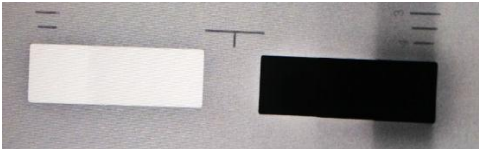
		
Se observan más de 2.5 LP/mm	Se observan más de tres objetos	Se observan todos los escalones

Figura A9.1 Tolerancia para el sistema de imagen

9.2 Metodología para el equipo de mamografía

- Ubique el Phantom en la posición de la mama.
- Inserte un chasis en el equipo.
- Seleccione en el equipo una tensión de 35 kVp.
- Realice la exposición.

Interpretación y acciones

- Revise la imagen en negativo y realice la comparación de acuerdo a la siguiente imagen:

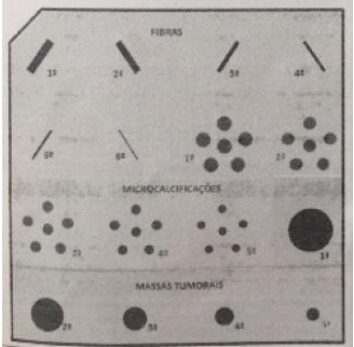
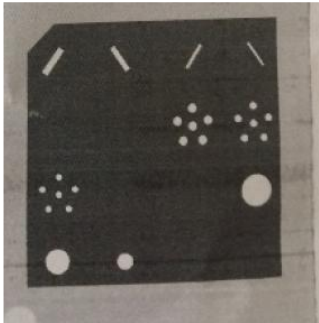
	
Lineas superiores: FIBRAS Region central: MICROCALCIFICACIONES Region Inferior: MASAS TUMORALES	Un buen sistema de reproduccion de imagen debe ser capaz de mostrar la 4^a FIBRA, 3^a MASA TUMORAL, y 3^a MICROCALCIFICACION.

Figura A9.2 Tolerancia para el sistema de imagen del mamografo

21. Control automático de exposición CAE y control automático de brillo CAB

El control automático de exposición es un elemento importante de un equipo de rayos X, el cual asigna de manera automática los valores de operación del tubo de acuerdo a la densidad de tejido que este en el haz. Esta prueba busca verificar que exista compensación de la tensión (kV) y la corriente (mA) del tubo a medida que cambia la densidad de material a realizarle la radiografía. Esta prueba se realizó a los equipos de mamografía que tienen el CAE y fluoroscopia que tienen el CAB.

Objetivo: Evaluar el selector de densidades, la repetibilidad del CAE, CAB y la compensación para diferentes tensiones, espesores y corrientes.

Frecuencia: Inicial, anual y posterior a cambios.

Tolerancias: se debe verificar que el equipo realice la compensación de acuerdo a la densidad del material puesto en exposición.

Tiempo estimado: 20 minutos.

Instrumentación

- Modulo digitalizador Accu-Gold+.
- Multisensor de estado sólido AGSM-DM+.
- Computador con software especializado para registrar la medición.

- d) Láminas de acrílico de diferentes espesores
- e) Cinta métrica.
- f) Nivel de burbuja.

Metodología

- a) Ubique el multisensor de estado sólido a 50 cm del punto focal, sobre el soporte de mama y totalmente nivelado.
- b) Seleccione el control automático en el equipo.
- c) Realice una exposición y registre en el software los valores de tensión y corriente establecidos por el equipo.
- d) Ubique una lámina de acrílico entre el chasis y el multisensor.
- e) Realice la exposición y registre en el software los valores de tensión y corriente establecidos por el equipo.
- f) Repita el procedimiento anterior, para 2 cm, 4 cm y 6cm de acrílico.

Interpretación y acciones

Comprobar, el ajuste automático de la tensión y la corriente registrada en el equipo una vez realizada la exposición, a mayor espesor se debe compensar con un aumento en los parámetros.

22. Dosis de entrada en la piel

Esta prueba consiste en medir la cantidad de kerma (kinetic energy released per unit mass) que recibe el paciente por cada exposición en condiciones rutinarias del equipo. Esta prueba permite determinar la dosis que recibe el paciente al momento de entrar en la piel, y debe estar acorde a los niveles orientativos de referencia determinados por las normas básicas de seguridad colección 115 [6].

Objetivo: Determinar la dosis de entrada típica recibida por un paciente adulto en exámenes frecuentes y comparar los resultados con los niveles recomendados en las normas básicas internacionales de seguridad.

Frecuencia: Anual, Inicial y después de cambios.

Tolerancias:

- Para equipos de mamografía el kerma en aire a la entrada del paciente deberá ser inferior a 15 mGy.
- Para equipos periapicales el kerma en aire a la entrada del paciente deberá ser inferior a 4mGy, el producto de este valor con el factor de retro dispersión (BSF=1.4) deberá ser menor o igual a 7 mGy.
- Para equipos de radiografía general el kerma en aire a la entrada del paciente deberá ser inferior a 35 mGy, el producto de este valor con el factor de retro dispersión (BSF=1.4) deberá ser menor o igual a 40 mGy.
- Para equipos de fluoroscopia de alta tasa de dosis el kerma en aire a la entrada del paciente deberá ser inferior a 100 mGy/min. Factor de retro dispersión (BSF=1.4).

Tiempo estimado: 10 minutos.

Instrumentación

- a) Modulo digitalizador Accu-Gold+.
- b) Multisensor de estado sólido AGSM-DM+.
- c) Computador con software especializado Accu Gold para registrar la medición.
- d) Cinta métrica.

Metodología

- a) Ubique el multisensor de estado sólido al mismo nivel de la superficie de la piel del paciente.
- b) Seleccione los parámetros de exposición de un examen rutinario del paciente.
- c) Realice la exposición y registre los valores de kerma entregados por el software.
- d) Repita el procedimiento tres veces más.

Interpretación y acciones

- a) Realice un promedio de los valores de kerma obtenidos.
- b) Determine el valor de la dosis recibida en la piel del paciente K_s usando la siguiente expresión:

$$K_s = K_{aire} * BSF$$

Donde, K_{aire} es el valor del kerma en aire, BSF es el factor de retrodispersión en el agua o tejido equivalente.

El resultado debe ser menor o igual a las tolerancias descritas anteriormente; *Nivel orientativo normas básicas de seguridad, colección 115* [6].