



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

**ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN RADIODIAGNÓSTICO
MÉDICO EN EL ECUADOR**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: GABRIEL LEONARDO CEVALLOS CORDOVA

DIRECTOR: M.Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁEZ PAGUAY

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Gabriel Leonardo Cevallos Córdova

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Gabriel Leonardo Cevallos Córdova, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de marzo de 2021



Gabriel Leonardo Cevallos Córdova

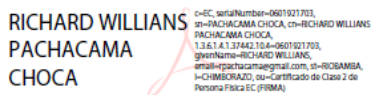
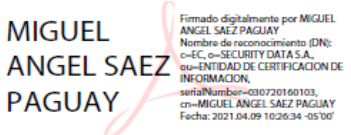

180448690-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación, “ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN RADIODIAGNÓSTICO MÉDICO EN EL ECUADOR”, realizado por el señor: **GABRIEL LEONARDO CEVALLOS CORDOVA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Richard Willians Pachacama Choca PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA	2021-03-19
Biof. /M. Sc. Miguel A. Sáez Paguay DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 MIGUEL ANGEL SAEZ PAGUAY	2021-03-19
Biof. /M. Sc. Vilma N. Yanchapanta B. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 VILMA NOHEMI YANCHAPANT A BASTIDAS	2021-03-19

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios porque sin la bendición de él nada sería posible, a mis padres Víctor y Leonor por su ejemplo, amor y apoyo incondicional en cada paso de mi vida, a mis hermanos Christian, Víctor y Paúl por demostrarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible, a Joselyn por ser uno de los pilares fundamentales durante todo el trayecto de mi vida universitaria.

Gabriel

AGRADECIMIENTO

A cada uno de mis maestros que, con sus conocimientos, no solo científicos, me han ayudado en este duro camino de transitar a formarme como profesional, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y formar parte de esta prestigiosa institución, a mis amigos Augusto, Marlon, Víctor, Pablo y Alejandra por compartir y demostrar una sincera amistad durante todo el proceso de formación académica.

Gabriel

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
<i>1.4.1. Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	<i>4</i>
1.5. Marco Teórico	5
<i>1.5.1. Descubrimiento de los Rayos X.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2. Producción de los Rayos “X”</i>	<i>5</i>
<i>1.5.3. Tipos de Radiaciones Ionizantes</i>	<i>7</i>
<i>1.5.4. Partes de un equipo de radiodiagnóstico.....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.5. Clases de equipos de radiodiagnóstico</i>	<i>9</i>
<i>1.5.6. Efectos biológicos de la radiación ionizante</i>	<i>10</i>
<i>1.5.7. Límite de dosis</i>	<i>13</i>
<i>1.5.8. Magnitudes dosimétricas</i>	<i>14</i>
1.6. Control de calidad	15
<i>1.6.1. Importancia del control de calidad.....</i>	<i>15</i>

1.6.2. Estructura	16
1.6.3. Clasificación de las pruebas	16
1.6.4. Equipos y materiales.....	17

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	18
2.1. Tipo de Investigación	18
2.2. Diseño de la Investigación	18
2.3. Metodología.....	18

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	22
3.1. Control de calidad en radiología general.....	22
3.1.1. Levantamiento Radiométrico	22
3.1.2. Inspección visual de la instalación.....	24
3.1.3. Sistema de colimación del haz y perpendicularidad del rayo central	25
3.1.4. Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición	25
3.1.5. Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x.....	26
3.1.6. Capa hemirreductora.....	27
3.1.7. Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición.....	28
3.1.8. Tamaño del punto focal.....	29
3.1.9. Indumentaria de protección	30
3.1.10. Resolución espacial de alto contraste.....	30
3.1.11. Umbral de sensibilidad a bajo contraste	31
3.1.12. Limpieza de pantallas radiográficas intensificadoras.....	31
3.1.13. Sensibilidad del control automático de exposición (CAE).....	32
3.1.14. Repetibilidad del control automático de exposición (CAE)	32
3.1.15. Compensación del CAE para distintos espesores y tensiones.....	33

3.2. Control de calidad en mamografía.....	33
3.2.1. <i>Inspección visual del equipo.....</i>	33
3.2.2. <i>Limpieza del cuarto oscuro</i>	34
3.2.3. <i>Almacenamiento de películas.....</i>	34
3.2.4. <i>Hermeticidad de los chasis</i>	34
3.2.5. <i>Contacto película-pantalla</i>	35
3.2.6. <i>Coincidencia del campo de radiación-película</i>	35
3.2.7. <i>Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x.....</i>	36
3.2.8. <i>Capa hemirreductora.....</i>	36
3.2.9. <i>Fuerza de compresión</i>	37
3.2.10. <i>Compensación del (CAE) para diferentes espesores y tensiones</i>	37
3.2.11. <i>Sensitometría</i>	38
3.2.12. <i>Dosis glandular media (D_G).....</i>	38
3.3. Control de calidad en tomografía computarizada.....	39
3.3.1. <i>Coincidencia de los indicadores luminosos y coincidencia del indicador luminoso interno con el haz de radiación</i>	39
3.3.2. <i>Desplazamiento de la mesa.....</i>	40
3.3.3. <i>Espesor de corte efectivo</i>	40
3.3.4. <i>Ruido de la imagen.....</i>	41
3.3.5. <i>Valor medio del número CT.....</i>	41
3.3.6. <i>Umbral de sensibilidad a bajo contraste</i>	41
3.3.7. <i>Resolución espacial</i>	42
3.3.8. <i>Dosis de radiación</i>	42
3.4. Control de calidad en equipos dentales.....	43
3.4.1. <i>Parámetros geométricos</i>	43
3.4.2. <i>Calidad de haz</i>	43
3.4.3. <i>Tiempo de exposición</i>	43
3.4.4. <i>Rendimiento.....</i>	43
CONCLUSIONES.....	45

RECOMENDACIONES.....46

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Características de los tres síndromes que pueden aparecer en el hombre en la etapa de enfermedad manifiesta tras una irradiación aguda de cuerpo entero	11
Tabla 2-1: Principales efectos deterministas inducidos por radiación en órganos y tejidos....	11
Tabla 3-1: Principales características de los efectos estocásticos y deterministas inducidos por exposición a radiación ionizante	12
Tabla 4-1: Dosis máxima permitida para irradiación externa.....	13
Tabla 5-1: Factores de ponderación de la radiación (W_R)	14
Tabla 6-1: Factor de ponderación para el órgano o tejido	15
Tabla 7-1: Magnitudes dosimétricas: conversión y deposición de energía empleadas	15
Tabla 1-2: Artículos científicos utilizados en la investigación	18
Tabla 1-3: Factores de Ocupación.....	23
Tabla 2-3: Niveles de restricción de dosis.....	24
Tabla 3-3: Tamaños recomendados del punto focal	29
Tabla 4-3: Límites aceptables y deseables para dosis glandular media (D_G)	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Fotografía de la primera radiografía	5
Figura 2-1:	Producción de los rayos X característicos	6
Figura 3-1:	Producción de los rayos X de frenado	7
Figura 4-1:	Tipos de radiación ionizante.....	7
Figura 5-1:	Materiales de atenuación para los diferentes tipos de radiación	8
Figura 6-1:	Interacción de la radiación ionizante con el material genético.....	13

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** IMAGEN DEL POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE COLIMACIÓN.
- ANEXO B:** IMAGEN DEL POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO MEDIDOR DE TIEMPO DE EXPOSICIÓN.
- ANEXO C:** ESQUEMA EXPERIMENTAL PARA LAS MEDIDAS DE LA CAPA HEMIRRE-DUCTORA (CHR).
- ANEXO D:** RADIOGRAFÍA DELANTERA DE UN MANDIL PLOMADO MAL CUIDADO.
- ANEXO E:** IMAGEN DE UN EJEMPLO DE OBJETO DE PRUEBA DE PARES DE LÍNEAS.
- ANEXO F:** MANCHAS ORIGINADAS POR MOTAS ATRAPADAS ENTRE LA PELÍCULA Y LA PANTALLA.
- ANEXO G:** IMAGEN DEL MANIQUÍ CON LA ALINEACIÓN CON LOS LÁSERES.
- ANEXO H:** PELÍCULA EN EL SOBRE CON LOS ORIFICIOS EN LA RECTA TRAZADA.
- ANEXO I:** ESQUEMA DEL MANIQUÍ PARA EVALUACIÓN DE BAJO CONTRASTE.
- ANEXO J:** ARTICULO CIENTÍFICO PUBLICADO EN LA REVISTA POLO DEL CONOCIMIENTO.

ABREVIATURAS

SEFM	Sociedad Española de Física Médica
SEPR	Sociedad Española de Protección Radiológica
SERAM	Sociedad Española de Radiología Médica
IAEA (siglas en inglés)	Organismo Internacional de Energía Atómica
ARCAL	Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe
kVp	Kilovoltaje pico
α	Alfa
β	Beta
γ	Gamma
Z	Número atómico
A	Número másico
β^-	Desintegración beta negativa
β^+	Desintegración beta positiva
CAE	Control Automático de Exposición
Gy	Grey (unidad dosimétrica)
POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
CCEEM	Centro de Control Estatal de Equipos Médicos
MERNNR	Ministerio de energía y recursos no renovables
PMMA	Polimetacrilato de Metilo

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación el objetivo principal es analizar los controles de calidad que se vienen realizando en el contexto nacional e internacional, para lo cual se optó por un análisis cualitativo de la literatura, el cual permite tener información sintetizada y clara del tema a tratar. El resultado más importante de la investigación fue la publicación de un artículo científico en una revista indexada en latindex catálogo 2.0, en donde se abarca tres ejes fundamentales, la producción de rayos X, efectos biológicos que produce la radiación ionizante y los principales controles de calidad que se deben realizar a los equipos imagenológicos que se encuentran en los diferentes establecimientos de salud en el país, para de esta manera garantizar su correcto funcionamiento y brindar la protección radiológica tanto al paciente, como al personal que por su situación de trabajo está expuesto a este tipo de radiación. Las pruebas descritas en este trabajo de investigación son producto de realizar una comparación en varias bibliografías, tomando en cuenta los procedimientos mínimos que se deben realizar, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos. Los datos, valores, tolerancias descritas en las partes pertinentes de los diferentes equipos de radiodiagnóstico permiten saber si la prueba realizada es aceptable o no. En este punto se debe crear mecanismos que permitan actualizar y mejorar la implementación de los procesos, basados en la realizada ecuatoriana, para tener un documento que facilite al profesional cualificado la ejecución de las diferentes pruebas.

Palabras clave: <CONTROL DE CALIDAD>, <RADIACIÓN IONIZANTE>, < EFECTOS BIOLÓGICOS>, < OPTIMIZACIÓN>, < PROTECCIÓN RADIOLÓGICA>, < PACIENTE>.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**



08-04-2021

0976-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The main objective of this qualification work is to analyse the quality controls that are being carried out in the national and international context, for which a qualitative analysis of the literature was chosen, which allows us to have synthesised and clear information on the subject to be dealt with. The most important result of the research was the publication of a scientific article in a journal indexed in the Latindex 2.0 catalogue, which covers three fundamental aspects: the production of X-rays, the biological effects produced by ionising radiation and the main quality controls that should be carried out on the imaging equipment found in the different health establishments in the country, in order to guarantee its correct functioning and provide radiological protection for both the patient and the personnel who are exposed to this type of radiation due to their work situation. The tests described in this research work are the result of a comparison of several bibliographies, considering the minimum procedures that must be carried out to guarantee the correct functioning of the equipment. The data, values and tolerances described in the relevant parts of the different radio diagnostic equipment make it possible to know whether the test performed is acceptable or not. At this point, mechanisms should be created to update and improve the implementation of the processes, based on the Ecuadorian reality, to have a document that facilitates the execution of the different tests for the qualified professional.

Keywords: < QUALITY CONTROL>, < IONISING RADIATION>, < BIOLOGICAL EFFECTS>, < OPTIMISATION>, < RADIOLOGICAL PROTECTION>, < PATIENT>.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la utilización de las radiaciones ionizantes con fines diagnósticos forma parte de uno de los aspectos más importante de ayuda para la detección de enfermedades que están asociadas a diferentes patologías; dentro del proceso de obtención de imágenes existen tres elementos básicos: el equipo de rayos X, el cual es el encargado de generar la radiación ionizante; el paciente, individuo que atenúa la radiación generada por el equipo de rayos X y por último el receptor de imagen, equipo capaz de proporcionar una imagen de alta calidad.

Es así como en el área de radiodiagnóstico el principal objetivo es la obtención de imágenes, para lo cual la Organización Mundial de la Salud lo define de la siguiente manera:

Conjunto de acciones planificadas y organizadas para garantizar que las imágenes producidas tengan una calidad suficientemente elevada que permita obtener en todo momento la información diagnóstica adecuada, al menor coste posible y con la mínima exposición del paciente a las radiaciones (Organización Mundial de la Salud, 1984; citado en Machado et al., 2013, p.15).

En este punto la dosis impartida al paciente y al personal que por su situación de trabajo está expuesta a la radiación ionizante, juega un papel importante, ya que muchos estudios demuestran que a diferentes tasas de dosis se pueden presentar diferentes efectos, que para el estudio se los ha dividido en dos, estocásticos y determinísticos; de esta manera la implementación de un control de calidad para los diferentes equipos de radiodiagnóstico existentes en el país, permitirá comprobar de una manera técnica y científica el correcto funcionamiento de cada uno los componentes del equipo.

Estas pruebas realizadas a los equipos de radiodiagnóstico permiten asegurar la calidad de los procedimientos y métodos a los cuales los pacientes que por su condición de salud, están expuestos a la radiación ionizante; las pruebas están basadas en protocolos internacionales que han sido revisados de manera detallada y puestos en práctica dando resultados positivos, lo cual permitirá al profesional tener resultados con una alta fiabilidad diagnóstica, y a su vez brindar al paciente la seguridad que está protegido durante el proceso de obtención de la imagen.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En el año 2001 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL) en su publicación XLIX denominada “Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico” menciona que en América Latina se ha identificado que a pesar del gran número de instalaciones radiológicas que existe en la región hay un déficit en la falta de personal calificado y la ausencia de guías y protocolos que garanticen la calidad en el área de radiodiagnóstico, por lo que estos Organismos implementan este protocolo que pretende dar su aporte a la solución del problema proponiendo mecanismos concretos de implantación de las Normas Básicas de Seguridad (NBS) en la región, proponiendo en particular protocolos de control de calidad para cada uno de los campos de aplicación de la radiología, a fin de proveer un protocolo unificado, adaptado con las necesidades específicas que cada uno de ellos requieran en el campo del radiodiagnóstico, para que de esta manera los profesionales encargados del control de calidad brinden seguridad y protección a los pacientes que son sometidos a estos estudios radiológicos (IAEA y ARCAL, 2001, p.6).

En el año 2005 O. Delgado en su publicación “Radioprotección, Control de Calidad en Radiodiagnóstico” determina que en Chile, aproximadamente entre 6 y 7 millones de personas al año se realizan estudios imagenológicos, es decir de cada 100 habitantes 50 se realizan dicho estudio; y una de las principales dificultades es la no existencia de un Programa único nacional en Protección Radiológica y en Control de Calidad, al igual que, la no actualización y falta de documentos regulatorios normativos, y la no existencia de estándares en materia de calidad de prácticas radiológicas, en su estudio el principal objetivo, fue la optimización de la actividad con la producción de imágenes de alta calidad diagnóstica con un mínimo de exposición de los operadores y pacientes, razón por la cual, nace la propuesta de un protocolo que se adapte a las necesidades del país, y así evitar que los equipos sean operados fuera de las condiciones preestablecidas y asegurar que las reparaciones sean ejecutadas según un programa adecuado de mantenimiento, de esta manera se evita la deposición de dosis innecesaria al paciente que no contribuye a la obtención del estudio imagenológico (Delgado, 2005, pp. 39-43).

1.2. Planteamiento del Problema

Los protocolos de control de la calidad en radiodiagnóstico determinan pruebas para que los equipos funcionen de una manera correcta y brinden a los médicos imágenes de alta calidad diagnóstica, sin dejar de lado el cuidado tanto del paciente como del personal operacional.

La importancia y el principal objetivo de un protocolo de control de calidad radica en comprobar que los equipos de radiodiagnóstico que se utilizan para obtener imágenes depositen la dosis necesaria en el paciente, evitando irradiaciones que no contribuyan a la obtención del estudio imagenológico. Para el control de dosis impartidas a los pacientes, una comisión de expertos de la Unión Europea (UE) han elaborado una guía sobre los niveles de referencia en diagnóstico, ya que si el paciente está expuesto a dosis elevadas podría causar efectos colaterales como lo es el cáncer radio inducido, y en el peor de los escenarios la muerte del paciente (Fuentes, Torres y Valencia, 2015, pp. 337-347).

En la actualidad Ecuador cuenta con el “MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD PARA RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA” expedido el 27 de mayo del año 2020, donde se detalla las pruebas para realizar los controles de calidad en las prácticas mencionadas. Es necesaria la revisión, el análisis y la comparación del manual ecuatoriano con protocolos internacionales de manera que se consolide como un instrumento verificado y ampliamente difundido entre los profesionales encargados de la seguridad radiológica y en general, a todos los involucrados directa e indirectamente con el radiodiagnóstico médico.

De esta manera, el paciente que por su condición de salud necesite realizarse un estudio donde intervenga la radiación ionizante para la obtención de la imagen, estaría seguro de que la dosis impartida sea la correcta, y el estudio sea una contribución a la solución de su problema de salud, mas no una afección.

1.3. Justificación

Actualmente, en Ecuador no se realizan todas las pruebas de control de calidad en radiodiagnóstico médico, pese a la expedición del manual ecuatoriano, en parte, debido a que no se cuenta con una adecuada cultura de seguridad radiológica, específicamente en temas de control de calidad de los equipos, por lo que contribuir a concientizar en su importancia, es dar un paso hacia la mejora de las aplicaciones nucleares dentro del país.

Con este trabajo, también se contribuye a que la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), el cual se desarrolla como órgano regulador en el Ecuador, pueda

gradualmente exigir el cumplimiento estricto de todas las pruebas para la optimización de la protección y la seguridad.

Finalmente, mediante la revisión bibliográfica se puede nutrir al manual ecuatoriano de experiencias internacionales y proveer a los profesionales inmersos en esta área de insumos para una mejor implementación de estos procesos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador.

1.4.2. Objetivos específicos

- Organizar la literatura de los procedimientos que se vienen realizando para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en el contexto nacional e internacional.
- Evaluar desde un enfoque técnico las ventajas y desventajas de mantener los procedimientos de aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico.
- Sintetizar los lineamientos en control y aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico.
- Emitir recomendaciones para la mejora de los procesos de aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador.

1.5.Marco Teórico

1.5.1. Descubrimiento de los Rayos X

En 1895 el físico alemán Wilhelm Roentgen descubrió de forma accidental los rayos X, mientras realizaba el estudio de los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseoso de alto voltaje (tubo de Crookes), a pesar de que el tubo se encontraba en una caja negra, observó un fenómeno de fluorescencia en una placa de platinocianuro de bario que se encontraba cercana al tubo, tras realizar varios experimentos determinó que dicha fluorescencia se debía a un tipo de radiación más penetrante que los rayos ultravioleta, a los cuales les denominó rayos X, lo cual hacía referencia a lo desconocido de dicha radiación; el descubrimiento de este tipo de radiación lo conllevó a ganar el premio Nobel De Física en el año de 1901, ya que significa un gran avance en materia de Física-Médica. Para demostrar el poder de penetración, escogió la mano de su esposa, a quien se la adjudica la primera radiografía (Busch, 2016).



Figura 1-1. Fotografía de la primera radiografía
Realizado por: Bushong, S. 2010

1.5.2. Producción de los Rayos “X”

La producción de la radiación X se da en el interior del tubo, dentro del cual se encuentra dos partes principales el ánodo y el cátodo, gracias a la interacción de una diferencia de potencial con el filamento (cátodo) se produce electrones acelerados los cuales toman el nombre de electrones proyectil, dichos electrones viajan a través del vacío generado en el tubo, con la finalidad que no pierdan energía cinética y alcancen su máxima velocidad. Los electrones proyectil al interactuar con el blanco (ánodo), el cual está conformado por un material metálico con un alto número atómico, que generalmente es tungsteno o wolframio, transfieren su energía cinética a los electrones orbitales de los átomos del blanco, de esta manera los electrones proyectil al colisionar

con el material metálico, dan lugar a la generación de la radiación X y calor, cabe recalcar que “la eficiencia de producción de rayos X aumenta al incrementar el valor de kVp, es así que a 60 kVp solo el 0,5% de la energía cinética se convierte en rayos X y a 100 kVp se convierte en rayos X aproximadamente el 1%” (Bushong, 2010, p.140), mientras que el resto de energía se pierde en forma de calor.

Existen dos tipos de radiación X: radiación característica y radiación bremsstrahlung.

- **Radiación Característica**

Se produce cuando el electrón proyectil interacciona con las capas internas del átomo del blanco, de esta manera ioniza al átomo arrancando un electrón, creando un vacío temporal que posteriormente será llenado por un electrón de la capa externa, emitiendo radiación X, la energía asociada a este tipo de radiación será igual a la energía de los enlaces, y esto a su vez va a depender del tipo de material que conforman el blanco (Morales y Anselmo, 2020).

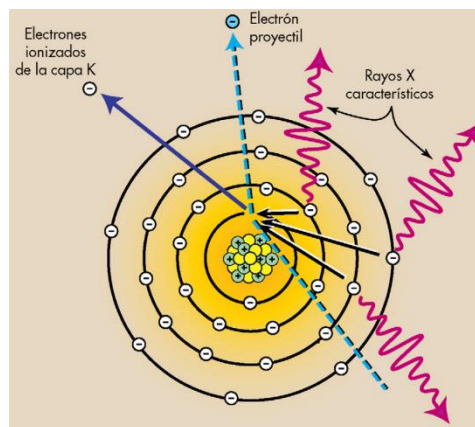


Figura 2-1. Producción de los rayos X característicos
Realizado por: Bushong, S. 2010

- **Radiación Bremsstrahlung**

Este tipo de radiación proviene de la palabra alemana bremsstrahlung que significa radiación de frenado, se genera cuando el electrón proyectil interactúa en las cercanías del núcleo del átomo, de manera que el electrón se ve afectado por el campo eléctrico frenándose de manera abrupta y cambiando de dirección, esta pérdida de energía al frenarse se manifiesta en forma de radiación X (Herranz, 2019, p. 27).

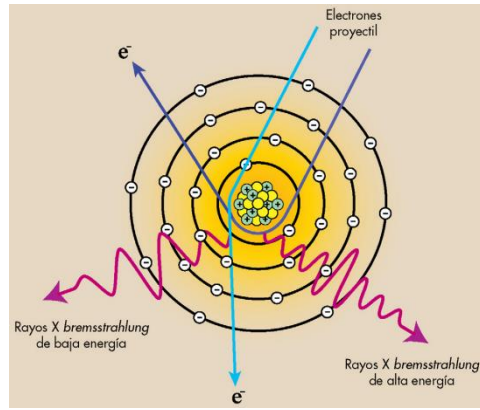


Figura 3-1. Producción de los rayos X de frenado
Realizado por: Bushong, S. 2010

1.5.3. Tipos de Radiaciones Ionizantes

La radiación ionizante se caracteriza por tener la suficiente cantidad de energía para ionizar, al momento que esta interactúa con la materia; para el estudio de la radiación ionizante, se las ha clasificado en dos: ondulatorias y corpusculares (Aldana, Saaibi y Medina, 2020).

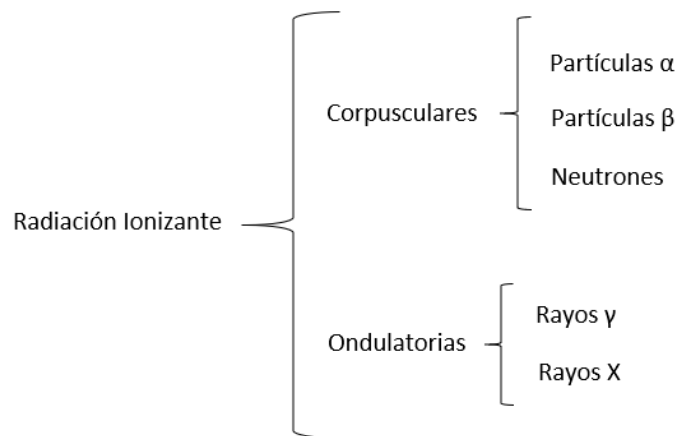


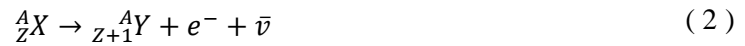
Figura 4-1. Tipos de radiación ionizante
Realizado por: Cevallos, G. 2020

La radiación alfa, son partículas cargadas positivamente, similares a una partícula de helio, que está compuesta de dos protones y dos neutrones, es decir que cuando un núcleo emite una partícula α , su número atómico (Z) disminuye dos unidades y su número atómico (A) disminuye en cuatro unidades. Para atenuar este tipo de radiación basta con una hoja de papel, por la razón de que su poder de penetración es muy bajo (Badel et al., 2018).



La radiación beta, presenta tres procesos de desintegración: desintegración beta negativo (β^-) que es la emisión de un electrón, beta positiva (β^+) que es la emisión de un positrón y por último

la captura electrónica, que se caracteriza por la captura de un electrón por parte del núcleo atómico; para atenuar este tipo de radiación se necesita de milímetros de aluminio (Carpio 2016). La desintegración β^- se da principalmente en elementos que en su núcleo tienen exceso de neutrones, para que suceda este tipo de desintegración el neutrón se transforma en un positrón emitiendo un electrón, como resultado se obtiene otro elemento con el mismo número másico y con su número atómico aumentado en una unidad (Torrado, 2020).



La desintegración β^+ se da por la transformación de un protón en un neutrón acompañado por la emisión de un positrón y un neutrino, el resultado final es otro elemento que tiene el mismo número másico pero su número atómico disminuye en una unidad (Olivas, 2016).



La captura electrónica, es el proceso mediante el cual el núcleo del átomo captura un electrón, transformando de esta manera a un protón en un neutrón, como resultado final se obtiene otro elemento que tiene el mismo número másico, pero su número atómico disminuye una unidad (Núñez y Roglá, 2011, pp. 51-52).



La radiación gamma se caracteriza por su gran poder de penetración, es similar a los rayos X, este tipo de radiación se produce cuando el núcleo se encuentra en un nivel excitado y al momento de pasar a un nivel energético menor, emite fotones de alta frecuencia y energía, el elemento no cambia su composición; para atenuar este tipo de radiación se necesita de materiales con una alta densidad como por ejemplo el plomo o el hormigón (Vallejo, 2019).

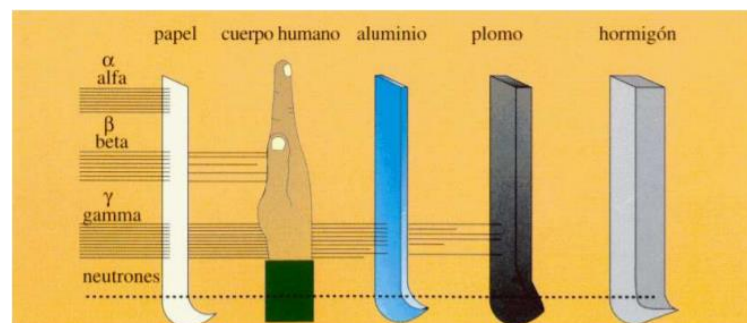


Figura 5-1. Materiales de atenuación para los diferentes tipos de radiación

Realizado por: Cueva, R. 2008

1.5.4. Partes de un equipo de radiodiagnóstico

Según (Pifarré et al., 2012, p.30), las partes fundamentales de un equipo de radiodiagnóstico son las siguientes:

- **Tubo de rayos X:** este dispositivo es el encargado de emitir la radiación ionizante, mediante un proceso en el cual los electrones acelerados colisionan con el blanco, los principales componentes de un tubo de rayos X son el ánodo y el cátodo.
- **Armario eléctrico:** contiene todo lo que corresponde a la parte de alimentación eléctrica del equipo, como por ejemplo transformadores, rectificadores, etc.
- **Suspensión techo:** es un sistema donde se encuentra acoplado el tubo de rayos X, el cual permite apuntar el haz de radiación a cualquier parte dentro de la sala, donde así lo requiera el técnico radiólogo, para realizar el estudio diagnóstico.
- **Mesa de exploración:** esta parte del equipo permite realizar diferentes exploraciones como por ejemplo tronco, extremidades, abdomen, extremidades tanto superiores como inferiores, etc.
- **Bucky mural:** es la parte del equipo que está formado por muchos componentes, entre ellos se encuentra el receptor de imagen, este tipo de dispositivo es usado cuando el paciente se encuentra de pie; las partes principales son la parrilla antidifusora y el sistema de control automático de exposición (CAE).
- **Bucky mesa:** es similar al bucky mural, la diferencia es que el paciente se encuentra en posición horizontal paralelo a la mesa, también dispone de parrilla antidifusora y CAE.
- **Receptor de imagen:** estos dispositivos se encuentran por lo general en el bucky mural o en el bucky mesa, y están conformados por un chasis con películas o chasis con fósforos fotoestimulables.
- **Colimadores:** es un dispositivo que permite dar diferentes formas al haz de radiación como así lo requiera el técnico radiólogo.
- **Consola de control:** es una habitación en donde se encuentra el equipo computacional que controla todos los parámetros del equipo radiodiagnóstico, este a su vez se encuentra adyacente al equipo y consta de paredes plomadas para cumplir con los parámetros de protección radiológica.

1.5.5. Clases de equipos de radiodiagnóstico

El avance en materia de tecnología radiológica ha permitido en la actualidad que, en el país, dentro de los centros hospitalarios privados y públicos, se cuente con varios equipos de radiodiagnóstico para aplicaciones específicas.

Según (Pifarré et al., 2012, p. 28) los equipos de radiación se clasifican en:

- **Equipos convencionales:** son los más comunes y son utilizados en radiología general, para obtener estudios simples tanto en partes blandas como en huesos; es la técnica primordial por excelencia para obtener imágenes diagnósticas (Pifarré et al., 2012).
- **Equipos telecomandados:** Se utiliza para realizar estudios más complejos, que permiten obtener imágenes en tiempo real, como por ejemplo del aparato digestivo o aparato urinario, este tipo de estudio nos permite obtener imágenes dinámicas que a la posterior nos permitirá tener una imagen fija, para así el médico especialista emita el diagnóstico (Wiley, Eleid y Thaden, 2018).
- **Arco intervencionista:** Son específicos para realizar estudios en temas relacionados con el sistema circulatorio, coronario y neurológico, para realizar este tipo de estudio, al paciente se le inyecta un radioisótopo, que, al momento de interactuar con la radiación del equipo, permite visualizar la patología, es un proceso mínimamente invasivo utilizado en cirugía (Durán, 2015).
- **Equipos de mamografía:** Se utilizan específicamente para la obtención de imágenes en mama, las cuales son fundamentales para prevenir y diagnosticar el cáncer. Su importancia radica en que puede detectar lesiones muy pequeñas, incluso en el orden de los milímetros asegurando la posibilidad de un tratamiento definitivo exitoso y simple (Villareal, 2016).
- **Tomografía computarizada:** Es un estudio que tiene la facultad de reconstruir planos axiales, planos transversales y sagitales, dando lugar a una imagen en tres dimensiones producto de varios procesos informáticos, por medio de un ordenador potente (Espitia, Mejía y Arguello, 2016).
- **Equipos dentales:** Los equipos dentales están especialmente diseñados para obtener imágenes de piezas dentales, que ayudan al odontólogo con información importante para un correcto diagnóstico y tratamiento del paciente (Barba, Ruiz y Hidalgo, 2020).

1.5.6. Efectos biológicos de la radiación ionizante

Dentro de la biología hay una rama que se especializa en estudiar los efectos que la radiación ionizante produce al momento de interactuar con el tejido biológico, a la cual se la denomina radiobiología, dichos efectos se clasifican en somáticos, que se produce cuando el individuo ha sido expuesto a radiación, y hereditarios, si los efectos se presentan en la descendencia, los efectos hereditarios a su vez se clasifican en efectos estocásticos y efectos determinísticos (Puerta y Morales, 2020, p. 62).

Efectos deterministas: se producen como consecuencia de una elevada tasa de muerte celular que experimenta un órgano o un tejido, lo que provoca que pierda su funcionalidad; la gravedad

de estos efectos está ligado íntimamente a la dosis de radiación recibida, la cual debe superar el umbral dosis que se establece en diferentes estudios para la aparición de dichos efectos, y se presentan a mediano o corto plazo. La radiosensibilidad juega un papel importante en este tipo de efectos, debido a que la radiación afecta en mayor proporción a organismos que se encuentran en desarrollo a diferencia de los organismos adultos, de los cuales se puede distinguir tres etapas (Gonzales, 2020).

- **Prodrómica:** es la manifestación de los síntomas tales como vómitos, diarrea, cefalea, vértigo, insomnio, alteración de los órganos de los sentidos, esto sucede como respuesta del sistema nervioso y parecen en las primeras 48 horas después de haber irradiado al paciente.
- **Latente:** se caracteriza por la ausencia de síntomas, esto va a depender de la dosis recibida por el paciente.
- **De enfermedad manifiesta:** son síntomas específicos asociados a los tejidos y órganos que han recibido radiación ionizante, en este tipo de efectos se manifiestan tres síndromes después de haber realizado la irradiación: sistema nervioso central, gastrointestinal y médula ósea.

Tabla 1-1: Características de los tres síndromes que pueden aparecer en el hombre en la etapa de enfermedad manifiesta tras una irradiación aguda de cuerpo entero

	Dosis	Prodrómica	Latencia	Enfermedad manifiesta	Muerte
Sistema de la médula ósea	3-5 Gy	Pocas horas	Algunos días – 3 semanas	Infecciones, Hemorragias, Anemia	30-60 días (>3 Gy)
Síndrome gastrointestinal	5-15 Gy	Pocas horas	2-5 días	Deshidratación, Desnutrición, Infecciones	10-20 días
Síndrome del sistema nervioso central	>15 Gy	Minutos	Escasas horas	Convulsiones, Ataxia, Coma	1-5 días

Fuente: Real, 2010.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

Tabla 2-1: Principales efectos deterministas inducidos por radiación en órganos y tejidos

Tejido	Efecto	Periodo de latencia aproximado	Umbral aproximado (Gy)	Dosis efectos severos	Causa
Sistema hematopoyético	Infecciones, Hemorragias	2 semanas	0.5	2.0	Leucopenia, Plaquetopenia
Sistema inmune	Inmunosupresión, Infección sistémica	Algunas horas	0.1	1.0	Linfopenia
Sistema gastrointestinal	Deshidratación, Desnutrición	1 semana	2.0	5.0	Lesión del epitelio intestinal
Piel	Encamación	3 semanas	3.0	10.0	Daño a la capa basal
Testículo	Esterilidad	2 meses	0.2	3.0	Aspermia celular
Pulmón	Neumonía	3 meses	8.0	10.0	Fallos en la barrera alveolar
Cristalino	Cataratas	>1 año	0.2	5.0	Fallos en la maduración

Tiroides	Deficiencias metabólicas	<1 año	5.0	10.0	Hipotiroidismo
Sistema nervioso central	Encefalopatías y mielopatías	Muy variable según dosis	15.0	30.0	Desmielinización y daño vascular
Ovario	Esterilidad	<1 mes	0.5	3.0	Muerte interfásica del oocito

Fuente: Real, 2010.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

Efectos estocásticos: la célula que ha sido irradiada puede no morir, esto implica que puede verse modificada, es decir mutada, lo que conllevaría a la aparición de dicho efecto. Si dichas mutaciones afectan a las células germinales, estos podrían transmitirse a la siguiente generación. Los efectos estocásticos somáticos ocurren a bajas tasas de dosis, no tienen umbrales de dosis específicos y la gravedad depende de a qué tipo de células ha sido afectado (Dias et al., 2019).

- **Efectos estocásticos somáticos:** el efecto somático más relevante que se manifiesta es la aparición del cáncer, que sucede cuando la radiación interactúa con el material genético de la célula (ADN), la transformación de una célula sana a una maligna es un proceso complejo, ya que intervienen varios factores tanto celulares como ambientales (Lancharro y Marín, 2016).
- **Efectos estocásticos heredables:** a ciencia cierta, no se puede afirmar que la descendencia del individuo que ha sido irradiado, puede tener los genes mutados, sin embargo, hay estudios convincentes que demuestran que la radiación causa efectos heredables tanto en plantas como en animales de experimentación, lo cual parece que es poco probable que los humanos sean la excepción (ICRP, 2007. p. 49).

Tabla 3-1: Principales características de los efectos estocásticos y deterministas inducidos por exposición a radiación ionizante

	Efectos estocásticos	Efectos determinantes
Mecanismo	Lesión subletal (una o pocas células)	Lesión letal (muchas células)
Naturaleza	Somática o hereditaria	Somática
Gravedad	Independiente de dosis	Dependiente de dosis
Dosis umbral	No	Si
Relación dosis - efecto	Lineal - cuadrática	Lineal
Aparición	Tardía	Corto- mediano plazo

Fuente: Real, 2010.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

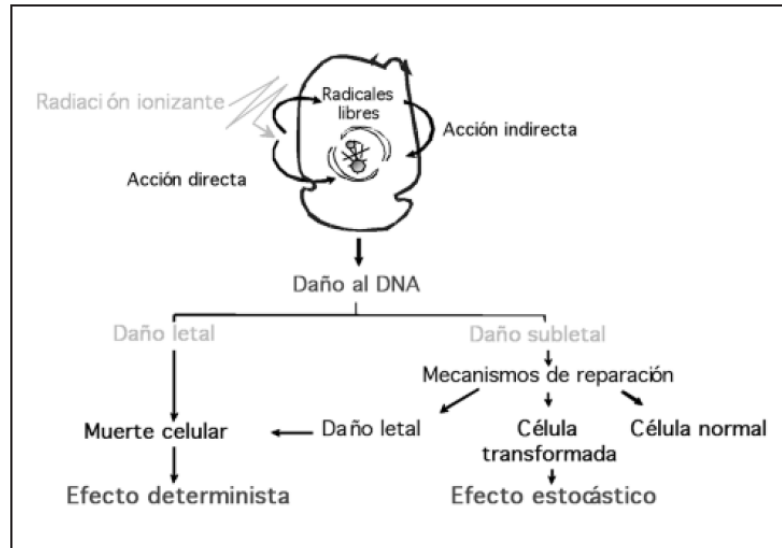


Figura 6-1. Interacción de la radiación ionizante con el material genético

Realizado por: Real, A. 2010

1.5.7. Límite de dosis

En el Decreto Supremo No 3640 publicado por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica con fecha 8 de agosto de 1979 en el capítulo I, donde habla sobre los límites de dosis señala que:

“**Art. 1.-** Dosis máxima permitida para personas ocupacionalmente expuestas. - No se podrá usar fuentes de radiación que den lugar a que una persona ocupacionalmente expuesta, reciba una dosis de radiación en exceso de los límites especificados a continuación:” (Ecuador, 1979, p. 1).

Tabla 4-1: Dosis máxima permitida para irradiación externa

ÓRGANO	DOSIS MÁXIMA PERMITIDA	
	rem/año	rem/trimestre
Cuerpo entero, gónadas, medula ósea	5	3
Hueso, piel de todo el cuerpo, tiroides	30	15
Manos, antebrazos, pies, tobillos	75	40
Todos los otros órganos	15	8

Fuente: Vásquez, 2017.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

“Exceptúense de esta tabla al personal femenino en edad reproductiva, quien no puede recibir más de 1.25 rem/trimestre, y la mujer en estado de gravidez, quien no podrá recibir más de 1 rem durante el período de embarazo”(Ecuador, 1979,p.1).

Art. 2.- Dosis máxima permitida para la población en general. - La dosis de radiación que puede recibir la población en general por irradiación externa no deberá exceder el diez por ciento (10%) de los valores especificados en el literal a), Art. 1. Se exceptúa la tiroides de personas menores de 16 años, cuya dosis no deberá exceder de 150 mrem/año. Para irradiación interna, los valores límites anuales de ingestión e inhalación de material

radiactivo, son los indicados en la tabla No. 2. Para la incorporación de mezclas de radionucleidos, se seguirá un criterio igual al establecido en el literal b) Art. 1 (Ecuador 1979, p. 2)

“Art. 3.- Exposición de menores de edad. - Se prohíbe el trabajo de personas menores de 18 años de edad en áreas de radiación” (Ecuador, 1979, p. 2).

1.5.8. Magnitudes dosimétricas

Son magnitudes físicas que están relacionadas con los efectos reales y potenciales de la radiación ionizante, se consideran básicas para cualquier tipo de estudio realizado en radiodiagnóstico (Ubeda de la C. et al., 2015).

- **Exposición (X):** esta magnitud cuantifica la capacidad de ionizar una masa de aire, la cual expresa la cantidad de carga eléctrica de los electrones (Q) que se genera en una masa de aire (m); se expresa en unidades de Roentgen (R) la cual es equivalente a $2.58 \times 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$ (Andisco, Blanco y Buzzi, 2014, p. 115).
- **Tasa de exposición:** se define como una exposición que se produce en la cierta masa de aire, durante cierto tiempo, se expresa en $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ o $R \cdot s^{-1}$ (Ubeda de la C. et al. 2015, p. 6).
- **Kerma:** es la suma de la energía cinética inicial de las partículas cargadas, liberadas por la radiación ionizante sin carga, sus unidades se representa en $J \cdot kg^{-1}$ lo mismo que representa un Gray (Gy) (Ubeda de la C. et al., 2015, p. 96).
- **Tasa de kerma:** se define como el kerma que se produce en un tiempo determinado, sus unidades vienen representado en $J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ o $Gy \cdot s^{-1}$ (CSN, 2017).
- **Dosis absorbida (D_T):** es el cociente entre la energía impartida en un cierta masa de tejido, su unidad vienen representada por el Gray (Gy) (Ubeda de la Cerda et al., 2018, p. 6).
- **Dosis equivalente (H_T):** es el resultado de impartir dosis en órgano, es producto entre la dosis absorbida y un factor de ponderación (W_R), el cual está asociado al tipo de partícula con la cual se está irradiando (Ubeda de la Cerda et al., 2018, p. 6).

$$H_T = \sum D_T \cdot W_R \quad (6)$$

Tabla 5-1: Factores de ponderación de la radiación (W_R)

Tipo de Radiación	Factor W _R
Fotones	1
Electrones y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa, fragmentos de fisión, iones pesados	20

Fuente: ICRP, 2007.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

- **Dosis efectiva (E):** resulta del producto de la dosis equivalente por el factor de ponderación asociado a cada uno de los órganos (W_T), se expresa en unidades de sievert (Sv) (Consejo de Seguridad Nuclear, 2013, p. 17).

$$E = \sum W_T \cdot H_T \quad (7)$$

Tabla 6-1: Factor de ponderación para el órgano o tejido

Tejido	W_T	$\sum W_T$
Medula ósea, colon, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0,04	0,16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0,01	0,04
	Total	1

Fuente: ICRP, 2007.

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

Tabla 7-1: Magnitudes dosimétricas: conversión y deposición de energía empleadas usualmente

Nombre	Símbolo	Unidad	Definición
Kerma	K	$J \cdot kg^{-1}$ ó Gy	$dN(N \rho dl)$
Tasa de Kerma	\dot{K}	$J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ó $Gy \cdot s^{-1}$	dK/dt
Exposición	X	$C \cdot kg^{-1}$	dq/dm
Tasa de exposición	\dot{X}	$C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$	dX/dt
Dosis absorbida	D	$J \cdot kg^{-1}$ ó Gy	E/m
Tasa de dosis absorbida	\dot{D}	$J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ó $Gy \cdot s^{-1}$	$d\bar{E}/dm$

Fuente: (Ubeda de la C. et al. 2015)

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

1.6. Control de calidad

Es un conjunto de pruebas que se ha establecido por los fabricantes o el usuario con la finalidad de mantener los estándares para el correcto funcionamiento de los equipos de radiodiagnóstico, además de comprobar que cada una de estas pruebas estén dentro de los valores de tolerancia fijados. Con los controles de calidad realizados rutinariamente o después de haber realizado alguna reparación al equipo, se podrá detectar las fallas y de esta manera corregirlas a tiempo, evitando de esta manera un gasto excesivo de recursos económicos y extendiendo la vida útil del sistema imagenológico (Galvan, 2012).

1.6.1. Importancia del control de calidad

El principal objetivo de un control de calidad es brindar una guía práctica y útil a los profesionales físicos médicos y técnicos. Es un documento en el cual contiene los procedimientos a seguir para que puedan realizar las diferentes pruebas a los equipos de radiodiagnóstico, de esta manera contribuyen a la calidad de la obtención de la imagen y a la protección radiológica tanto de los

pacientes como del personal que está inmerso en el estudio imagenológico (Ministerio de Energía y Recursos Naturales, 2017, p. 17).

1.6.2. Estructura

En el presente trabajo de investigación se ha considerado la siguiente estructura, en la cual se detalla de una manera clara y concisa todos los procedimientos que se deben realizar durante la ejecución de los controles de calidad de los equipos de radiodiagnóstico, el cual consta del siguiente orden.

- Equipos de Radiología general
- Equipos de Mamografía
- Equipos de Tomografía Computarizada
- Equipos Dentales

La estructura de cada una de las pruebas descritas en este trabajo de investigación consta de los siguientes apartados.

- **Objetivo:** es el fin con el que se realiza la prueba.
- **Frecuencia:** es el periodo de tiempo con el que se debe realizar la prueba.
- **Equipos y Materiales:** se refiere a todos los equipos y materiales que se utiliza para ejecutar la prueba.
- **Proceso:** son los pasos que se debe seguir para llevar a cabo la realización de la prueba.
- **Tolerancias:** es el parámetro que brinda la información si la prueba cumple o no con lo establecido.

1.6.3. Clasificación de las pruebas

Dentro de los controles de calidad se distinguen tres tipos de pruebas: de aceptación, de estado y de constancia (Sefm, Sepr y Seram, 2011).

Pruebas de aceptación: Conforman el grupo de pruebas necesarias que se debe realizar para comprobar que el equipo cumpla con las especificaciones del fabricante. Todas las pruebas se las debe realizar por el personal que suministra el equipo en presencia del personal cualificado asignado por el comprador, y deberán otorgar un protocolo detallado en la documentación técnica. Estas pruebas se las realizará al inicio, antes que el equipo entre en uso clínico directamente con el paciente (Sepr, Sefm y Seram, 2019).

Pruebas de estado: Este conjunto de pruebas se realiza después de haber ejecutado los parámetros de aceptación, lo cual brinda una referencia inicial para comprobar periódicamente el correcto funcionamiento del equipo durante su vida útil, o hasta establecer nuevos datos de referencia con el que se podrá comparar los controles que se realicen después. La ejecución de estas pruebas se la realizará bajo la supervisión del personal calificado. De igual manera estas

pruebas se llevarán a cabo cuando alguno de los componentes haya sido sustituido, o después de realizar una prueba de constancia, se observe cambios significativos en su funcionamiento (Sefm, Sepr y Seram, 2011).

Pruebas de constancia: Estas pruebas se realizan partiendo del valor de referencia obtenido anteriormente; con el objetivo de vigilar los parámetros más importantes y significativos para el correcto funcionamiento del equipo, y de esta manera asegurar su estabilidad en el tiempo. Las pruebas serán fáciles de aplicar e interpretar, para posteriormente comparar los valores obtenidos con los de la referencia inicial. Las frecuencias que se describen en este trabajo de investigación se debe entender como mínimas ya que pueden estar sujetas a un aumento de su frecuencia, esto depende de la antigüedad del equipo o las condiciones de funcionamiento (Alcaraz, 2005).

1.6.4. Equipos y materiales

Los equipos y materiales más utilizados para realizar las pruebas de control de calidad para los diferentes equipos de radiodiagnóstico son:

- Cámara de ionización (volumen 30 a 120 cm³, 30 a 150 kV).
- Electrómetro (rango 1 fC a 999 nC, exactitud $\pm 5\%$, reproducibilidad $\pm 1\%$)
- Láminas de aluminio de pureza superior al 99,5 % y de 1 mm de espesor
- Láminas de PMMA para simulación de pacientes en el control de CAE.
- Patrón de barras de plomo de al menos 8 pl/mm.
- Chasis y películas radiográficas.
- Dosímetro, intervalo de medida, de 0,1 mGy a 100 mGy como mínimo. Exactitud $\pm 5\%$, reproducibilidad $\pm 1\%$.
- Sensitómetro, reproducibilidad de $\pm 2\%$.
- Termómetro, nunca de mercurio, exactitud $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y reproducibilidad $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- Lupa
- Regla.
- Cámara lápiz (volumen 3,2 cm³).
- Dinamómetro con un intervalo de medida entre 50 y 300 N como mínimo y una incertidumbre inferior a 5 N; reproducibilidad mejor que $\pm 5\%$.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

Este trabajo de titulación es de tipo Teórico- Explicativo, teórico porque mediante la revisión bibliográfica se obtendrá todos los parámetros ya establecidos en otros países para asegurar la calidad en radiodiagnóstico médico y explicativo porque se describe como realizar cada uno de los parámetros en los diferentes equipos de radiodiagnóstico.

2.2. Diseño de la Investigación

Este trabajo de titulación será un estudio teórico, por tal razón, no se hará un control de variables independientes.

2.3. Metodología

Al ser un trabajo de revisión científica se basó en la búsqueda bibliográfica de diferentes tipos de textos científicos, como por ejemplo artículos científicos, tesis, libros, reportes científicos, etc., con temáticas relacionadas al tema “Análisis de los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador”, para lo cual se utilizó ciertas técnicas, en las que se enmarca el análisis cualitativo, que ayuda a analizar y sintetizar toda la información recolectada , proporcionando un conocimiento profundo sobre un tema en específico.

Para formar la estructura del marco teórico referencial se basó en tres ejes principales que son, la producción de la radiación ionizante, los efectos biológicos de la radiación y los controles de calidad en equipos de radiodiagnóstico, cada uno de estos subtemas contribuyen con la información necesaria para dar a explicar de una manera clara sobre el tema que se trata en este trabajo de investigación.

A continuación, se detalla en la tabla 1-2, la bibliografía utilizada para esta investigación.

Tabla 1-2: Artículos científicos utilizados en la investigación

TEMA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO	NOMBRE DE LA REVISTA	AÑO DE PUBLICACION
Dosimetría en radiobiología	Revista Argentina de Radiobiología	2014
Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica	Revista Colombiana de Cardiología	2018
El uso de rayos X en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos	Revista Avances en Odontoestomatología	2020
Guía técnica de procedimientos mínimos de control de calidad en mamografía analógica	Ministerio de Salud de Argentina	2015

Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos X y la creación de una nueva profesión médica	Revista Argentina de Radiobiología	2016
Protección Radiológica	Revista de Sanidad Militar	2017
Radioprotección, Control de Calidad en Radiodiagnóstico	Anuario Sociedad de Radiología Oral y Maxilo Facial de Chile	2005
Radiological protection in the perspective of health professionals exposed to radiation	Revista brasileira de enfermagem	2019
Protección radiológica en cardiología intervencionista	Archivos de Cardiología de México	2015
Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual	Revista Tecnura	2016
Efectos biológicos de los Rayo-X en la práctica de Estomatología	Revista Habanera de Ciencias Médicas	2015
La necesidad e importancia del control de calidad en mamografía	Gaceta Mexicana de Oncología	2012
Diseño de un protocolo en radiodiagnóstico para evitar efectos biológicos en el personal de diagnóstico por imágenes en el HRL	Revista Científica de la Universidad Cesar Vallejo	2020
Estudio de técnicas de imagen, radiaciones ionizantes y sus aplicaciones en radioterapia	Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular	2019
Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes	Revista Colombiana de Cardiología	2020
La radioactividad ambiental	Revista Logos, Ciencia & Tecnología	2011
Radiofármacos utilizados en la tomografía por emisión de positrones: presente y perspectivas de futuro	Revista de Radiobiología	2016
Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes	Revista Colombiana de Cardiología	2020
Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante	Revista de Salud Ambiental	2010
Importancia de la corrección de atenuación en la cuantificación de imagen PET/RM: métodos y aplicaciones	Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular	2020
Magnitudes y unidades para dosimetría a pacientes en	Revista Chilena de Radiología	2015

radiodiagnóstico e intervencionismo		
Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo	Revista Chilena de Radiología	2018
Tumores cerebrales y lesiones encefálicas por radiación ionizante	Revista Colombiana de Cardiología	2020
Radioprotección y uso de contrastes en pediatría: qué, cómo y cuándo	Revista de Radiología	2016
Técnicas de fusión de imagen en los procedimientos intervencionistas	Revista Española de Cardiología	2018

Fuente: Cevallos, 2021.

Realizado por: Cevallos, G, 2021.

Una de las fortalezas a recalcar para llevar a cabo la instigación fue elaborar un cronograma y trabajar con orden en la recopilación de la información, el proceso a seguir fue buscar todo lo relacionado al primer subtema antes mencionado y eliminar la información que no servía o que no tenía concordancia, para posterior realizar la redacción, lo cual facilitó la ejecución de este trabajo; es así como se procedió de manera similar para los dos subtemas siguientes.

La búsqueda se realizó principalmente en las revistas de libre acceso que se encuentran en la red, como Scielo, Scopus, Science, Polo del Conocimiento, Elsevier, Redalyc, Springer, cuyo denominador común en este tipo de revistas fue encontrar información de carácter médico, enfocado en la protección radiológica de los pacientes, es así el caso de la Revista Chilena de radiobiología, que sus publicaciones están enfocadas en ser un órgano de fomento y difusión científica y tecnológica en la especialidad de radiología, entendiendo los conceptos de ciencia y tecnología en un sentido amplio, incluyendo los avances tecnológicos, la experiencia y la investigación clínica; de manera similar la Revista Argentina de Radiobiología (RAR), donde su enfoque es promover la investigación científica en los distintos aspectos relacionados con ese tema y propender al adelanto y al estudio de la radiología en todos sus aspectos, facilitando la presentación, discusión y publicación de trabajos científicos.

Uno de los aportes más importantes para recabar la información fue el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ya que la institución es la promotora desde el año de 1957 en impulsar la cooperación científica y técnica para la utilización de la energía nuclear en pro de la salud, paz y prosperidad del mundo; los tres ejes fundamentales de la institución son, principios fundamentales de seguridad, requisitos de seguridad y guías de seguridad, para lo cual desarrolla estándares de seguridad en forma de normas de carácter recomendatorio, y promueve la consecución y mantenimiento de estos altos niveles de seguridad tecnológica y física en las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en todos sus Estados miembros.

La composición de la escritura del presente trabajo se fundamentó en la redacción científica, el cual es el mejor medio para transmitir el conocimiento adquirido, generado o reproducido como producto en una investigación, ya que permite compartir ideas claras, precisas y concisas de un tema en particular.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La información disponible en la literatura es fundamental para un proceso de garantía de calidad en radiodiagnóstico médico porque las pruebas que se indica son producto de la colaboración internacional y a nivel de los diferentes países por medio de instituciones públicas o sociedades. Las diferentes pruebas han sido elaboradas teniendo en cuenta los fundamentos científicos, la experimentación y aspectos clínicos propios de las instituciones de salud. La importancia de la ejecución de las diferentes pruebas radica en brindar al paciente, que por su condición de salud debe realizarse el estudio con la utilización de radiaciones ionizantes, la garantía de que el equipo está funcionando en óptimas condiciones y que su estudio radiodiagnóstico, más que causarle un daño, beneficiará a su condición de salud actual y brindará al médico una herramienta útil para el tratamiento. Al realizar una comparación de los protocolos de diversos países y sociedades se puede concluir que un alto porcentaje de sus criterios técnicos coinciden, lo cual armoniza los procesos de control de calidad.

A continuación, se describe cada una de las principales pruebas de control de calidad que se hace en los respectivos equipos utilizados:

3.1. Control de calidad en radiología general

3.1.1. Levantamiento Radiométrico

Según (MERNNR, 2020; (IAEA y ARCAL 2001), el objetivo de realizar esta prueba es verificar que las condiciones en el ámbito de la protección radiológica se cumplan y evaluar los niveles de exposición a los cuales están expuestos el personal y el público.

FECUENCIA: Este control se lo debe realizar al inicio del funcionamiento del equipo, cada cuatro años y después de realizar cualquier modificación que afecte alguno de los parámetros de la protección radiológica.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS: Los instrumentos utilizados para realizar esta prueba son: una cámara de ionización de 1800 cc debidamente calibrada, láminas de PMMA (polimetacrilato) que tenga medidas aproximadas al tórax de un adulto y una cinta métrica.

PROCESO: Dentro de la metodología se debe realizar un croquis en el cual debe constar un esquema a escala de la sala de rayos x, donde se debe especificar el tubo y las salas adyacentes, donde pueden estar expuestos a radiación ionizante.

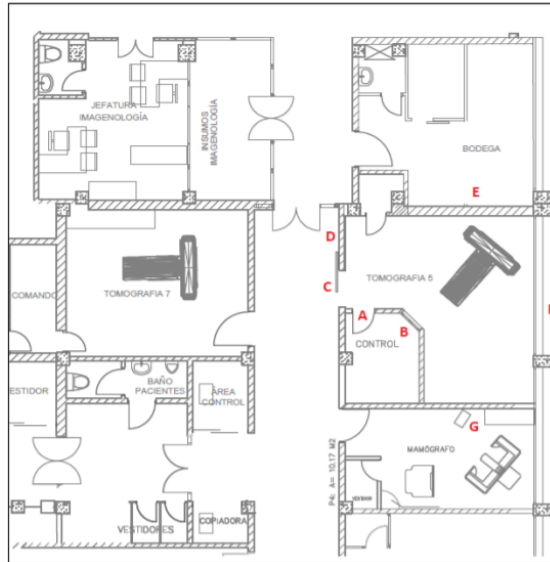


Figura 1-2. Ejemplo de croquis de una sala de radiología
Realizado por: (Vásconez 2019)

Para la realización de los cálculos se debe definir el factor de uso (U), que según (IAEA y ARCAL 2001) estipula que para piso es un valor de 0.7 y para pared 0.3, el segundo factor a definir es el factor de ocupación (T) y por último la carga de trabajo semanal (W), la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$W \left[\frac{mA \cdot min}{semana} \right] = \frac{N_R \cdot It [mAs]}{60 \left[\frac{s}{min} \right]} \quad (8)$$

Donde:

NR: número de radiografías por semana.

It: producto de la corriente (mA) por el tiempo de exposición (s) promedio por radiografía.

1/60: es el factor para convertir de segundos a minutos.

Tabla 1-3: Factores de Ocupación

Ubicación	Factor de Ocupación (T)
Oficinas administrativas o de dirección, laboratorios farmacias y otras áreas de trabajo totalmente ocupadas, área de recepción, salas de espera, zonas de juegos infantiles, salas adyacentes de rayos X, sala de control de rayos X	1
Salas de tratamiento y examinación de pacientes	1/2
Pasillos, salas de pacientes, baños de trabajador, salas de estar de trabajadores	1/5
Baños públicos, áreas de venta sin supervisión, depósitos, zonas exteriores con asientos, salas de espera sin atención, áreas de espera de pacientes	1/20

Áreas al aire libre con peatones transitorios solamente, estacionamiento sin vigilancia, área de entrega vehicular (sin vigilancia), áticos, escaleras, ascensores sin supervisión, armario del conserje	1/40
--	------

Fuente: ((NCRP) 2004)

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

Para obtener la dosis equivalente anual se utiliza la siguiente ecuación:

$$H^*(10)_{ANUAL} \left[\frac{mSv}{año} \right] = \frac{lectura (mSv/h)}{I} \cdot \frac{mA}{mA} \cdot T \cdot U \cdot W \left(\frac{mA \cdot min}{semana} \right) \cdot \frac{50 semanas}{año} \quad (9)$$

Donde:

H*(10) ANUAL: tasa de dosis equivalente ambiental en un año.

Lectura: tasa de dosis equivalente ambiental medida eliminando el valor del fondo de radiación.

I: corriente utilizada en la prueba.

W: carga de trabajo por semana.

U: factor de uso en el punto de medición.

T: factor de ocupación del punto de medición, indicado en Tabla 1-2.

TOLERANCIAS: Para verificar que los resultados obtenidos estén dentro de los niveles de restricción de dosis permitidos, se debe establecer una comparación con las recomendaciones publicadas en el ICRP 103; en caso de que alguno de los valores tengo un resultado no aceptable, se debe adicionar blindaje o cambiar de ubicación al equipo (MERNNR, 2020).

Tabla 2-3: Niveles de restricción de dosis

Área Controlada	0,10 mSv/sem o 5,0 mSv/año
Área Libre	0,01 mSv/sem o 0,5 mSv/año

Fuente:(ICRP 2007)

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

3.1.2. Inspección visual de la instalación

Según (CCEEM, 1998), la realización de esta prueba tiene como objetivo comprobar que todos los componentes del equipo se encuentren en óptimas condiciones para realizar el estudio radiodiagnóstico.

FRECUENCIA: la periodicidad con la que se debe realizar dicha prueba debe ser diaria y antes de iniciar a utilizar el equipo.

PROCESO: El procedimiento es el siguiente: primero se debe verificar visualmente el estado de todos los componentes del equipo (mesa, soporte del tubo de rayos de X, estado de los cables);

después comprobar el correcto funcionamiento mecánico de los colimadores, frenos del soporte del tubo de rayos X, y, por último; verificar el correcto funcionamiento de los indicadores de exposición.

TOLERANCIA: Como tolerancia se toma el funcionamiento normal de todos componentes del equipo, en caso de presentar algún daño debe comunicarse con el servicio de mantenimiento para su posterior reparación.

3.1.3. Sistema de colimación del haz y perpendicularidad del rayo central

Según varios autores (CCEEM, 1998; IAEA y ARCAL, 2001; MERNNR, 2020; Pifarré et al., 2012), el objetivo de la prueba es verificar que el sistema de colimación del equipo no permita que el haz de radiación se encuentre fuera de los bordes del campo luminoso y evaluar la perpendicularidad del eje central de radiación en relación con el centro de la imagen.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar esta prueba es al inicio, semestral y después de realizar cualquier tipo de cambio.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS Los instrumentos que se utilizan son los siguientes: chasis cargado con película radiográfica, cinta métrica, placa con marcas radiopacas que cuente con ejes ortogonales con su respectiva escala para evaluación del colimador y un cilindro acrílico que contenga esferas radiopacas tanto en la cara superior como inferior.

PROCESO: Para realizar la prueba se debe colocar sobre la mesa la placa con marcadores radiopacos, posterior a esto garantizar que el tubo se encuentre nivelado y con una distancia foco-película de 100 cm, centrar la placa con el cilindro acrílico, como se observa en el anexo (A), realizar una exposición con parámetros técnicos apropiados y finalmente revelar la película y verificar que la imagen sea adecuada, caso contrario repetir la prueba con parámetros técnicos diferentes.

TOLERANCIA: Para verificar que la perpendicularidad del haz es correcta observar la ubicación de la imagen de la esfera superior que se encuentre dentro del círculo interno y sea menos a 3° y para el sistema de colimación medir la distancia entre el campo luminoso y el centro de campo de radiación, dicha distancia debe ser menor al 2% de la distancia foco – película utilizada para realizar la prueba.

3.1.4. Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición

Tanto (Zamorano et al., 2002; CCEEM, 1998; MERNNR, 2020), coinciden que, la ejecución de esta prueba tiene como finalidad determinar la exactitud del tiempo de exposición, de tal manera que al repetir los resultados obtenidos no varíen.

FRECUENCIA: La periodicidad con la que se debe realizar la prueba es inicial, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio que pueda afectar dicho parámetro.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan son, un medidor de tiempo de exposición, una cinta métrica y una lámina de cobre de aproximadamente 1 mm; el paso a seguir es colocar el medidor sobre la mesa de tal manera que el campo de radiación cubra el volumen

sensible del equipo de medición, como se observa en el anexo (B), posterior a esto fijar valores de tensión, corriente y tiempo, se recomienda realizar al menos cinco exposiciones y anotar el tiempo medido en cada exposición.

TOLERANCIA: Los valores de tolerancia de la exactitud deben ser $\leq \pm 10 \%$, utilizar ecuación (10), y para la repetibilidad su valor debe ser $\leq 10\%$, utilizar ecuación (11); en caso de que alguno de estos valores no sea aceptable debe ponerse en contacto con el servicio de mantenimiento.

$$\text{Desviación máxima (\%)} = 100 \frac{M_{ind} - M_{med}}{M_{ind}} \quad (10)$$

Donde:

M_{ind}: es el valor de tiempo nominal.

M_{med}: es el valor de tiempo medido más discrepante.

$$CV(\%) = 100 \frac{DE}{\bar{T}} \quad (11)$$

Donde:

CV: coeficiente de variación.

DE: desviación estándar.

\bar{T} : valor promedio del tiempo.

3.1.5. Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Pifarré et al., 2012; MERNNR, 2020; IAEA y ARCAL, 2001; CCEEM, 1998; Pifarré et al., 2012).

El objetivo de esta prueba es comprobar que el valor de tensión del tubo sea exacto y repetible, para cualquier valor de corriente seleccionado.

FRECUENCIA: Esta prueba se debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio o reparación que afecte este parámetro.

EQUIPOS Y MATERIALES: El equipo utilizado en esta prueba es un kilovoltímetro no invasivo y una cinta métrica.

PROCESO: Para iniciar con el procedimiento se debe colocar el equipo a una distancia recomendada por el manual del equipo, efectuar cuatro exposiciones con los parámetros de kilivoltaje (kVp) y miliamperaje (mA) más utilizados en las practicas clínicas y anotar los valores de kVp.

TOLERANCIA: Estos valores deben estar dentro de los parámetros de aceptación, los cuales son, para la exactitud es $< \pm 10 \%$, utilizar la ecuación (12), y para la repetibilidad es $< \pm 5\%$, utilizar la ecuación (13); en caso de no estar dentro de los valores de aceptación comunicarse con el servicio técnico.

$$\text{Desviación Máxima (\%)} = 100 \frac{kV_{p_{ind}} - kV_{p_{ind}}}{kV_{p_{ind}}} \quad (12)$$

Donde:

$kV_{p_{ind}}$: es el valor de tensión nominal.

$kV_{p_{med}}$: es el valor de tensión medido más discrepante.

$$CV(\%) = 100 \frac{DE}{\overline{kVp}} \quad (13)$$

Donde:

CV: es el coeficiente de variación.

DE: es la desviación estándar.

\overline{kVp} : es el valor promedio del kVp.

3.1.6. Capa hemirreductora

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; Zamorano et al., 2002; Pifarré et al., 2012).

La finalidad de realizar esta prueba es asegurar que el equipo cuente con la filtración adecuada de acuerdo con los parámetros mínimos, para que el paciente no reciba una dosis innecesaria en piel.

FRECUENCIA: La periodicidad con la se la debe realizar es al inicio, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para realizar esta prueba los materiales a utilizar son, sistema dosimétrico correctamente calibrado, que puede ser una cámara de ionización o un semiconductor, filtros de aluminio de una alta pureza y una cinta métrica.

PROCESO: Para iniciar la prueba colocamos el equipo a una distancia menor a 10 cm, esto con la finalidad de evitar la contribución de la radiación dispersa, como paso siguiente colocar el sistema dosimétrico a una distancia de 70 a 100 cm del foco del tubo, como se puede observar en el anexo (C), y dejar que se estabilice el equipo, posterior a esto efectuar una exposición sin filtro, de la misma manera sin cambiar la geometría colocar la lámina de aluminio de diferentes espesores, comprendido entre 0 a 4 mm en la salida del tubo y realizar la exposición con los mismos parámetros anteriormente seleccionados, esto se debe repetir hasta que la lectura nos dé un resultado por debajo del 50% del valor que se obtuvo sin el filtro, para garantizar que no hubo variación, retirar todos los filtros y proceder a realizar una exposición adicional.

TOLERANCIA: El valor de la capa debe ser > 2.5 mm, utilizar la ecuación (14); en caso de que el resultado no esté dentro del valor aceptable, ponerse en contacto con el servicio de mantenimiento.

$$CHR = \frac{t_2 \ln \left[\frac{2M_1}{M_0} \right] - t_1 \ln \left[\frac{2M_2}{M_0} \right]}{\ln \left[\frac{M_1}{M_2} \right]} \quad (14)$$

Donde:

t₁ y t₂: son los espesores de los filtros utilizados en mm.

M₀: es el promedio de las lecturas sin filtros.

M₁ y M₂: son las lecturas promedio con los filtros t₁ y t₂.

3.1.7. Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Bushong, 2010; MERNNR, 2020; Pifarré et al., 2012; IAEA y ARCAL, 2001).

El objetivo de realizar esta prueba es evaluar el valor de kerma en aire para un miliamperaje dado, así como la linealidad y repetibilidad del tubo de rayos X.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar la prueba es al inicio, cada año y posterior a cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los equipos que se utilizan para realizar la prueba son: un dosímetro de radiación de alta precisión correctamente calibrado, cinta métrica y un medidor de presión y temperatura.

PROCESO: Para iniciar la prueba se debe colocar el sistema dosimétrico a una distancia aproximada de 10 cm de la mesa y a 100 cm del foco del tubo de rayos X, preparar el sistema dosimétrico con los parámetros establecido por el fabricante y dejar que se estabilice, como siguiente paso, medir la presión y temperatura tanto al inicio como al final de la prueba, seleccionar los parámetros de voltaje y miliamperaje, posterior a esto, realizar la exposición, repetir mínimo tres veces, después, manteniendo la misma geometría y el valor de kVp seleccionado, realizar tres mediciones adicionales con distintos valores de miliamperaje. El resultado de la repetibilidad tiene una tolerancia de $\pm 10\%$, utilizar ecuación (15), la linealidad entre dos puntos consecutivos del rendimiento debe tener un valor $\leq 10\%$, utilizar ecuación (16), y por último el valor del rendimiento debe tener un valor $> 25 \mu\text{Gy/mAs}$, utilizar ecuación (17).

TOLERANCIA: En caso de que alguno de estos valores no esté dentro de los parámetros aceptables, comunicarse con el servicio de mantenimiento.

$$CV(\%) = 100 \cdot \frac{DE}{\bar{Y}} \quad (15)$$

Donde:

CV: es el coeficiente de variación.

DE: es la desviación estándar.

\bar{Y} : es el valor promedio del rendimiento.

$$Linealidad(\%) = 100 \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 + Y_2} \quad (16)$$

Donde:

Y1: es el rendimiento al valor de mAs 1.

Y2: es el valor rendimiento al valor de mAs 2.

$$Y = \frac{M_{cor}}{mAs} \quad (17)$$

Donde:

Y: es el rendimiento a 80 kVp y 100 cm del foco.

M_{cor}: es el valor promedio de la lectura corregida por el factor de presión y temperatura y el factor de calibración.

3.1.8. *Tamaño del punto focal*

Según (IAEA y ARCAL 2001), la finalidad de realizar la prueba es evaluar el tamaño del punto focal del tubo de rayos X y verificar que coincidan con los valores nominales.

FRECUENCIA: la frecuencia con la que se realiza esta prueba es al inicio, cada año y cada vez que el tubo de rayos X sea remplazado.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales utilizados para realizar esta prueba son: un patrón de estrellas o un dispositivo para medir el tamaño del punto focal con patrón de barras, la elección de utilizar uno u otro dispositivo depende del técnico; cinta métrica, lupa, medidor de nivel, marcadores de plomo y chasis cargado sin pantalla.

PROCESO: Para dar inicio a la prueba con el patrón de estrellas se debe comprobar que el tubo de rayos X esté a nivel con la mesa, posterior a esto, colocar el chasis cargado encima de la mesa y posicionar el patrón de estrellas a la salida del colimador, después comprobar que el rayo central incida en el centro de la película radiográfica, seleccionar los parámetros de kVp y mA que son utilizados en los diversos casos clínicos, procesar la película de manera normal y determinar el factor de magnificación, finalmente calcular el tamaño del punto focal. Para el caso del patrón de barras colocar la película radiográfica dentro de un cassette, sin la presencia de un intensificador de pantalla, posterior a esto colocar a una distancia foco- película de 61 cm, lo cual asegura una distancia de 46 cm entre el patrón de barras y el tubo de rayos X, luego seleccionar los parámetro de kVp y mA de aproximadamente 80 y 10 respectivamente, finalmente procesar la película y mediante la ayuda de la lupa identificar en la imagen el menor grupo de barras paralelas.

TOLERANCIA: Para verificar que los valores sean aceptables comparar con la Tabla (3-2).

Tabla 3-3: Tamaños recomendados del punto focal

Valor Nominal (mm)	Dimensiones máximas toleradas (mm)
--------------------	------------------------------------

	Ancho	Largo
0.10	0.15	0.15
0.15	0.23	0.23
0.20	0.30	0.30
0.30	0.45	0.65
0.40	0.60	0.85
0.50	0.75	1.10
0.60	0.90	1.30
0.70	1.10	1.50
0.80	1.20	1.60
0.90	1.30	1.80
1	1.40	2
1.1	1.50	2.20
1.2	1.70	2.40
1.3	1.80	2.60
1.4	1.90	2.80
1.5	2.00	3
1.6	2.10	3.10
1.7	2.20	3.20
1.8	2.30	3.30
1.9	2.40	3.50
2	2.60	3.70
2.2	2.90	4
2.4	3.10	4.40
2.6	3.40	4.80
2.8	3.60	5.20
3	3.90	5.60

Fuente:(IAEA y ARCAL 2001)

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

3.1.9. Indumentaria de protección

Según (Bushong, 2010), el objetivo de realizar esta prueba es verificar que la indumentaria de protección mandiles, collarines, protector de gónadas, estén en óptimas condiciones de uso.

FRECUENCIA: Esta prueba se la debe efectuar por lo menos una vez al año.

EQUIPOS Y MATERIALES: Equipo de rayos X

PROCESO: Para constatar su estado, se debe realizar una radiografía, ya que se si la ropa después de haber realizado el estudio presenta grietas, rasguños o agujeros, como se observa en el anexo (D), se debe sustituir de manera inmediata.

TOLERANCIA: Equipos de protección en óptimas condiciones de uso.

3.1.10. Resolución espacial de alto contraste

Esta prueba se basó en los autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; MERNNR, 2020).

El realizar esta prueba tiene como finalidad evaluar la resolución espacial del sistema a partir de la medida que se realiza al grupo de pares de líneas por milímetro (pl/mm).

FRECUENCIA: Esta prueba se realiza al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan para realizar esta prueba son, objeto de prueba de pares de líneas, ver anexo (E), lámina de aluminio de 1 mm de espesor y una cintra métrica.

PROCESO: Para iniciar la prueba se debe colocar el objeto de prueba en el centro de campo de radiación, girado 45° sobre el sistema de imagen, después, se procede a colocar la lámina de aluminio a la salida del tubo de rayos X y efectuar una exposición con parámetros comprendidos entre 50 y 60 kVp.

TOLERANCIA: Los valores resultantes deben ser $\geq 2,4$ pl/mm, en caso de anomalía repetir la prueba y si los resultados persisten, comunicarse con el servicio de mantenimiento del equipo.

3.1.11. Umbral de sensibilidad a bajo contraste

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; IAEA y ARCAL, 2001; MERNNR, 2020).

El objetivo de esta prueba es evaluar el grado de sensibilidad que tiene el sistema para objetos de bajo contraste.

FRECUENCIA: la periodicidad con la que se debe realizar esta prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio en el equipo.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para la ejecución de esta prueba se utilizará un objeto de prueba de bajo contraste y materiales atenuadores como el cobre de un espesor aproximado de 1mm o láminas de aluminio de 0.25 mm de espesor.

PROCESO: Para iniciar la prueba se procede a colocar el objeto a una distancia de 100 cm del foco de rayos X, posicionar el material atenuador a la salida del tubo y realizar una exposición con parámetros de 70 kVp y 10 μ Gy para equipos DR (radiodiagnóstico digital) y 70 kVp con un miliamperaje comprendido entre 5 y 10 para equipos CR (radiodiagnóstico convencional).

TOLERANCIA: Para constatar que los valores sean aceptables debe cumplir con las especificaciones del fabricante, en caso de no cumplir, repetir la prueba y si los valores aún persisten debe comunicarse con el servicio técnico.

3.1.12. Limpieza de pantallas radiográficas intensificadoras

Según (Bushong, 2010; MERNNR, 2020), la realización de esta prueba tiene como objetivo verificar la limpieza y ausencia de cualquier defecto.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe limpiar depende directamente de la carga de trabajo, pero se recomienda por lo menos una vez al mes o después de cualquier golpe o caída.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para proceder a la limpieza se debe utilizar un paño que no deje pelusas con una solución limpiadora proporcionada por el fabricante.

PROCESO: De manera delicada con el uso del paño se procede a limpiar las pantallas radiográficas intensificadoras.

TOLERANCIA: en caso de que presente alguna imperfección se debe reemplazar de manera inmediata.

3.1.13. Sensibilidad del control automático de exposición (CAE)

Según (Pifarré et al., 2012; MERNNR, 2020), la finalidad es verificar la sensibilidad del CAE.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar la prueba es al inicio, cada tres meses y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se necesita son: un densitómetro y material atenuador como, por ejemplo, láminas de cobre o laminas PMMA.

PROCESO: Para dar inicio a la ejecución de la prueba debe estar centrado el tubo de rayos X con el Bucky, luego cubrir la salida del tubo de rayos X con el material atenuador y realizar una exposición y seleccionar uno de los sensores, finalmente registrar el miliamperaje y el índice de exposición.

TOLERANCIA: Estos valores deben ser ≤ 50 % de los valores iniciales, en caso de inconformidades en los valores deberá comunicarse con el servicio de mantenimiento.

3.1.14. Repetibilidad del control automático de exposición (CAE)

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; Pifarré et al., 2012; MERNNR, 2020).

Esta prueba tiene con fin evaluar si los valores de índices de exposición o densidad óptica son consistentes para realizar varias exposiciones con los mismos valores de CAE.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar la prueba es al inicio, cada año y después de cualquier cambio realizado en el equipo.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan para ejecutar la prueba son, un densitómetro, material atenuador, como láminas de PMMA que tengan espesores equivalentes al de un paciente.

PROCESO: Para iniciar con la prueba se debe central el tubo de rayos X con el Bucky, posterior a esto se debe colocar láminas de 2 mm de espesor para tapar las tres cuartas partes del chasis, de manera que se expone $\frac{1}{4}$ de la película de rayos X, seleccionar un valor de 80 kVp para los sistemas que no se dedican exclusivamente a tórax y 120 kVp para los sistemas que se dedican exclusivamente a tórax, realizar 4 exposiciones seleccionando la cama central.

TOLERANCIA: El valor de las densidades ópticas deberá están comprendidos entre 1,1 – 1,4 y el coeficiente deberá ser $<10\%$, en casa de que no cumpla con los parámetros deberá contactarse con el servicio de mantenimiento del equipo.

3.1.15. Compensación del CAE para distintos espesores y tensiones

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; MERNNR, 2020; Pifarré et al., 2012).

El objetivo es comprobar el nivel de respuesta del CAE con respecto a diferentes valores de espesores y tensiones.

FRECUENCIA: La periodicidad recomendada para realizar esta prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio en el equipo.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utiliza son un atenuador con espesor equivalente al de un paciente, con dimensiones que logren cubrir el detector y un densitómetro.

PROCESO: Para verificar la compensación para diferentes valores de tensiones se debe seleccionar la cámara central y reducir el espesor del material atenuador que se va a utilizar, después se procede a realizar cuatro exposiciones con diferentes valores de kVp, se recomienda que dichos valores se encuentren dentro del rango diagnóstico; los valores obtenidos en la densidad de la película no debe variar en más de $\pm 0,2$ DO en valores comprendidos entre 60 – 120 kVp, finalmente, para comprobar la compensación para diferentes espesores se debe mantener seleccionada la cámara central con un valor de tensión de 80 kVp y variar los espesores del material atenuador entre 10 y 30 cm, los valores de densidad no deben ser mayores a $\pm 0,2$ DO.

TOLERANCIA: En caso de tener valores no aceptables comunicarse con el servicio de mantenimiento.

3.2. Control de calidad en mamografía

3.2.1. Inspección visual del equipo

Según (IAEA y ARCAL, 2006; MERNNR, 2020), la finalidad es constatar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos del mamógrafo.

FRECUENCIA: Esto se debe llevar a cabo al inicio del funcionamiento del equipo, diario y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para realizar la prueba se utiliza un medidor de nivel, medidor de temperatura y una cintra métrica.

PROCESO: Con estos elementos se debe verificar que los tubos y cables estén en óptimas condiciones de uso, es decir que no tenga ningún tipo de rupturas, fisuras, nudos; de igual manera comprobar que al momento de realizar un movimiento angular sea suave y verificar que la temperatura de la habitación donde se encuentra el equipo sea la recomendada por el fabricante.

TOLERANCIA: Si alguno de los componentes presenta algún tipo de daño ya sea mecánico o eléctrico, deberá contactarse con el servicio de mantenimiento.

3.2.2. Limpieza del cuarto oscuro

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Blanco et al., 2015; IAEA y ARCAL, 2006; Machado et al., 2013).

El objetivo es propiciar una correcta limpieza del cuarto oscuro con la finalidad de reducir al máximo los posibles artefactos en las radiografías.

FRECUENCIA: Esto se lo debe realizar todos los días antes de dar inicio la jornada de trabajo.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para efectuar esta prueba se debe utilizar un paño, un balde y un pedazo de tela que no desprenda pelusas.

PROCESO: Proceder a limpiar todas las superficies donde se realiza el trabajo, pisos, mesas, así como la bandeja donde se aloja la película. Se recomienda también aspirar las rejillas de los conductos de ventilación por lo menos una vez a la semana. Como consideraciones a tomar, las paredes del cuarto oscuro deben estar pintadas con una tonalidad mate y mantener las manos siempre limpias y secas, ya que cualquier factor, ya sea polvo o manos sucias, contribuyen a los artefactos en la imagen, como se puede observar en el anexo (F), y posterior se podría producir un mal diagnóstico.

TOLERANCIAS: Comprobar que el cuarto oscuro este totalmente limpio.

3.2.3. Almacenamiento de películas

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Blanco et al., 2015; IAEA y ARCAL, 2006; IAEA, 2009).

En esta prueba se va a considerar tres factores: temperatura, humedad y nivel de radiación, con el objetivo de verificar el lugar de donde se están almacenando las películas.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe hacer es cada semana y como mínimo cada mes.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los equipos que se utiliza para realizar esta prueba son un termómetro, un higrómetro y un dosímetro de área.

PROCESO: Con la ayuda de un higrómetro y termómetro proceder a medir la temperatura y el grado de humedad del lugar donde se almacena las películas, de similar manera con el dosímetro medir el nivel de radiación en diferentes puntos y anotar el valor más alto.

TOLERANCIA: Los valores tolerables para la temperatura están entre 20 – 25 °C, para la humedad de 40 a 60 % y los niveles de radiación deben estar por debajo de los 20 µGy/semana. Si alguno de los parámetros no se encuentra dentro de los límites aceptables, se debe investigar las causas y hacer las correcciones que amerite.

3.2.4. Hermeticidad de los chasis

Esta prueba se basa en los siguientes autores chasis (Machado et al., 2013; IAEA y ARCAL, 2006; MERNNR, 2020).

Al realizar esta prueba se debe lograr verificar la hermeticidad de los chasis.

FRECUENCIA: Esto se debe hacer al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utiliza son: el conjunto chasis pantalla y las películas radiográficas.

PROCESO: Para dar inicio a la prueba, se coloca el chasis cargado en lugar donde haya una buena iluminación, este proceso se debe hacer durante una hora a ambos lados del chasis, después se procede a extraer la película en el cuarto oscuro realizando una marca con la finalidad de identificar a qué lado se encontraba dentro del chasis, posterior a esto procesar la película y colocar en el negatoscopio para observar si hay un ennegrecimiento en los bordes específicamente, para inmediatamente medir el tamaño de las zonas.

TOLERANCIA: Los tamaños de las zonas ennegrecidas deben ser ≤ 0.5 cm, en caso de presentar ennegrecimiento en la parte central de la película, desechar el.

3.2.5. Contacto película-pantalla

Esta prueba se basa en los siguientes autores (IAEA y ARCAL, 2006; Machado et al., 2013; MERNNR, 2020; IAEA, 2009).

El objetivo es comprobar que no exista ningún artefacto que produzca un mal contacto entre la película y pantalla, es decir, que haya uniformidad.

FRECUENCIA: Esta prueba se debe realizar al inicio, cada seis meses y después de cualquier tipo de cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: El material que se utiliza es una rejilla de cobre de dimensiones 24x30 cm.

PROCESO: Como primer paso se procede a cargar una película en el chasis colocando el objeto de prueba en la parte superior del chasis, luego realizar una exposición que contenga los parámetros de densidad óptica de la imagen entre 1.5 y 2 DO (densidad óptica), posterior a esto colocar la imagen en el negatoscopio y observar si la imagen está borrosa.

TOLRENCIA: No se debe observar ningún tipo de artefacto debido al mal contacto, en caso de haber se aceptan manchas ≤ 5 mm en los bordes; si después de realizar la limpieza respectiva no hay mejoría, la pantalla deberá ser desecheda.

3.2.6. Coincidencia del campo de radiación-película

Según (IAEA y ARCAL, 2006; Sefm, Sepr y Seram, 2011), el objetivo es evaluar la coincidencia que existe entre el campo de radiación y el receptor de la imagen.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se realiza la prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para la ejecución, se utiliza seis marcadores radiopacos (5 que posean las mismas dimensiones y otro más grande), una regla, dos chasis cargados de preferencia que sea uno pequeño y uno grande.

PROCESO: El procedimiento para llevar a cabo esta prueba consiste en colocar un chasis cargado en la porta chasis mientras se coloca otro chasis cargado de mayor tamaño sobre el tablero, este último chasis debe cubrir todo el tablero de manera que la distancia correspondiente a la pared

del tórax sobresalga, como paso siguiente, se debe colocar los marcadores radiopacos sobre el chasis superior, realizar una exposición y procesar las dos películas.

TOLERANCIA: Los valores de tolerancia para la coincidencia del campo de radiación-película debe ser $\leq 2\%$ de la distancia foco-película y ≤ 5 mm del lado del tórax.

3.2.7. Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; MERNNR, 2020; IAEA y ARCAL, 2006; IAEA y ARCAL, 2001).

El objetivo es comprobar la exactitud y repetibilidad del tubo de rayos X.

FRECUENCIA: Esta prueba se la debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: El equipo que se utiliza es un medidor de kVp que sea de uso exclusivo para mamografía y que esté correctamente calibrado.

PROCESO: Para dar inicio la prueba se debe colocar el medidor de kVp sobre el soporte de mama verificando que se encuentre centrado con el haz de radiación, a continuación, se debe seleccionar un valor de kVp, de preferencia que sean valores utilizados en las prácticas clínicas, posterior a esto realizar tres exposiciones y anotar el valor obtenido en cada exposición, y por último, repetir el procedimiento para otros 2 valores distintos de kVp seleccionados.

TOLERANCIA: Los valores de tolerancia para la exactitud deben ser $\leq \pm 10\%$ de la desviación máxima y para la desviación el coeficiente variación debe ser $\leq 10\%$.

3.2.8. Capa hemirreductora

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; IAEA y ARCAL, 2006; IAEA y ARCAL, 2001).

El realizar esta prueba tiene como fin verificar si los valores de filtración cumplen con los requisitos mínimos.

FRECUENCIA: la periodicidad con la que se debe realizar es al inicio, cada año y después de cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan son: una cámara de ionización adecuada para realizar mediciones en mamografía y que esté debidamente calibrada, un conjunto de filtros de aluminio con una pureza elevada (99.9%) y una cinta métrica.

PROCESO: Para proceder a efectuar la prueba se debe posicionar la cámara de ionización a una distancia foco-cámara recomendado por el fabricante, después colocar el dosímetro a una altura de 45 mm sobre el soporte de mama y a 40 mm del borde de la pared del tórax, posterior a esto, situar la paleta de compresión a la mitad de la distancia foco-dosímetro y realizar por lo mínimo tres exposiciones, luego colocar un espesor de 3 mm de aluminio sobre la paleta de compresión y ejecutar tres exposiciones con los parámetros de exposición anteriormente establecidos. Comprobar que el resultado obtenido sea mayor a la mitad del valor obtenido sin filtro,

finalmente, colocar una lámina de aluminio de un 1 mm de espesor y repetir el apartado anterior. Los valores obtenidos deben ser inferiores a la mitad del valor de la exposición.

TOLERANCIA: Los valores de la capa hemirreductora debe encontrarse dentro del siguiente intervalo $kVp/100 + 0,03 \leq CHR \text{ (mm Al)} \leq kVp/100 + C$, en caso de que los valores obtenidos no se encuentren dentro del intervalo indicado proceder a comunicarse con el servicio de mantenimiento del equipo.

3.2.9. Fuerza de compresión

Según (MERNNR, 2020; Sefm, Sepr y Seram, 2011), el objetivo es comprobar que el sistema de compresión esté funcionando adecuadamente.

FRECUENCIA: Esta prueba se debe efectuar cada año, al inicio, y después de realizar cualquier tipo de cambio que afecte al sistema de compresión.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se va a ocupar son, una balanza de baño o algún otro tipo de equipo para medir la fuerza de compresión, y una toalla o un objeto acolchado.

PROCESO: Para iniciar la prueba se debe colocar el objeto acolchado encima del soporte de la mama y sobre esto colocar la balanza, posteriormente activar la paleta en los parámetros máximos de fuerza de compresión y anotar los valores tanto de la balanza como la que indica el equipo.

TOLERANCIA: Los valores aceptables que debe arrojar el equipo en modo automático deben estar comprendidos entre 150 y 200 Newton y para el modo manual no debe exceder los 300 Newtons, en caso de los valores resultantes no sean aceptables, deberá comunicarse con el servicio de mantenimiento.

3.2.10. Compensación del (CAE) para diferentes espesores y tensiones

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; Zamorano et al., 2002; Machado et al., 2013).

La finalidad de la prueba es evaluar la compensación del CAE para distintos valores de espesor y tensión.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar esta prueba es cada año, al inicio y después de haber realizado cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan para efectuar la prueba son, chasis que se utiliza a diario para la realización del examen, láminas de PMMA de espesor de 45 mm aproximadamente, un densitómetro, películas mamográficas.

PROCESO: Para iniciar la prueba se debe seleccionar los chasis que van a ser evaluados, después colocar las láminas de PMMA encima del soporte de la mama de manera que cubra los detectores del CAE, luego seleccionar los valores de exposición para una mama de 50 mm de espesor y procesar las imágenes, posterior a esto medir la densidad óptica a una distancia de 4 cm de la pared torácica.

TOLERANCIA: Para espesores comprendidos entre 2 y 7 cm la desviación máxima con respecto a la densidad óptica para 4,5 cm de PMMA debe ser $< \pm 0,15$ DO.

3.2.11. Sensitometría

Según (IAEA y ARCAL, 2006; Sefm, Sepr y Seram, 2011), la prueba consiste en comprobar que el procesador este trabajando de manera eficiente.

FRECUANCIA: la periodicidad de la prueba debe ser diaria y después de realizar cualquier cambio en el equipo.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utilizan para llevar a cabo la prueba son, un densitómetro, un sensitómetro, películas de mamografía, negatoscopio y un termómetro.

PROCESO: Para iniciar la prueba, verificar que el cuarto oscuro esté en condiciones aptas, después, verificar que esté limpio el procesador y colocar líquidos nuevos, comprobar que la temperatura en la que se encuentra el revelador sea la recomendada por el fabricante, posterior a esto, exponer la película por la parte que ha sido emulsionada con la utilización del sensitómetro, esto se debe repetir por lo menos 5 días con la misma película y al mismo lado de la bandeja de entrada. Medir las densidades de los cinco patrones obtenidos con la ayuda del densitómetro, posterior a esto determinar el número del paso del patrón de densidades que tiene la densidad de promedio más cercana, la diferencia entre densidades promedios de dos pasos se denomina diferencia de densidad (DD) y finalmente establecer los valores densidad media (DM), diferencia de densidad (DD) y la densidad del fondo más el velo (F+V).

TOLERANCIA: Las tolerancias para valores de (F+V) están entre 0.15 y 0.25 DO y para DM y DD va a ser $\text{NOI} \pm 0,15$ DO, donde NOI es el nivel operativo inicial.

3.2.12. Dosis glandular media (D_G)

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; Zamorano et al., 2002; Sefm, Sepr y Seram, 2011).

El objetivo es estimar la dosis glandular media a diferentes espesores.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe llevar a cabo la prueba es al inicio, cada año y después de cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: La instrumentación que se necesita para efectuar la prueba es: un sistema dosimétrico debidamente calibrado y que esté apto para realizar mediciones en mamografía, un termómetro, un medidor de presión, láminas de PMMA y una cinta métrica.

PROCESO: Para llevar a cabo la prueba se debe utilizar los factores de exposición que se encontraron al realizar la prueba del CAE, se recomienda realizar para espesores de 20, 45 y 70 mm; para equipos analógicos solo se debe evaluar el espesor de 45 mm y para equipos digitales los tres espesores, posterior a esto, se determina la distancia foco-soporte y se procede a colocar el dosímetro debajo de la paleta de compresión a una altura estimada de 45 mm sobre el soporte

de la mama, después utilizar un valor de kVp y una combinación ánodo filtro para los diferentes espesores y realizar la exposición.

TOLERANCIA: Los valores de tolerancia para los diferentes espesores se presentan a continuación en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Límites aceptables y deseables para dosis glandular media (D_G)

Espesor del PMMA (mm)	Espesor de mama equivalente (mm)	Nivel aceptable de DG para mama equivalente (mGy)	Nivel deseable de DG para mama equivalente (mGy)
20	21	1.0	0.6
45	53	2.5	2.0
70	90	6.5	5.1

Fuente:(IAEA 2009)

Realizado por: Cevallos, G, 2020.

3.3. Control de calidad en tomografía computarizada

3.3.1. *Coincidencia de los indicadores luminosos y coincidencia del indicador luminoso interno con el haz de radiación*

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; Sefm, Sepr y Seram, 2011; Pifarré et al., 2012; IAEA y ARCAL, 2001).

La finalidad de efectuar la prueba es comprobar que los indicadores luminosos se encuentren a una distancia correcta.

FRECUENCIA: Esta prueba se la debe realizar al inicio, cada seis meses y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los instrumentos que se utiliza para realizar la prueba son: un objeto que contenga hilo metálico en su superficie o un maniquí que posea marcadores radiopacos que sean visibles externamente, una película radiográfica que se haya utilizado en radioterapia, instrumento punzante y una cinta métrica.

PROCESO: Para llevar a cabo la prueba con el maniquí se debe centrar el objeto con el haz de luz externo y paralelo al plano tomográfico y se procede a desplazar el maniquí en el plano tomográfico verificando que esté alineado con el haz interno de luz, ver anexo (G), finalmente se procede a efectuar un barrido axial con un espesor de corte fino. El método alternativo para realizar la prueba es utilizando la película radiográfica, para lo cual se procede a colocar un soporte fijo donde se aloja la película, después, se alinea el sobre a la altura del isocentro, ver anexo (H), y se traza una línea horizontal, con la finalidad de hacer coincidir con el láser externo, después, se desplaza la mesa hacia la posición de inicio de barrido, para luego medir la distancia que existen entre el láser interno y la recta; con la ayuda de un objeto punzante hacer unos orificios en la recta trazada y exponer la película en modo axial utilizando un corte estrecho, para finalmente procesar la película.

TOLERANCIA: La prueba con el maniquí es aceptable cuando la longitud total del hilo metálico es visible con un alto contraste y para la prueba con la película radiográfica, la distancia entre el orificio y el punto medio del campo de radiación es $\leq \pm 5$ mm.

3.3.2. Desplazamiento de la mesa

Esta prueba se basa en los siguientes autores (IAEA y ARCAL, 2001; Zamorano et al., 2002; Pifarré et al., 2012).

El objetivo es comprobar que el movimiento de la mesa sea adecuado cuando está bajo el peso de un paciente.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe llevar a cabo la prueba es cada año, al inicio y después de realizar cualquier cambio. Los materiales que se utiliza para efectuar la prueba son: una hoja de papel milimétrico, y una cinta adhesiva.

PROCESO: Para iniciar la prueba se debe marcar sobre el papel una línea de referencia y hacer que coincida la línea trazada con el indicador luminoso externo, después, cargar la mesa con un peso aproximado de 70 a 80 Kg y efectuar un desplazamiento de mínimo 30 cm, posterior a esto, anotar la diferencia que existe entre la distancia recorrida y la indicada por el gantry.

TOLERANCIA: Para verificar que es un valor aceptable la variación de la entre la distancia reportada por el gantry y la distancia recorrida debe ser ± 2 mm.

3.3.3. Espesor de corte efectivo

Según (IAEA y ARCAL, 2001; Sefm, Sepr y Seram, 2011), el fin con el que se realiza esta prueba es determinar el espesor verdadero de la imagen.

FRECUANCIA: esta prueba se la debe realizar por lo menos una vez al mes.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales que se utiliza son: un simulador con trampa de aluminio o cobre, o una película radiográfica en caso de no tener disponibilidad del simulador, y una regla.

PROCESO: Para poner en marcha la prueba, como paso inicial, se debe alinear el simulador de tal manera que el eje coincida con el eje de rotación del tomógrafo, luego efectuar un corte en el que la técnica a utilizarse permita tener un bajo ruido y tenga un apropiado algoritmo de reconstrucción, posterior a esto determinar los valores del número de CT del fondo, la anchura a media altura (FWHM). En caso de no tener disponible el simulador, colocar el sobre con la película sobre la mesa, verificando que se encuentre centrado en el gantry, luego hacer una exposición con parámetros de miliamperaje comprendido entre 50 y 100 mAs y un kilovoltaje entre 120 y 140 kVp con un espesor de 10 mm, desplazar la mesa 20 mm y procesar la película y finalmente con la ayuda de una regla medir las líneas de densidad.

TOLERANCIA: Para que un valor sea aceptable debe cumplir con los siguientes parámetros de tolerancia $FWHM < s \pm 1$ mm, si $s > 2$ mm o $FWHM < s \pm 50$ %, si $s \leq 2$ mm; donde s es el espesor del corte que se ha seleccionado.

3.3.4. Ruido de la imagen

Según (Zamorano et al., 2002; Sefm, Sepr y Seram, 2011), el objetivo es medir la fluctuación de los números de CT para una región de interés (ROI).

FRECUENCIA: Esta prueba se la debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio que afecte a los colimadores, filtración o a los algoritmos de reconstrucción.

EQUIPOS Y MATERIALES: Los materiales básicos que se necesita para llevar a cabo esta prueba son, un maniquí cilíndrico, que esté relleno preferiblemente de agua, ya que nuestro cuerpo está compuesto en su mayoría por agua.

PROCESO: Para empezar con la prueba, colocar el maniquí en el centro y su eje que esté de forma paralela al eje de giro del tubo, después realizamos un corte con la técnica correspondiente, posterior a esto, seleccionamos una ROI de 10x10 y se realiza tres medidas.

TOLERANCIA: Es recomendado que los valores de ruido para estudios en cabeza sean $\leq 0,5$ % y para abdomen, tórax sea un valor $\leq 2,0$ %, en caso de no obtener estos valores, por lo menos deben cumplir con las especificaciones del fabricante.

3.3.5. Valor medio del número CT

Según (Zamorano et al., 2002; Sefm, Sepr y Seram, 2011), el fin con el que se realiza la prueba es medir la exactitud del número CT para distintas densidades, las más importantes son el agua y el aire.

FRECUENCIA: Esta prueba se la debe realizar cada año, al inicio o después de realizar algún cambio que afecte los colimadores y la filtración.

EQUIPOS Y MATERIALES: Para efectuar la prueba se utiliza un maniquí relleno de agua de tamaño ideal, ya sea para cuerpo o cabeza.

PROCESO: Al iniciar la prueba se coloca el maniquí de manera que esté centrado y con su eje paralelo al del giro del tubo, después seleccionamos una ROI de 10x10, verificando que esté en el centro de la imagen y anotamos los valores del número de CT en agua. De manera similar con la misma ROI se busca una zona donde se encuentre aire en el exterior del maniquí y se anotan los valores de numero de CT en aire.

TOLERANCIA: Los valores medidos del número de CT y los teóricos deber ser menores a ± 20 n° CT para cada material respectivo o al 5 % del valor teórico.

3.3.6. Umbral de sensibilidad a bajo contraste

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; Sefm, Sepr y Seram, 2011; IAEA y ARCAL, 2001).

La finalidad de realizar la prueba es determinar la capacidad que tiene el sistema para eliminar objetos de bajo contraste.

FRECUENCIA: La frecuencia con la que se debe realizar es al inicio, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: El material que se va a utilizar es un maniquí que contenga objetos de prueba para bajo contraste, ver anexo (I).

PROCESO: Para dar inicio con la prueba, se debe colocar el maniquí de manera que esté centrado y alineado con el plano tomográfico y paralelo al plano de la imagen, después se procede a realizar una exposición con el protocolo utilizado para el abdomen de un adulto, posterior a esto, se debe ajustar el nivel y el ancho de la ventana según como lo recomiende el fabricante del objeto de prueba, finalmente, identificar el grupo de esferas de bajo contraste que estén visibles en la imagen.

TOLERANCIA: Los objetos de 3.5 mm con un contraste de 3% debe ser visibles para los diferentes estudios de cabeza, abdomen y tórax, pero lo deseable sería poder observar objetos de 6 y 8 mm con un contraste de 0.5 y 0.8 %.

3.3.7. Resolución espacial

Esta prueba se basa en los siguientes autores (MERNNR, 2020; Sefm, Sepr y Seram, 2011; IAEA y ARCAL, 2001).

El objetivo de realizar es verificar los límites de la frecuencia espacial para alto contraste bajo diferentes condiciones.

FRECUENCIA: La periodicidad con la que realiza debe ser al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: El material que se va a utilizar en esta prueba es un simulador de patrón de barras.

PROCESO: Para iniciar la prueba, el simulador debe estar centrado y alineado, posterior a esto realizar una exposición con el protocolo utilizado para abdomen, después ajustar el ancho y el nivel de la ventana según las recomendaciones del fabricante, esto con el fin de visualizar el máximo número de líneas, luego se procede a identificar el grupo de pares de líneas que se pueden observar con un grado aceptable de separación y sin ningún tipo de distorsión; repetir todo el procedimiento para el protocolo de tórax.

TOLERANCIA: La tolerancia para el protocolo de abdomen está comprendida en 5 pl/mm (pares de líneas por milímetro) y 6,5 pl/mm para el protocolo de tórax.

3.3.8. Dosis de radiación

Esta prueba se basa en los siguientes autores (Sefm, Sepr y Seram, 2011; MERNNR, 2020; Zamorano et al., 2002).

La finalidad de realizar la prueba es poder medir el índice de dosis en tomografía computarizada en aire (CTDI_{aire}).

FRECUENCIA: La prueba se debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio.

EQUIPOS Y MATERIALES: El equipo utilizado para efectuar la prueba es un sistema dosimétrico debidamente calibrado con cámara de ionización tipo lápiz y un soporte adecuado.

PROCESO: Iniciando con la prueba, se debe colocar la cámara de ionización en el eje axial de rotación del gantry, luego la cámara de ionización debe estar centrada y alineada, esto se logra

con la ayuda de los laser, realizar una adquisición de un corte para comprobar la alineación, posterior a esto, elegir el protocolo que se utiliza para el examen de cabeza de un adulto, nuevamente adquirir un corte, registrar la lectura que arrojó el electrómetro y repetir la exposición por lo menos dos veces. Repetir todos los pasos anteriores para un protocolo de abdomen de adulto.

TOLERANCIA: Los valores obtenidos de $CTDI_{aire}$ debe ser $\leq \pm 20\%$ en referencia al valor especificado por el fabricante.

3.4. Control de calidad en equipos dentales

3.4.1. Parámetros geométricos

Los parámetros geométricos más indispensables son, la distancia foco piel y el tamaño de campo en el extremo del localizador. En la primera prueba, se debe verificar que la distancia mínima foco-piel debe ser de 20 cm, esto en el caso de que los equipos tengan tensiones superiores a 60 kVp, y 10 cm para los equipos que tengan tenciones ≤ 60 kVp, para compradora que la distancia este cumpliendo con los parámetros establecidos basta con medir la distancia que hay entre el foco y el extremo del localizador. En relación con la segunda prueba, el tamaño del campo debe ser menor a 6 cm, para corroborar se debe realizar una exposición y medir el diámetro de la imagen resultante (Pifarré et al. 2012).

3.4.2. Calidad de haz

Los parámetros más elementales para verificar la calidad del haz son, exactitud y reproducibilidad de la tensión y la filtración. Los valores para comprobar que se cumple con el parámetro de exactitud y reproducibilidad de la tensión debe ser mejores al $\pm 10\%$, y la mínima tensión que debe proporcionar el equipo es de 50 kVp. Por otra parte el valor de filtración (capa hemirreductora), de ser ≥ 1.5 mm de aluminio, para equipos que tengan una tensión de 70 kVp, y una filtración ≥ 2.5 mm para equipos con tensiones ≥ 70 kVp (Pifarré et al. 2012).

3.4.3. Tiempo de exposición

Para efectuar esta prueba se realiza las mediciones en rangos de tiempos elevados, a partir de 100 ms, en caso de que el equipo no cuente con un selector temporal, si no con en selector de pieza dental, se procederá a seleccionar diferentes tipos de dientes y se medirá el tiempo para cada caso, para verifica la reproducibilidad, se efectuaran como mínimo 5 disparas para los distintos tipos de dientes; la desviación de ser $\leq \pm 20\%$ y la reproducibilidad $< \pm 10\%$ (Pifarré et al. 2012).

3.4.4. Rendimiento

Las pruebas básicas para verificar el rendimiento son, reproducibilidad, valor de rendimiento, variación con el tiempo de exposición; todos estos parámetros se miden de manera similar que los equipos de graffía. Los valores de reproducibilidad deben ser mejores que $\pm 10\%$ y el valor del rendimiento de estar entre 30 y 80 mGy/mAs, para los equipos que tiene valores de tensión comprendidos entre 50 y 70 kVp (Pifarré et al. 2012).

Para fortalecer esta investigación se realizó una publicación en una revista indexada en latindex catálogo 2.0, mismo que se adjunta en el anexo J

CONCLUSIONES

- Las pruebas descritas en este trabajo de investigación fueron producto de realizar una comparación en varias bibliografías, tomando en cuenta los procedimientos mínimos que se deben realizar en un control de calidad. Los datos, valores, tolerancias descritas en las partes pertinentes de los diferentes equipos de radiodiagnóstico permiten saber si la prueba realizada es aceptable o no, de esta manera si el conjunto de pruebas es satisfactorio, el equipo está en condiciones aptas para su utilización.
- Se logró organizar de manera efectiva toda la bibliografía consultada referente a los aseguramientos de la calidad en radiodiagnóstico médico, dando como resultado la obtención de aproximadamente de 30 citas bibliográficas de fuentes confiables, específicamente de revistas científicas de libre acceso que se encuentran en la red, lo cual cubrió todo el contenido que el trabajo de investigación lo requería.
- Las ventajas de realizar estos controles de calidad, es garantizar un uso eficiente de las radiaciones ionizantes y obtener imágenes de alta calidad diagnósticas con el menor riesgo posible al paciente y al personal que opera el equipo, de igual manera va a contribuir a extender su vida útil.

RECOMENDACIONES

- Crear mecanismos para la actualización y mejora continua de los procesos de control de calidad en radiodiagnóstico, basados en la realidad ecuatoriana, para de esta manera tener un documento estandarizado y confiable.
- Hacer conferencias o simposios, donde permita compartir información relevante de las realidades que se tienen en diferentes casas de salud o centros imagenológicos al momento de realizar este tipo de controles.
- Utilizar como una estrategia para solventar la ausencia de equipamiento y personal cualificado en las casas de salud para ejecutar procesos de control de calidad, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables de Ecuador.
- Crear una cultura de protección radiológica tanto a pacientes como a personal que trabaja en centros imagenológicos.
- La Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), ejerza un control más riguroso y periódico al momento de realizar las auditorias en los diferentes establecimientos donde tengan equipos radiodiagnósticos.

BIBLIOGRAFÍA

NCRP. Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP Report No. 147 (2004). [en línea]. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-147-structural-shielding-design-for-medical-x-ray-imaging-facilities-2004/>.

ALCARAZ, M. Evolución de la Protección Radiológica y Control de Calidad en la Radiología Dental Española (2005). *Dialnet*,

ALDANA, V., SAAIBI, J. & MEDINA, L. Tumores cerebrales y lesiones encefálicas por radiación ionizante. *Revista Colombiana de Cardiología*, vol. 27 (2020), pp. 79-81. ISSN 01205633. DOI 10.1016/j.rccar.2019.09.005.

ANDISCO, D., BLANCO, S. & BUZZI, A. Dosimetría en radiología. *Revista Argentina de Radiobiología* [en línea], vol. 78, no. 2 (2014), pp. 114-117. [Consulta: 26 noviembre 2020]. DOI 10.1016/j.rard.2014.06.010. Disponible en: www.elsevier.es/rardwww.elsevier.es/rar.

BADEL, A., et al. *Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica* [en línea], 2018. S.l.: Elsevier B.V. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-radiacion-ionizante-revision-tema-recomendaciones-S0120563318300275>.

BARBA, L., RUIZ, V. & HIDALGO, A. El uso de rayos X en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos. *Avances en Odontostomatología*, vol. 36, no. 3 (2020), pp. 131-142. ISSN 02131285. DOI 10.4321/S0213-12852020000300002.

BLANCO, S., BUFFA, R., GAMARRA, S., VERÓNICA, P. & VINIEGRA, M. Guía técnica de procedimientos mínimos de control de calidad en mamografía analógica (2015).

BUSCH, U. *Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos X y la creación de una nueva profesión médica* [en línea]. 2016. S.l.: s.n. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-99922016000400012&lang=es.

BUSHONG. *Manual De Radiología Para Técnicos: Física, Biología Y Protección Radiológica*. Barcelona, 2010 : s.n. ISBN 978-84-8086-636-1.

CÁCERES, C., VÁZQUEZ, E., MUÑIZ, J. & ARTEAGOITIA, M. Manual de evaluación y certificación de programas de garantía de calidad de Unidades Asistenciales de Radiodiagnóstico (2015).

CARPIO, G. *Detección de las concentraciones de Radio-226 y exhalación de Radón-222 en algunos materiales de construcción de la ciudad de Cuenca-Ecuador* [en línea], 2016. S.l.: s.n. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12979/1/UPS-CT006757.pdf>.

CCEEM. Guía Técnica CCEEM GT-07 « Control de Calidad de Equipos de Radiografía». [en línea], 1998, Disponible en: <http://www.eqmed.sld.cu/Documents/Documentos regulatorios/Guias/gt7.pdf>.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR. Curso de supervisores de instalaciones radiactivas. Tema 3 : Magnitudes y unidades radiológicas (2013).

CSN. Protección radiológica. *Revista de Sanidad Militar* [en línea], 2017, vol. 58, no. 4, pp. 302-315. ISSN 2255-0569. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protección radiológica>.

DE ALBA, F., CASIÁN, G. & DE ALBA, C. Los primeros experimentos con rayos X en México y la prensa. *Rev Hosp Jua Mex* [en línea], 2019. S.l.: [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: www.medigraphic.org.mxwww.medigraphic.com/hospitaljuarez.

DELGADO, O. Radioprotección , Control de Calidad en Radiodiagnóstico. [en línea], 2005, vol. 8, pp. 39,43. Disponible en: http://sociedadradiologiaoral.cl/doc/anuarios_div/2005/anuario2005-36-40.pdf.

DIAS, V., OLIVEIRA, M., MORGADO, F. & ALMEIDA, F. Radiological protection in the perspective of health professionals exposed to radiation. *Revista brasileira de enfermagem* [en línea], 2019, vol. 72, pp. 9-16. [Consulta: 4 marzo 2021]. ISSN 00347167. DOI 10.1590/0034-7167-2017-0545. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0545>.

DURÁN, A. Protección radiológica en cardiología intervencionista. *Archivos de Cardiología de México* [en línea], 2015, vol. 85, no. 3, pp. 230-237. [Consulta: 23 marzo 2021]. DOI 10.1016/j.acmx.2015.05.005. Disponible en: www.elsevier.com.mx<http://dx.doi.org/10.1016/j.acmx.2015.05.005>1405-9940/.

ECUADOR. Reglamento De Seguridad. [en línea], 1979, pp. 1-141. Disponible en: <https://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa Legal/Acuerdos Ministeriales/REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLOGICA.pdf>.

ESPITIA, O., MEJÍA, Y. & ARGUELLO, H. Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual. *Revista Tecnura*, vol. 20, no. 47 (2016), pp. 119. ISSN 2248-7638. DOI 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a10.

FUENTES, L., TORRES, S. & VALENCIA, V. Efectos biológicos de los Rayo-X en la práctica de Estomatología. *Revista Habanera de Ciencias Medicas* [en línea], vol. 14, no. 3 (2015), pp. 337-347. ISSN 1729519X. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2015000300011.

GALVAN, H. La necesidad e importancia del control de calidad en mamografía. *Gaceta Mexicana de Oncología* [en línea], 2012, [Consulta: 23 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-gaceta-mexicana-oncologia-305-pdf-X1665920112544888>.

GONZALES, E. *Diseño de un protocolo en radiodiagnóstico para evitar efectos biológicos en el personal de diagnóstico por imágenes en el HRL* [en línea], 2020. S.l.: s.n. Disponible en:

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46018/Gonzales_RED-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GUZMÁN, E. «Importancia del control de calidad de un equipo de radiografía general» *MONOGRAFÍA TÉCNICA Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física* [en línea], 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8475/Guzman_ge.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

HERRANZ, E. *Estudio de técnicas de imagen, radiaciones ionizantes y sus aplicaciones en radioterapia* [en línea], 2019. S.l.: s.n. Disponible en: http://oa.upm.es/54133/1/TFG_EVA_HERRANZ_HEREDIA.pdf.

IAEA. Quality Assurance Programme for Screen Film Mammography. [en línea], 2009. S.l.: [Consulta: 22 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.iaea.org/Publications/index.html>.

IAEA & ARCAL. Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico - ARCAL XLIX - Implementación de las Normas Básicas de Seguridad Internacionales en las Prácticas Médicas. [en línea], 2001, vol. 2001. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/MET/arc49-protocolo-cc.pdf>.

IAEA & ARCAL. IAEA- TECDOC 1517 «Controlo de Calidad en Mamografía». , pp. 138. ICRP, 2007. Las Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica ICRP Publicación 103. [en línea], 2006. S.l.: Disponible en: http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf.

LANCHARRO, A. & MARÍN, C. Radioprotección y uso de contrastes en pediatría: qué, cómo y cuándo. *Radiologia* [en línea], 2016, vol. 58, pp. 92-103. [Consulta: 23 marzo 2021]. ISSN 15781771. DOI 10.1016/j.rx.2016.02.002. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-radiologia-119-articulo-radioproteccion-uso-contrastes-pediatria-que-S0033833816000540>.

MACHADO, H., NIÑO, N., LAGARES, L., MARTINEZ, R. & ÁLVAREZ, M. *Control De Calidad En Mamografía Analógica* [en línea], 2013. S.l.: s.n. ISBN 9789585763203. Disponible en: <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/control>.

MERNNR. Manual de Cntrol de Calidad para Radiodiagnostico y Radiología Intervencionista (2020).

MONTESDEOCA, D. *Cálculo estimado de la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de áreas mineras en el Cantón Riobamba.* [en línea], 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7813>.

MORALES, J. & ANSELMO, J. Physical basis of ionising radiation. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea], 2020, vol. 27, pp. 32-40. [Consulta: 22 marzo 2021]. ISSN 01205633. DOI 10.1016/j.rccar.2020.01.007. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-pdf-S0120563320300085>.

NÚÑEZ, R. & ROGLÁ, L. La radioactividad ambiental. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología* [en línea], 2011, vol. 2, no. 2. ISSN 2145549X. DOI 10.22335/rlct.v2i2.82. Disponible en: <file:///D:/DESCARGAS/Dialnet-LaRadioactividadAmbiental-4165973.pdf>.

OLIVAS, C. Radiofármacos utilizados en la tomografía por emisión de positrones: presente y perspectivas de futuro. *Radiología* [en línea], 2016, vol. 58, no. 6, pp. 468-480. [Consulta: 23 marzo 2021]. ISSN 0033-8338. DOI 10.1016/J.RX.2016.07.003. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-radiologia-119-articulo-radiofarmacos-utilizados-tomografia-por-emision-S0033833816301114>.

OMS. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami (2016). . S.I.:

PIFARRÉ, X., et.al. *Fundamentos de Física Médica*. Madrid, 2012: s.n. ISBN 9788493801663.

PUERTA, A. & MORALES, J. Biological effects of ionising radiation. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea], 2020, vol. 27, pp. 61-71. [Consulta: 4 marzo 2021]. ISSN 01205633. DOI 10.1016/j.rccar.2020.01.005. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-colombiana-cardiologia-203-articulo-efectos-biologicos-radiaciones-ionizantes-S0120563320300061>.

PUERTA, A. & MORALES, J. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea], 2020, vol. 27, no. S1, pp. 61-71. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 01205633. DOI 10.1016/j.rccar.2020.01.005. Disponible en: www.elsevier.es/revcolcar.

RAMÍREZ, J. Radiología e imagen. [en línea], 2019. S.I.: [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/facmed/v62n2/2448-4865-facmed-62-02-7.pdf>.

REAL, A. Riesgos derivados de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante. *Revista de Salud Ambiental* [en línea], 2010, vol. 10, no. 1-2, pp. 43-48. ISSN 1577-9572. Disponible en: <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/185/160>.

SEFM, SEPR & SERAM. Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. [en línea], 2011. S.I.: Disponible en: https://www.seram.es/images/site/protocolo_2011.pdf.

SEPR, SEFM & SERAM. Equipos de radiología convencional y equipos portátiles con y sin detector digital. [en línea], 2019. S.I.: [Consulta: 24 marzo 2021]. Disponible en: <https://sefm.es/wp-content/uploads/Pruebas-de-Aceptación-de-Equipos-de-Diagnóstico-por-la-Imagen-GRAFÍA.pdf>.

TORRADO, A. Importancia de la corrección de atenuación en la cuantificación de imagen PET/RM: métodos y aplicaciones. *Revista Espanola de Medicina Nuclear e Imagen Molecular* [en línea], 2020, vol. 39, no. 3, pp. 163-168. [Consulta: 23 marzo 2021]. ISSN 22538070. DOI 10.1016/j.remnm.2020.03.004. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-medicina-nuclear-e-125-articulo-importancia-correccion-atenuacion-cuantificacion-imagen-S2253654X20300342>.

UBEDA DE LA C., et al. Magnitudes y unidades para dosimetría a pacientes en radiodiagnóstico e intervencionismo. *Revista Chilena de Radiología* [en línea], 2015, vol. 21, no. 3, pp. 94-99. [Consulta: 26 noviembre 2020]. ISSN 07179308. DOI 10.4067/S0717-93082015000300004. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082015000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

UBEDA DE LA CERDA, et al. Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. *Revista Chilena de Radiología* [en línea], 2018, vol. 24, pp. 5-11. Disponible en: <chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?pdf=https%3A%2F%2Fbrxt.mendeley.com%2Fdocument%2Fcontent%2Facec98aa-8a5d-34b0-88fd-241e56eab421>.

UBEDA, C., VAÑO, E., CRUCES, R.R., SOFFIA, P. & FABRI, D. Diagnostic reference levels: An effective tool to radiological protection of patient. *Revista Chilena de Radiología* [en línea], 2019, vol. 25, no. 1, pp. 19-28. [Consulta: 4 marzo 2021]. ISSN 07179308. DOI 10.4067/s0717-93082019000100019. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082019000100019&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

VALLEJO, A. Implementacion de normas de seguridad y protección radiológica en el bunker del laboratorio de tecnicas nucleares según los estándares internacionales. [en línea], 2019. S.l.: [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13954/1/86T00087.pdf>.

VÁSCONEZ, C. Validación del blindaje estructural de las salas de radiodiagnóstico e intervencionismo del hospital de especialidades carlos andrade marín mediante levantamiento radiométrico bajo el protocolo iaea/arc4 xlix (Trabajo de titulación) (Biofísica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática, Riobamba - Ecuador [en línea], 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 18 febrero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13251/1/86T00083.pdf>.

VÁSQUEZ, S. Implementación de un programa de protección radiológica en el laboratorio de ensayos no destructivos, laboratorio de ensayo de materiales y mecánica de suelos y rocas, laboratorio de análisis mineralógico y difracción de rayos x y en el servicio de radiodiagnóstico (Trabajo de titulación) (Biofísica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Física y Matemática, Riobamba - Ecuador [en línea], 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17084/1/CD-7659.pdf>.

VILLAREAL, V. *Estudio comparativo en mamografía digital versus tomosíntesis en pacientes de 40 a 50 años realizado en el centro «IMADE» de la ciudad de Quito de enero a abril del 2015* [en línea], 2016. S.l.: s.n. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8216/1/T-UCE-0006-067.pdf>.

WILEY, B., ELEID, M. & THADEN, J. *Técnicas de fusión de imagen en los procedimientos intervencionistas*. 1 mayo 2018. S.l.: Ediciones Doyma, S.L.

ZAMORANO, E., et al. Sociedad Valenciana de Protección Radiológica y Radiofísica «Manual de procedimientos de control de calidad en radiodiagnóstico» (2002).



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

ANEXO A: IMAGEN DEL POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE COLIMACIÓN.



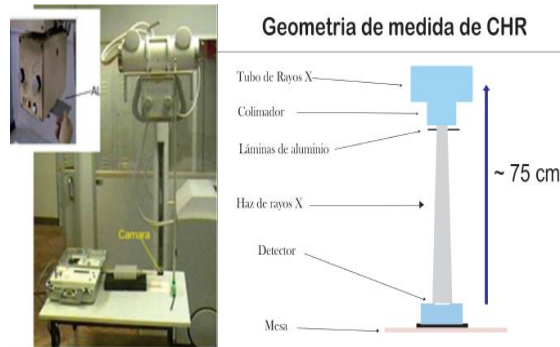
Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO B: IMAGEN DEL POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO MEDIDOR DE TIEMPO DE EXPOSICIÓN.



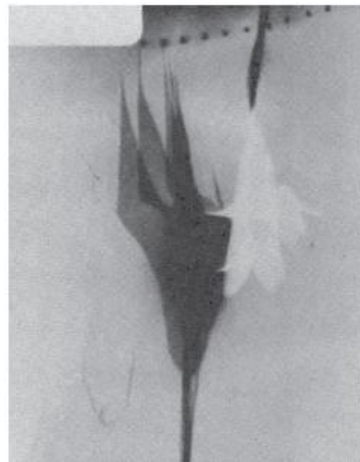
Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO C: ESQUEMA EXPERIMENTAL PARA LAS MEDIDAS DE LA CAPA HEMIRREDUCTORA (CHR).



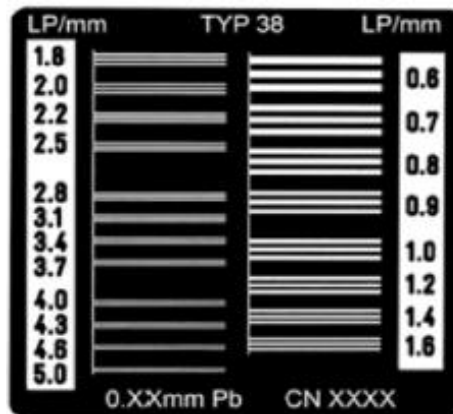
Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO D: RADIOGRAFÍA DELANTERA DE UN MANDIL PLOMADO MAL CUIDADO.



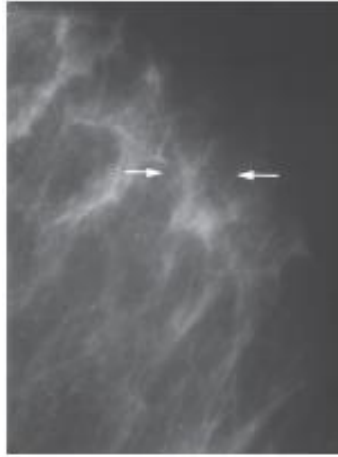
Fuente: (Bushong 2010)

ANEXO E: IMAGEN DE UN EJEMPLO DE OBJETO DE PRUEBA DE PARES DE LÍNEAS.



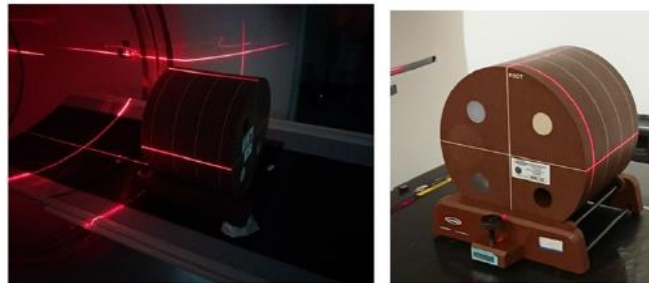
Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO F: MANCHAS ORIGINADAS POR MOTAS ATRAPADAS ENTRE LA PELÍCULA Y LA PANTALLA.



Fuente: (Bushong 2010)

ANEXO G: IMAGEN DEL MANIQUÍ CON LA ALINEACIÓN CON LOS LÁSERES.



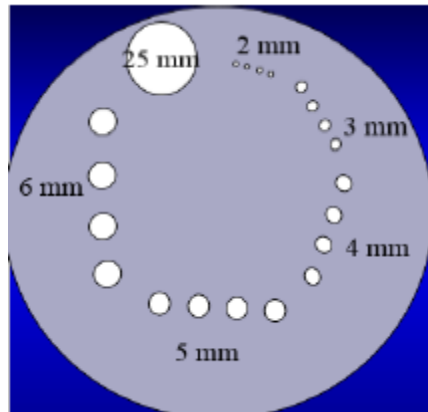
Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO H: PELÍCULA EN EL SOBRE CON LOS ORIFICIOS EN LA RECTA TRAZADA.



Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO I: ESQUEMA DEL MANIQUÍ PARA EVALUACIÓN DE BAJO CONTRASTE.



Fuente: (MERNNR 2020)

ANEXO J: ARTICULO CIENTÍFICO PUBLICADO EN LA REVISTA POLO DEL CONOCIMIENTO.

Análisis de los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador

Analysis of procedures for quality assurance in medical radiodiagnosis in Ecuador

Gabriel Leonardo Cevallos-Córdova ^I
gabo_ceval@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2501-3110>

Miguel Angel Sáez-Paguay ^{II}
miguel.saez@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0705-5402>

Vilma Nohemí Yanchapanta-Bastidas^{III}
vilma.yanchapanta@epoch.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0001-9875-7607>

Joselyn Tatiana Hernández Solís
Jocita2304mail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5095-453X>

Correspondencia: gabo_ceval@hotmail.com

Ciencias Exactas

Artículo de revisión

- I. Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador
- II. Magister en Física, Biofísico y Docente de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador
- III. Magister en Física Médica, Biofísica y Docente de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador
- IV. Investigadora independiente

Resumen

El presente trabajo de revisión científica tiene como objetivo el estudio de los principales controles de calidad para equipos de radiodiagnóstico, la generación de rayos X y los efectos biológicos que se producen al interactuar la radiación ionizante con los sistemas biológicos. Con el descubrimiento de los rayos X realizado por el físico alemán Wilhem Roentgen en el año 1958 y la aplicación que se le otorgó en la medicina, se observó tiempo después efectos dañinos en la salud de las personas expuestas a este tipo de radiación. Estudios realizados posteriormente a la aparición de lesiones, determinaron que existen dos tipos de efectos asociados a la radiación, los efectos estocásticos, son aquellos que ocurren a bajas tasas de dosis y no tienen asociado un umbral de dosis, y los efectos determinísticos, el cual está ligado íntimamente a la dosis de radiación recibida y tienen asociados un umbral de dosis. La importancia de realizar los controles de calidad radica en garantizar al paciente que los equipos están funcionando de manera correcta, esto con la finalidad de que al momento de realizar el examen diagnóstico cumpla con los parámetros de protección radiológica emitidos por entidades nacionales e internacionales y minimizar como razonablemente sea posible la presencia de efectos que sean dañinos para su salud; y el examen contribuya de manera positiva al tratamiento de su enfermedad.

Palabras clave: control de calidad, radiación ionizante, efectos biológicos, optimización.

Abstract

The objective of this scientific work review is to study the main quality controls for radiodiagnostic equipment, the generation of x-rays and the biological effects that occur when ionizing radiation interacts with a biological system. With the discovery of x-rays made by the German physicist Wilhem Roentgen in 1958 and the use of this with medicine, harmful effects on the health of people exposed to this type of radiation were found some time later. Studies carried out after the appearance of the effects, determined that there are two types of effects associated with radiation, the stochastic effects, are those that occur at low dose rates and do not have an associated dose threshold, and the deterministic effects, of which is closely linked to the radiation dose received and has a dose threshold associated with it. The importance of carrying out quality controls lies in guaranteeing the patient that the equipment is working correctly, this is so that at the time of performing the diagnostic examination it complies with the radiological protection parameters issued by national and international entities to minimize as reasonably possible the presence of effects that are harmful to your health; and so that the examination contributes positively to the treatment of your disease.

Keywords: quality control, ionizing radiation, biological effects, optimization

Introducción

En el Ecuador la utilización de las radiaciones ionizantes con fines diagnósticos forma parte de uno de los aspectos más importante de ayuda para la detección de enfermedades que están asociadas a diferentes patologías clínicas; dentro del proceso de obtención de imágenes existen tres elementos básicos: el equipo de rayos X el cual es el encargado de generar la radiación ionizante; el paciente, individuo que atenúa la radiación generada por el equipo de rayos x y por último el receptor de imagen, el cual es capaz de proporcionar una imagen de alta calidad.

Es así que la obtención de imágenes diagnósticas ha contribuido de manera significativa en el ámbito de la medicina a lo largo del tiempo, y ha permitido a varios científicos del mundo ser acreedores del premio Nobel, como por ejemplo Roentgen en 1901 y Pierre y Marie Curie en el año de 1903 (Ramírez 2019).

El objetivo principal de un estudio radiológico es obtener la imagen, para lo cual la Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que, el estudio debe proporcionar una alta calidad de imagen, con una mínima exposición del paciente a las radiaciones ionizantes (OMS 2016); en este punto la dosis impartida al paciente y al personal que por su situación de trabajo está expuesta a la radiación ionizante, juega un papel muy importante, ya que muchos estudios demuestran que a diferentes tasas de dosis se pueden presentar diferentes efectos dañinos para la integridad física del ser humano (Ubeda et al. 2019).

Los efectos que puede ocasionar la radiación ionizante al interactuar con un sistema biológico se los ha dividido en dos, estocásticos y determinísticos (Badel et al. 2018a); de esta manera resulta muy necesario la implementación de un control de calidad para los diferentes equipos de radiodiagnóstico existentes en el país, esto permitirá comprobar de una manera técnica y científica el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del equipo, para esta finalidad se realizara varias pruebas.

Estas pruebas realizadas a los equipos de radiodiagnóstico permiten asegurar la calidad de los procedimientos y métodos a los cuales los pacientes, que por su condición de salud, están expuesto a la radiación ionizante (Cáceres et al. 2015); las pruebas están basadas en protocolos internacionales que han sido revisados de manera detallada por profesionales capacitados, específicamente Físicos Médicos. La ejecución de estos controles de calidad ha proporcionado resultados positivos, lo cual permite al profesional tener resultados con una alta fiabilidad diagnóstica, y a su vez brindar al paciente la seguridad que está protegido durante el proceso de obtención de la imagen.

Metodología

Al ser un trabajo de revisión científica se basó en la búsqueda bibliográfica de diferentes tipos de textos científicos, como por ejemplo artículos científicos, tesis, libros, reportes científicos, etc., con temáticas relacionadas al tema “Análisis de los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador”, para lo cual se utilizó ciertas técnicas, en las que se enmarca el análisis cualitativo, que ayuda a analizar y sintetizar toda la información recolectada, proporcionando un conocimiento profundo sobre un tema en específico. La búsqueda se realizó principalmente en las revistas de libre acceso que se encuentran en la red, como Scielo, Scopus, Science, Polo del Conocimiento, Elsevier, Redalyc, Springer, el denominador común fue encontrar revistas de carácter científico técnico enfocado en temas de interés de la investigación.

Desarrollo

Descubrimiento de los rayos X

En 1895 el físico alemán Wilhem Roentgen descubrió de forma accidental los rayos X, mientras realizaba el estudio de los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseoso de alto voltaje (tubo de Crookes), a pesar de que el tubo se encontraba en una caja negra, observó un fenómeno de fluorescencia en una placa de platinocianuro de bario que se encontraba cercana al tubo, tras realizar varios experimentos determinó que dicha fluorescencia se debía a un tipo de radiación más penetrante que los rayos ultravioleta, a los cuales les denominó rayos X, lo cual hacía referencia a lo desconocido de dicha radiación (De Alba, Casián y De Alba 2019).

Producción de los Rayos X

La producción de la radiación X se da en el interior del tubo, dentro del cual se encuentran dos partes principales el ánodo y el cátodo, gracias a la interacción de una diferencia de potencial con el filamento (cátodo) se produce electrones acelerados los cuales toman el nombre de electrones proyectil, dichos electrones viajan a través del vacío generado en el tubo, con la finalidad de que no pierdan energía cinética y alcancen su máxima velocidad. Los electrones proyectil al interactuar con el blanco (ánodo), el cual está conformado por un material metálico con un alto número atómico, que generalmente es tungsteno o wolframio, transfieren su energía cinética a los electrones orbitales de los átomos del blanco, dando lugar a la generación de la radiación x, la cual se divide en radiación característica y bremsstrahlung (Guzmán 2018).

Clasificación de la radiación ionizante de radiación ionizante

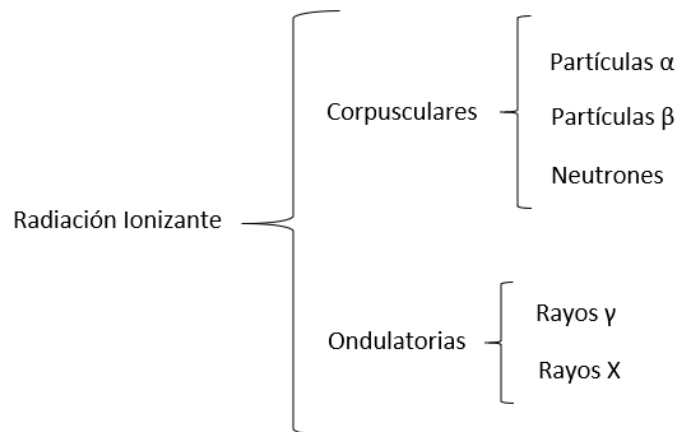


Figura 7: Clasificación de la radiación ionizante

Fuente: Elaboración propia

- La radiación alfa, son partículas cargadas positivamente, similares a una partícula de helio, que está compuesta de dos protones y dos neutrones, es decir que cuando un núcleo emite una partícula α , su número atómico (Z) disminuye dos unidades y su número atómico (A) disminuye en cuatro unidades. Para atenuar este tipo de radiación basta con una hoja de papel, por la razón de que su poder de penetración es muy bajo (Herranz 2019).
- La radiación beta, presenta tres procesos de desintegración: desintegración beta negativo (β^-) que es la emisión de un electrón; beta positiva (β^+) que es la emisión de un positrón y por último la captura electrónica, que se caracteriza por la captura de un electrón por parte del núcleo atómico (Carpio 2016).
- La radiación gamma, se caracteriza por su gran poder de penetración, es similar a los rayos X, este tipo de radiación se produce cuando el núcleo se encuentra en un nivel excitado y al momento de pasar a un nivel energético menor, emite fotones de alta frecuencia y energía, el elemento no cambia su composición. Para atenuar este tipo de radiación se necesita de materiales con una alta densidad como por ejemplo el plomo o el hormigón (Vallejo 2019).

Efectos biológicos de la radiación ionizante

Dentro de la biología hay una rama que se especializa en estudiar los efectos que la radiación ionizante produce al momento de interactuar con el tejido biológico, a la cual se la denomina radiobiología, dichos efectos se clasifican en somáticos, que se producen cuando el individuo ha sido expuesto a radiación, y hereditarios, si los efectos se presentan en la descendencia. Los efectos hereditarios a su vez se clasifican en efectos estocásticos y efectos determinísticos (Puerta y Morales, Javier 2020). Los efectos deterministas, se producen como consecuencia de una elevada tasa de muerte celular que experimenta un órgano o un tejido, lo que provoca que pierda su funcionalidad; la gravedad de estos efectos está ligado íntimamente a la dosis de radiación recibida (Gonzales 2020), la cual debe superar el umbral dosis que se establece en diferentes

estudios para la aparición de dichos efectos, y se presentan a mediano o corto plazo. La radiosensibilidad juega un papel importante en este tipo de efectos, debido a que la radiación afecta en mayor proporción a organismos que se encuentran en desarrollo a diferencia de los organismos adultos. En los efectos estocásticos, la célula que ha sido irradiada puede no morir, esto implica que puede verse modificada, es decir mutada, lo que conllevaría a la aparición de dicho efecto. Si dichas mutaciones afectan a las células germinales, estos podrían transmitirse a la siguiente generación. Los efectos estocásticos somáticos ocurren a bajas tasas de dosis, no tienen umbrales de dosis específicos y la gravedad depende de a qué tipo de células ha sido afectado (Dias et al. 2019).

Magnitudes de protección radiológica

Son magnitudes físicas que evalúan la dosis de exposición, se basan en el depósito de energía tanto en órganos y en tejidos que conforman el cuerpo humano (Ubeda de la Cerda et al. 2018).

- La dosis equivalente (H_T), resulta de impartir dosis en órganos, es el producto entre la dosis absorbida y un factor de ponderación (W_R), el cual está asociado al tipo de partícula con la cual se está irradiando (Vásconez 2019).
- Dosis absorbida (D_T), es el cociente entre la energía impartida en un cierta masa de tejido, su unidad viene representada por el Gray (Gy) (Montesdeoca 2017).
- Dosis efectiva (E), resulta del producto de la dosis equivalente por el factor de ponderación asociado a cada uno de los órganos (W_T), se representa en unidades de Sievert (Sv) (Consejo de Seguridad Nuclear 2013).

Clases de equipos de radiodiagnóstico

El avance en materia de tecnología radiológica ha permitido que, en el país, dentro de los centros hospitalarios privados y públicos, se cuente con varios equipos de radiodiagnóstico para aplicaciones específicas. El equipo de mamografía se utiliza específicamente para la obtención de imágenes de la mama, las cuales son fundamentales para prevenir y diagnosticar el cáncer. Su importancia radica en que puede detectar lesiones pequeñas, incluso en el orden de los milímetros asegurando la posibilidad de un tratamiento definitivo exitoso y simple (Villareal 2016). La tomografía computarizada, es un estudio que tiene la facultad de reconstruir planos axiales, planos transversales y sagitales, dando lugar a una imagen en tres dimensiones producto de varios procesos informáticos, por medio de un ordenador potente (Espitia, Mejía y Arguello 2016). Los equipos convencionales, son los más comunes y son utilizados en radiología general, para obtener imágenes diagnósticas tanto en partes blandas como en huesos (Pifarré et al. 2012). Por último, los equipos dentales están especialmente diseñados para obtener imágenes de piezas dentales, que ayudan al odontólogo con información importante para un correcto diagnóstico y tratamiento del paciente (Barba, Ruiz y Hidalgo 2020).

Control de calidad en radiología general

- *Levantamiento Radiométrico*

El objetivo de realizar esta prueba es verificar que las condiciones en el ámbito de la protección radiológica se cumplan y evaluar los niveles de exposición a los cuales están expuestos el personal y el público. Este control se lo debe realizar al inicio del funcionamiento del equipo, cada cuatro años y después de realizar cualquier modificación que afecte alguno de los parámetros de la protección radiológica. Los instrumentos utilizados para realizar esta prueba son: una cámara de ionización de 1800 cc debidamente calibrada, láminas de PMMA que tenga medidas aproximadas al tórax de un adulto y una cinta métrica. Dentro de la metodología se debe realizar un croquis en el cual debe constar un esquema a escala de la sala de rayos x, donde se debe especificar el tubo y las salas adyacentes, donde pueden estar expuestos a radiación ionizante (MERNNR 2020), (IAEA y ARCAL 2001).

- ***Inspección visual de la instalación***

La realización de esta prueba tiene como objetivo comprobar que todos los componentes del equipo se encuentren en óptimas condiciones para realizar el estudio radiodiagnóstico, la periodicidad con la que se debe realizar dicha prueba debe ser diaria y antes de iniciar a utilizar el equipo. El procedimiento es el siguiente: primero se debe verificar visualmente el estado de todos los componentes del equipo (mesa, soporte del tubo de rayos de X, estado de los cables); después comprobar el correcto funcionamiento mecánico de los colimadores, frenos del soporte del tubo de rayos X, y, por último; verificar el correcto funcionamiento de los indicadores de exposición. Como tolerancia se toma el funcionamiento normal de todos componentes del equipo, en caso de presentar algún daño debe comunicarse con el servicio de mantenimiento para su posterior reparación (CCEEM 1998).

- ***Sistema de colimación del haz y perpendicularidad del rayo central***

El objetivo de la prueba es verificar que el sistema de colimación del equipo no permita que el haz de radiación se encuentre fuera de los bordes del campo luminoso y evaluar la perpendicularidad del eje central de radiación en relación con el centro de la imagen. La frecuencia con la que se debe realizar esta prueba es al inicio, semestral y después de realizar cualquier tipo de cambio. Los instrumentos que se utilizan son los siguientes: chasis cargado con película radiográfica, cinta métrica, placa con marcas radiopacas que cuente con ejes ortogonales con su respectiva escala para evaluación del colimador y un cilindro acrílico que contenga esferas radiopacas tanto en la cara superior como inferior. Para realizar la prueba se debe colocar sobre la mesa la placa con marcadores radiopacos, posterior a esto garantizar que el tubo se encuentre nivelado y con una distancia foco-película de 100 cm, centrar la placa con el cilíndrico acrílico, realizar una exposición con parámetros técnicos apropiados y finalmente revelar la película y verificar que la imagen sea adecuada, caso contrario repetir la prueba con parámetros técnicos diferentes. Para verificar que la perpendicularidad del haz es correcta observar la ubicación de la imagen de la esfera superior que se encuentre dentro del círculo interno y sea menos a 3^0 y para el sistema de colimación medir la distancia entre el campo luminoso y el centro de campo de

radiación, dicha distancia debe ser menor al 2% de la distancia foco – película utilizada para realizar la prueba (Pifarré et al. 2012), (MERNNR 2020).

- ***Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición***

La ejecución de esta prueba tiene como finalidad determinar la exactitud del tiempo de exposición, de tal manera que al repetir los resultados obtenidos no varíen, la periodicidad con la que se debe realizar la prueba es inicial, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio que pueda afectar dicho parámetro. Los materiales que se utilizan son, un medidor de tiempo de exposición, una cinta métrica y una lámina de cobre de aproximadamente 1 mm; el paso a seguir es colocar el medidor sobre la mesa de tal manera que el campo de radiación cubra el volumen sensible del equipo de medición, posterior a esto fijar valores de tensión, corriente y tiempo, se recomienda realizar al menos cinco exposiciones y anotar el tiempo medido en cada exposición. Los valores de tolerancia de la exactitud debe ser $\leq \pm 10 \%$ y para la repetibilidad su valor debe ser $\leq 10\%$, en caso de que algunos de estos valores no sea aceptable debe ponerse en contacto con el servicio de mantenimiento (Zamorano et al. 2002), (MERNNR 2020).

- ***Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x***

El objetivo de esta prueba es comprobar que el valor de tensión del tubo sea exacto y repetible, para cualquier valor de corriente seleccionado, esta prueba se debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio o reparación que afecte este parámetro. El equipo utilizado en esta prueba es un kilovoltímetro no invasivo y una cinta métrica. Para iniciar con el procedimiento se debe colocar el equipo a una distancia recomendada por el manual del equipo, efectuar cuatro exposiciones con los parámetros de kilovoltaje (kVp) y miliamperaje (mA) más utilizados en las practicas clínicas y anotar los valores de kVp, estos valores deben estar dentro de los parámetros de aceptación, los cuales son, para la exactitud es $< \pm 10 \%$ y para la repetibilidad es $< \pm 5\%$, en caso de no estar dentro de los valores de aceptación comunicarse con el servicio técnico (Pifarré et al. 2012), (CCEEM 1998).

- ***Capa Hemirreductora***

La finalidad de realizar esta prueba es asegurar que el equipo cuente con la filtración adecuada de acuerdo con los parámetros mínimos, para que el paciente no reciba una dosis innecesaria a nivel de la piel, la periodicidad con la se la debe realizar es al inicio, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio. Para realizar esta prueba los materiales a utilizar son, sistema dosimétrico correctamente calibrado, que puede ser una cámara de ionización o un semiconductor, filtros de aluminio de una alta pureza y una cinta métrica. Para iniciar la prueba colocamos el equipo a una distancia menor a 10 cm, esto con la finalidad de evitar la contribución de la radiación dispersa, como paso siguiente colocar el sistema dosimétrico a una distancia de

70 a 100 cm del foco del tubo y dejar que se estabilice el equipo, posterior a esto efectuar una exposición sin filtro, de la misma manera sin cambiar la geometría colocar la lámina de aluminio de diferentes espesores, comprendido entre 0 a 4 mm en la salida del tubo y realizar la exposición con los mismos parámetros anteriormente seleccionados, esto se debe repetir hasta que la lectura nos dé un resultado por debajo del 50% del valor que se obtuvo sin el filtro, para garantizar que no hubo variación, retirar todos los filtros y proceder a realizar una exposición adicional. El valor de la capa debe ser $> 2.5\text{mm}$, en caso de que el resultado no esté dentro del valor aceptable, ponerse en contacto con el servicio de mantenimiento (MERNNR 2020), (Zamorano et al. 2002).

- ***Rendimiento, repetibilidad y linealidad de la exposición***

El objetivo de realizar esta prueba es evaluar el valor de kerma en aire para un miliamperaje dado, así como la linealidad y repetibilidad del tubo de rayos X, la frecuencia con la que se debe realizar la prueba es al inicio, cada año y posterior a cualquier cambio. Los equipos que se utilizan para realizar la prueba son: un dosímetro de radiación de alta precisión correctamente calibrado, cinta métrica y un medidor de presión y temperatura. Para iniciar la prueba se debe colocar el sistema dosimétrico a una distancia aproximada de 10 cm de la mesa y a 100 cm del foco del tubo de rayos X, preparar el sistema dosimétrico con los parámetros establecido por el fabricante y dejar que se estabilice, como siguiente paso, medir la presión y temperatura tanto al inicio como al final de la prueba, seleccionar los parámetros de voltaje y miliamperaje, posterior a esto, realizar la exposición, repetir mínimo tres veces, después, manteniendo la misma geometría y el valor de kVp seleccionado, realizar tres mediciones adicionales con distintos valores de miliamperaje. El resultado de la repetibilidad tiene una tolerancia de $\pm 10\%$, y la linealidad entre dos puntos consecutivos del rendimiento debe tener un valor $\leq 10\%$, y por último el valor del rendimiento debe tener un valor $> 25 \mu\text{Gy/mAs}$. En caso de que alguno de estos valores no estén dentro de los parámetros aceptables, comunicarse con el servicio de mantenimiento (Bushong 2010) (MERNNR 2020).

- ***Tamaño del punto focal***

La finalidad de realizar la prueba es evaluar el tamaño del punto focal del tubo de rayos X y verificar que coincidan con los valores nominales; la frecuencia con la que se realiza esta prueba es al inicio, cada año y cada vez que el tubo de rayos X sea remplazado. Los materiales utilizados para realizar esta prueba son: un patrón de estrellas o un dispositivo para medir el tamaño del punto focal con patrón de barras, la elección de utilizar uno u otro dispositivo depende del técnico; cinta métrica, lupa, medidor de nivel, marcadores de plomo y chasis cargado sin pantalla. Para dar inicio a la prueba con el patrón de estrellas se debe comprobar que el tubo de rayos X esté a nivel con la mesa, posterior a esto, colocar el chasis cargado encima de la mesa y posicionar el patrón de estrellas a la salida del colimador, después comprobar que el rayo central incida en el centro de la película radiográfica, seleccionar los parámetros de kVp y mA que son utilizados en los diversos casos clínico, procesar la película de manera normal y determinar el factor de

magnificación, finalmente calcular el tamaño del punto focal. Para el caso del patrón de barras colocar la película radiográfica dentro de un cassette, sin la presencia de un intensificador de pantalla, posterior a esto colocar a una distancia foco- película de 61 cm, lo cual asegura una distancia de 46 cm entre el patrón de barras y el tubo de rayos X, luego seleccionar los parámetros de kVp y mA de aproximadamente 80 y 10 respectivamente, finalmente procesar la película y mediante la ayuda de la lupa identificar en la imagen el menor grupo de barras paralelas (IAEA y ARCAL 2001).

- ***Indumentaria de protección***

El objetivo de realizar esta prueba es verificar que la indumentaria de protección mandiles, collarines, protector de gónadas, estén en óptimas condiciones de uso, esta prueba se la debe efectuar por lo menos una vez al año. Para constatar su estado, se debe realizar una radiografía, ya que se si la ropa después de haber realizado el estudio presenta grietas, rasguños o agujeros, se debe sustituir de manera inmediata (Bushong 2010).

- ***Resolución espacial de alto contraste***

El realizar esta prueba tiene como finalidad evaluar la resolución espacial del sistema a partir de la medida que se realiza al grupo de pares de líneas por milímetro (pl/mm), esta prueba se realiza al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio. Los materiales que se utilizan para realizar esta prueba son, objeto de prueba de pares de líneas, lámina de aluminio de 1 mm de espesor y una cintra métrica. Para iniciar la prueba se debe colocar el objeto de prueba en el centro de campo de radiación, girado 45° sobre el sistema de imagen, después, se procede a colocar la lámina de aluminio a la salida del tubo de rayos X y efectuar una exposición con parámetros comprendidos entre 50 y 60 kVp. Los valores resultantes deben ser $\geq 2,4$ pl/mm, en caso de anomalía repetir la prueba y si los resultados persisten, comunicarse con el servicio de mantenimiento del equipo (Sefm, Sepr y Seram 2011), (MERNNR 2020).

- ***Umbral de sensibilidad a bajo contraste***

El objetivo de esta prueba es evaluar el grado de sensibilidad que tiene el sistema para objetos de bajo contraste, la periodicidad con la que se debe realizar esta prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio en el equipo. Para la ejecución de esta prueba se utilizará un objeto de prueba de bajo contraste y materiales atenuadores como el cobre de un espesor aproximado de 1mm o láminas de aluminio de 0.25 mm de espesor. Para iniciar la prueba se procede a colocar el objeto a una distancia de 100 cm del foco de rayos X, posicionar el material atenuador a la salida del tubo y realizar una exposición con parámetros de 70 kVp y 10 μ Gy para equipos DR (radiodiagnóstico digital) y 70 kVp con un miliamperaje comprendido entre 5 y 10 para equipos CR (radiodiagnóstico convencional). Para constatar que los valores sean aceptables debe cumplir con las especificaciones del fabricante, en caso de no cumplir, repetir la prueba y si

los valores aún persisten debe comunicarse con el servicio técnico (Sefm, Sepr y Seram 2011) , (IAEA y ARCAL 2001).

Limpieza de pantallas radiográficas intensificadoras

La realización de esta prueba tiene como objetivo verificar la limpieza y ausencia de cualquier defecto, la frecuencia con la que se debe limpiar depende directamente de la carga de trabajo, pero se recomienda por lo menos una vez al mes o después de cualquier golpe o caída. Para proceder a la limpieza se debe utilizar un paño que no deje pelusas con una solución limpiadora proporcionada por el fabricante, en caso de que presente alguna imperfección se debe reemplazar de manera inmediata (Bushong 2010) (MERNNR 2020).

Sensibilidad del control automático de exposición (CAE)

La finalidad es verificar la sensibilidad del CAE, la frecuencia con la que se debe realizar la prueba es al inicio, cada tres meses y después de realizar cualquier cambio. Los materiales que se necesita son: un densitómetro y material atenuador como, por ejemplo, láminas de cobre o laminas PMMA (polimetacrilato). Para dar inicio a la ejecución de la prueba debe estar centrado el tubo de rayos X con el Bucky, luego cubrir la salida del tubo de rayos X con el material atenuador y realizar una exposición y seleccionar uno de los sensores, finalmente registrar el mili amperaje y el índice de exposición. Estos valores deben ser ≤ 50 % de los valores iniciales, en caso de inconformidades en los valores deberá comunicarse con el servicio de mantenimiento (Pifarré et al. 2012), (MERNNR 2020).

- ***Compensación del CAE para distintos espesores y tensiones***

El objetivo es comprobar el nivel de respuesta del CAE con respecto a diferentes valores de espesores y tensiones, la periodicidad recomendada para realizar esta prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio en el equipo. Los materiales que se utiliza son un atenuador con espesor equivalente al de un paciente, con dimensiones que logren cubrir el detector y un densitómetro. Para verificar la compensación para diferentes valores de tensiones se debe seleccionar la cámara central y reducir el espesor del material atenuador que se va a utilizar, después se procede a realizar cuatro exposiciones con diferentes valores de kVp, se recomienda que dichos valores se encuentren dentro del rango diagnóstico; los valores obtenidos en la densidad de la película no debe variar en más de $\pm 0,2$ DO en valores comprendidos entre 60 – 120 kVp, finalmente, para comprobar la compensación para diferentes espesores se debe mantener seleccionada la cámara central con un valor de tensión de 80 kVp y variar los espesores del material atenuador entre 10 y 30 cm, los valores de densidad no deben ser mayores a $\pm 0,2$ DO. En caso de tener valores no aceptables comunicarse con el servicio de mantenimiento (Sefm, Sepr y Seram 2011) (Pifarré et al. 2012).

Control de calidad en mamografía

- ***Inspección visual del equipo***

La finalidad es constatar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos del mamógrafo, esto se debe llevar a cabo al inicio del funcionamiento del equipo, diario y después de realizar cualquier cambio. Para realizar la prueba se utiliza un medidor de nivel, medidor de temperatura y una cintra métrica, con estos elementos se debe verificar que los tubos y cables estén en óptimas condiciones de uso, es decir que no tenga ningún tipo de rupturas, fisuras, nudos; de igual manera comprobar que al momento de realizar un movimiento angular sea suave y verificar que la temperatura de la habitación donde se encuentra el equipo sea la recomendada por el fabricante. Si alguno de los componentes presenta algún tipo de daño ya sea mecánico o eléctrico, deberá contactarse con el servicio de mantenimiento (IAEA y ARCAL 2006) (MERNNR 2020).

- ***Limpieza del cuarto oscuro***

El objetivo es propiciar una correcta limpieza del cuarto oscuro con la finalidad de reducir al máximo los posibles artefactos en las radiografías, esto se lo debe realizar todos los días antes de dar inicio la jornada de trabajo. Para efectuar esta prueba se debe utilizar un paño, un balde y un pedazo de tela que no desprenda pelusas, posterior a esto se procede a limpiar todas las superficies donde se realiza el trabajo, pisos, mesas, así como la bandeja donde se aloja la película. Se recomienda también aspirar las rejillas de los conductos de ventilación por lo menos una vez a la semana. Como consideraciones a tomar, las paredes del cuarto oscuro deben estar pintadas con una tonalidad mate y mantener las manos siempre limpias y secas, ya que cualquier factor, ya sea polvo o manos sucias, contribuyen a los artefactos en la imagen y posterior se podría producir un mal diagnóstico (Machado et al. 2013), (Blanco et al. 2015).

- ***Almacenamiento de películas***

En esta prueba se va a considerar tres factores: temperatura, humedad y nivel de radiación, con el objetivo de verificar el lugar de donde se están almacenando las películas. La frecuencia con la que se debe hacer es cada semana y como mínimo cada mes. Los equipos que se utiliza para realizar esta prueba son un termómetro, un higrómetro y un dosímetro de área. Los valores tolerables para la temperatura están entre 20 – 25 °C, para la humedad de 40 a 60 % y los niveles de radiación deben estar por debajo de los 20 µGy/semana. Si alguno de los parámetros no se encuentra dentro de los límites aceptables, se debe investigar las causas y hacer las correcciones que amerite (Blanco et al. 2015), (IAEA y ARCAL 2006).

- ***Hermeticidad de los chasis***

Al realizar esta prueba se debe lograr verificar la hermeticidad de los chasis, esto se debe hacer al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio, los materiales que se utiliza son: el conjunto chasis pantalla y las películas radiográficas. Para dar inicio a la prueba, se coloca el chasis cargado en lugar donde haya una buena iluminación, este proceso se debe hacer durante una hora a ambos lados del chasis, después se procede a extraer la película en el cuarto oscuro realizando una marca con la finalidad de identificar a qué lado se encontraba dentro del chasis,

posterior a esto procesar la película y colocar en el negatoscopio para observar si hay un ennegrecimiento en los bordes específicamente, para inmediatamente medir el tamaño de las zonas. Los tamaños de las zonas ennegrecidas deben ser ≤ 0.5 cm, en caso de presentar ennegrecimiento en la parte central de la película, desechar el chasis (Machado et al. 2013), (MERNNR 2020).

- ***Contacto película-pantalla***

El objetivo es comprobar que no exista ningún artefacto que produzca un mal contacto entre la película y pantalla, es decir, que haya uniformidad; esta prueba se debe realizar al inicio, cada seis meses y después de cualquier tipo de cambio. El material que se utiliza es una rejilla de cobre de dimensiones 24x30 cm, como primer paso se procede a cargar una película en el chasis colocando el objeto de prueba en la parte superior del chasis, luego realizar una exposición que contenga los parámetros de densidad óptica de la imagen entre 1.5 y 2 DO (densidad óptica), posterior a esto colocar la imagen en el negatoscopio y observar si la imagen está borrosa. No se debe observar ningún tipo de artefacto debido al mal contacto, en caso de haber se aceptan manchas ≤ 5 mm en los bordes; si después de realizar la limpieza respectiva no hay mejoría, la pantalla deberá ser desechada (IAEA y ARCAL 2006) (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Coincidencia del campo de radiación-película***

El objetivo es evaluar la coincidencia que existe entre el campo de radiación y el receptor de la imagen, la frecuencia con la que se realiza la prueba es al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio. Para la ejecución, se utiliza seis marcadores radiopacos (5 que posean las mismas dimensiones y otro más grande), una regla, dos chasis cargados de preferencia que sea uno pequeño y uno grande. El procedimiento para llevar a cabo esta prueba consiste en colocar un chasis cargado en la porta chasis mientras se coloca otro chasis cargado de mayor tamaño sobre el tablero, este último chasis debe cubrir todo el tablero de manera que la distancia correspondiente a la pared del tórax sobresalga, como paso siguiente, se debe colocar los marcadores radiopacos sobre el chasis superior, realizar una exposición y procesar las dos películas. Los valores de tolerancia para la coincidencia del campo de radiación-película debe ser $\leq 2\%$ de la distancia foco-película y ≤ 5 mm del lado del tórax (IAEA y ARCAL 2006), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Exactitud y repetibilidad de la tensión del tubo de rayos x***

El objetivo es comprobar la exactitud y repetibilidad del tubo de rayos X, esta prueba se la debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio. El equipo que se utiliza es un medidor de kVp que sea de uso exclusivo para mamografía y que esté correctamente calibrado. Para dar inicio la prueba se debe colocar el medidor de kVp sobre el soporte de mama verificando que se encuentre centrado con el haz de radiación, a continuación, se debe seleccionar un valor de kVp, de preferencia que sean valores utilizados en las prácticas clínicas, posterior a esto realizar tres exposiciones y anotar el valor obtenido en cada exposición, y por último, repetir el

procedimiento para otros 2 valores distintos de kVp seleccionados. Los valores de tolerancia para la exactitud deben ser $\leq \pm 10 \%$ de la desviación máxima y para la desviación el coeficiente de variación debe ser $\leq 10\%$ (MERNNR 2020), (IAEA y ARCAL 2001).

- **Capa hemirreductora**

El realizar esta prueba tiene como fin verificar si los valores de filtración cumplen con los requisitos mínimos; la periodicidad con la que se debe realizar es al inicio, cada año y después de cualquier cambio. Los materiales que se utilizan son: una cámara de ionización adecuada para realizar mediciones en mamografía y que esté debidamente calibrada, un conjunto de filtros de aluminio con una pureza elevada (99.9%) y una cinta métrica. Para proceder a efectuar la prueba se debe posicionar la cámara de ionización a una distancia foco-cámara recomendado por el fabricante, después colocar el dosímetro a una altura de 45 mm sobre el soporte de mama y a 40 mm del borde de la pared del tórax, posterior a esto, situar la paleta de compresión a la mitad de la distancia foco-dosímetro y realizar por lo mínimo tres exposiciones, luego colocar un espesor de 3 mm de aluminio sobre la paleta de compresión y ejecutar tres exposiciones con los parámetros de exposición anteriormente establecidos. Comprobar que el resultado obtenido sea mayor a la mitad del valor obtenido sin filtro, finalmente, colocar una lámina de aluminio de un 1 mm de espesor y repetir el apartado anterior. Los valores obtenidos deben ser inferiores a la mitad del valor de la exposición. Los valores de la capa hemirreductora debe encontrarse dentro del siguiente intervalo $kVp/100 + 0,03 \leq CHR(mm Al) \leq kVp/100 + C$, en caso de que los valores obtenidos no se encuentren dentro del intervalo indicado proceder a comunicarse con el servicio de mantenimiento del equipo (MERNNR 2020) (IAEA y ARCAL 2006).

- **Fuerza de compresión**

El objetivo es comprobar que el sistema de compresión esté funcionando adecuadamente, esta prueba se debe efectuar cada año, al inicio, y después de realizar cualquier tipo de cambio que afecte al sistema de compresión. Los materiales que se va a ocupar son, una balanza de baño o algún otro tipo de equipo para medir la fuerza de compresión, y una toalla o un objeto acolchado. Para iniciar la prueba se debe colocar el objeto acolchado encima del soporte de la mama y sobre esto colocar la balanza, posteriormente activar la paleta en los parámetros máximos de fuerza de compresión y anotar los valores tanto de la balanza como la que indica el equipo. Los valores aceptables que debe arrojar el equipo en modo automático deben estar comprendidos entre 150 y 200 Newton y para el modo manual no debe exceder los 300 Newtons, en caso de los valores resultantes no sean aceptables, deberá comunicarse con el servicio de mantenimiento (MERNNR 2020), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- **Sensitometría**

La prueba consiste en comprobar que el procesador este trabajando de manera eficiente, la periodicidad de la prueba debe ser diaria y después de realizar cualquier cambio en el equipo. Los materiales que se utilizan para llevar a cabo la prueba son, un densitómetro, un sensitómetro,

películas de mamografía, negatoscopio y un termómetro. Para iniciar la prueba, verificar que el cuarto oscuro esté en condiciones aptas, después, verificar que esté limpio el procesador y colocar líquidos nuevos, comprobar que la temperatura en la que se encuentra el revelador sea la recomendada por el fabricante, posterior a esto, exponer la película por la parte que ha sido emulsionada con la utilización del sensitómetro, esto se debe repetir por lo menos 5 días con la misma película y al mismo lado de la bandeja de entrada. Medir las densidades de los cinco patrones obtenidos con la ayuda del densitómetro, posterior a esto determinar el número del paso del patrón de densidades que tiene la densidad de promedio más cercana, la diferencia entre densidades promedios de dos pasos se denomina diferencia de densidad (DD) y finalmente establecer los valores densidad media (DM), diferencia de densidad (DD) y la densidad del fondo más el velo (F+V). Las tolerancias para valores de (F+V) están entre 0.15 y 0.25 DO y para DM y DD va a ser $\text{NOI} \pm 0,15 \text{ DO}$, donde NOI es el nivel operativo inicial (IAEA y ARCAL 2006) (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Dosis glandular media (D_G)***

El objetivo es estimar la dosis glandular media a diferentes espesores, la frecuencia con la que se debe llevar a cabo la prueba es al inicio, cada año y después de cualquier cambio. La instrumentación que se necesita para efectuar la prueba es: un sistema dosimétrico debidamente calibrado y que esté apto para realizar mediciones en mamografía, un termómetro, un medidor de presión, láminas de PMMA y una cinta métrica. Para llevar a cabo la prueba se debe utilizar los factores de exposición que se encontraron al realizar la prueba del CAE, se recomienda realizar para espesores de 20, 45 y 70 mm; para equipos analógicos solo se debe evaluar el espesor de 45 mm y para equipos digitales los tres espesores, posterior a esto, se determina la distancia foco-soporte y se procede a colocar el dosímetro debajo de la paleta de compresión a una altura estimada de 45 mm sobre el soporte de la mama, después utilizar un valor de kVp y una combinación ánodo filtro para los diferentes espesores y realizar la exposición (Zamorano et al. 2002) (Sefm, Sepr y Seram 2011).

Control de calidad en tomografía

- ***Coincidencia de los indicadores luminosos y coincidencia del indicador luminoso interno con el haz de radiación***

La finalidad de efectuar la prueba es comprobar que los indicadores luminosos se encuentren a una distancia correcta, esta prueba se la debe realizar al inicio, cada seis meses y después de realizar cualquier cambio. Los instrumentos que se utiliza para realizar la prueba son: un objeto que contenga hilo metálico en su superficie o un maniquí que posea marcadores radiopacos que sean visibles externamente, una película radiográfica que se haya utilizado en radioterapia, instrumento punzante y una cinta métrica. Para llevar a cabo la prueba con el maniquí se debe centrar el objeto con el haz de luz externo y paralelo al plano tomográfico y se procede a desplazar el maniquí en el plano tomográfico verificando que esté alineado con el haz interno de luz,

finalmente se procede a efectuar un barrido axial con un espesor de corte fino. El método alternativo para realizar la prueba es utilizando la película radiográfica, para lo cual se procede a colocar un soporte fijo donde se aloja la película, después, se alinea el sobre a la altura del isocentro y se traza una línea horizontal, con la finalidad de hacer coincidir con el láser externo, después, se desplaza la mesa hacia la posición de inicio de barrido, para luego medir la distancia que existen entre el láser interno y la recta; con la ayuda de un objeto punzante hacer unos orificios en la recta trazada y exponer la película en modo axial utilizando un corte estrecho, para finalmente procesar la película. La prueba con el maniquí es aceptable cuando la longitud total del hilo metálico es visible con un alto contraste y para la prueba con la película radiográfica, la distancia entre el orificio y el punto medio del campo de radiación es $\leq \pm 5$ mm (MERNNR 2020), (Pifarré et al. 2012).

- ***Desplazamiento de la mesa***

El objetivo es comprobar que el movimiento de la mesa sea adecuado cuando está bajo el peso de un paciente, la frecuencia con la que se debe llevar a cabo la prueba es cada año, al inicio y después de realizar cualquier cambio. Los materiales que se utiliza para efectuar la prueba son: una hoja de papel milimétrico, y una cinta adhesiva. Para iniciar la prueba se debe marcar sobre el papel una línea de referencia y hacer que coincida la línea trazada con el indicador luminoso externo, después, cargar la mesa con un peso aproximado de 70 a 80 Kg y efectuar un desplazamiento de mínimo 30 cm, posterior a esto, anotar la diferencia que existe entre la distancia recorrida y la indicada por el gantry. Para verificar que es un valor aceptable la variación de la entre la distancia reportada por el gantry y la distancia recorrida debe ser ± 2 mm (Zamorano et al. 2002), (IAEA y ARCAL 2001).

- ***Espesor de corte efectivo***

El fin con el que se realiza esta prueba es determinar el espesor verdadero de la imagen, esta prueba se la debe realizar por lo menos una vez al mes. Los materiales que se utiliza son: un simulador con trampa de aluminio o cobre, o una película radiográfica en caso de no tener disponibilidad del simulador, y una regla. Para poner en marcha la prueba, como paso inicial, se debe alinear el simulador de tal manera que el eje coincida con el eje de rotación del tomógrafo, luego efectuar un corte en el que la técnica a utilizarse permita tener un bajo ruido y tenga un apropiado algoritmo de reconstrucción, posterior a esto determinar los valores del número de CT del fondo, la anchura a media altura (FWHM). En caso de no tener disponible el simulador, colocar el sobre con la película sobre la mesa, verificando que se encuentre centrado en el gantry, luego hacer una exposición con parámetros de miliamperaje comprendido entre 50 y 100 mAs y un kilovoltaje entre 120 y 140 kVp con un espesor de 10 mm, desplazar la mesa 20 mm y procesar la película y finalmente con la ayuda de una regla medir las líneas de densidad. Para que un valor sea aceptable debe cumplir con los siguientes parámetros de tolerancia $FWHM < s \pm 1$ mm, si

$s > 2\text{mm}$ o $\text{FWHM} < s \pm 50\%$, si $s \leq 2\text{ mm}$; donde s es el espesor del corte que se ha seleccionado (IAEA y ARCAL 2001), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Ruido de la imagen***

El objetivo es medir la fluctuación de los números de CT para una región de interés (ROI), esta prueba se la debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio que afecte a los colimadores, filtración o a los algoritmos de reconstrucción. Los materiales básicos que se necesita para llevar a cabo esta prueba son, un maniquí cilíndrico, que esté relleno preferiblemente de agua, ya que nuestro cuerpo está compuesto en su mayoría por agua. Para empezar con la prueba, colocar el maniquí en el centro y su eje que esté de forma paralela al eje de giro del tubo, después realizamos un corte con la técnica correspondiente, posterior a esto, seleccionamos una ROI de 10×10 y se realiza tres medidas. Es recomendado que los valores de ruido para estudios en cabeza sean $\leq 0,5\%$ y para abdomen, tórax sea un valor $\leq 2,0\%$, en caso de no obtener estos valores, por lo menos deben cumplir con las especificaciones del fabricante (Zamorano et al. 2002), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Valor medio del número CT***

El fin con el que se realiza la prueba es medir la exactitud del número CT para distintas densidades, las más importantes son el agua y el aire. Esta prueba se la debe realizar cada año, al inicio o después de realizar algún cambio que afecte los colimadores y la filtración. Para efectuar la prueba se utiliza un maniquí relleno de agua de tamaño ideal, ya sea para cuerpo o cabeza. Al iniciar la prueba se coloca el maniquí de manera que esté centrado y con su eje paralelo al del giro del tubo, después seleccionamos una ROI de 10×10 , verificando que esté en el centro de la imagen y anotamos los valores del número de CT en agua. De manera similar con la misma ROI se busca una zona donde se encuentre aire en el exterior del maniquí y se anotan los valores de número de CT en aire. Los valores medidos del número de CT y los teóricos deber ser menores a $\pm 20\%$ CT para cada material respectivo o al 5% del valor teórico (Zamorano et al. 2002), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Umbral de sensibilidad a bajo contraste***

La finalidad de realizar la prueba es determinar la capacidad que tiene el sistema para eliminar objetos de bajo contraste, la frecuencia con la que se debe realizar es al inicio, cada año y después de realizar cualquier tipo de cambio. El material que se va a utilizar es un maniquí que contenga objetos de prueba para bajo contraste. Para dar inicio con la prueba, se debe colocar el maniquí de manera que esté centrado y alineado con el plano tomográfico y paralelo al plano de la imagen, después se procede a realizar una exposición con el protocolo utilizado para el abdomen de un adulto, posterior a esto, se debe ajustar el nivel y el ancho de la ventana según como lo recomiende el fabricante del objeto de prueba, finalmente, identificar el grupo de esferas de bajo contraste que estén visibles en la imagen. Los objetos de 3.5 mm con un contraste de 3% debe ser visibles para

los diferentes estudios de cabeza, abdomen y tórax, pero lo deseable sería poder observar objetos de 6 y 8 mm con un contraste de 0.5 y 0.8 % (MERNNR 2020), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Resolución espacial***

El objetivo de realizar es verificar los límites de la frecuencia espacial para alto contraste bajo diferentes condiciones, la periodicidad con la que realiza debe ser al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio. El material que se va a utilizar en esta prueba es un simulador de patrón de barras. Para iniciar la prueba, el simulador debe estar centrado y alineado, posterior a esto realizar una exposición con el protocolo utilizado para abdomen, después ajustar el ancho y el nivel de la ventana según las recomendaciones del fabricante, esto con el fin de visualizar el máximo número de líneas, luego se procede a identificar el grupo de pares de líneas que se pueden observar con un grado aceptable de separación y sin ningún tipo de distorsión; repetir todo el procedimiento para el protocolo de tórax. La tolerancia para el protocolo de abdomen está comprendida en 5 pl/mm (pares de líneas por milímetro) y 6,5 pl/mm para el protocolo de tórax (MERNNR 2020) (Sefm, Sepr y Seram 2011).

- ***Dosis de radiación***

La finalidad de realizar la prueba es poder medir el índice de dosis en tomografía computarizada en aire (CTDI_{aire}). La prueba se debe realizar al inicio, cada año y después de realizar cualquier cambio. El equipo utilizado para efectuar la prueba es un sistema dosimétrico debidamente calibrado con cámara de ionización tipo lápiz y un soporte adecuado. Iniciando con la prueba, se debe colocar la cámara de ionización en el eje axial de rotación del gantry, luego la cámara de ionización debe estar centrada y alineada, esto se logra con la ayuda de los laser, realizar una adquisición de un corte para comprobar la alineación, posterior a esto, elegir el protocolo que se utiliza para el examen de cabeza de un adulto, nuevamente adquirir un corte, registrar la lectura que arrojó el electrómetro y repetir la exposición por lo menos dos veces. Repetir todos los pasos anteriores para un protocolo de abdomen de adulto. Los valores obtenidos de CTDI_{aire} debe ser $\leq \pm 20\%$ en referencia al valor especificado por el fabricante (Zamorano et al. 2002), (Sefm, Sepr y Seram 2011).

Control de calidad en equipos dentales

Todos estos parámetros se miden de manera similar que los equipos de grafía.

- ***Parámetros geométricos***

Los parámetros geométricos más indispensables son: la distancia foco piel y el tamaño de campo en el extremo del localizador. En la primera prueba, se debe verificar que la distancia mínima foco-piel debe ser de 20 cm, esto en el caso de que los equipos tengan tensiones superiores a 60 kVp, y 10 cm para los equipos que tengan tensiones ≤ 60 kVp. Para comprobar que la distancia esté cumpliendo con los parámetros establecidos basta con medirla entre el foco y el extremo del localizador. En relación con la segunda prueba, el tamaño del campo debe ser menor a 6 cm, para

corroborar se debe realizar una exposición y medir el diámetro de la imagen resultante (Pifarré et al. 2012).

- ***Calidad de haz***

Los parámetros más elementales para verificar la calidad del haz son: exactitud y reproducibilidad de la tensión y la filtración. Los valores para comprobar que se cumple con el parámetro de exactitud y reproducibilidad de la tensión debe ser mejores al $\pm 10 \%$, y la mínima tensión que debe proporcionar el equipo es de 50 kVp. Por otra parte, el valor de filtración (capa hemirreductora), de ser ≥ 1.5 mm de aluminio, para equipos que tengan una tensión de 70 kVp, y una filtración ≥ 2.5 mm para equipos con tensiones ≥ 70 kVp (Pifarré et al. 2012).

- ***Tiempo de exposición***

Para efectuar esta prueba se realiza las mediciones en rangos de tiempos elevados, a partir de 100 ms, en caso de que el equipo no cuente con un selector temporal, caso contrario, con en selector de pieza dental, se procederá a seleccionar diferentes tipos de dientes y se medirá el tiempo para cada caso. Para verificar la reproducibilidad, se efectuaran como mínimo 5 disparos para los distintos tipos de dientes; la desviación debe ser $\leq \pm 20 \%$ y la reproducibilidad $< \pm 10\%$ (Pifarré et al. 2012).

- ***Rendimiento***

Las pruebas básicas para verificar el rendimiento son: reproducibilidad, valor de rendimiento y variación con el tiempo de exposición. Los valores de reproducibilidad deben ser superiores que $\pm 10\%$ y el valor del rendimiento de estar entre 30 y 80 mGy/mAs , para los equipos que tiene valores de tensión comprendidos entre 50 y 70 kVp (Pifarré et al. 2012).

Resultados y discusión de los resultados

La información disponible en la literatura es fundamental para un proceso de garantía de calidad en radiodiagnóstico médico porque las pruebas que ahí se indica, son producto de la colaboración internacional y a nivel de lo diferentes países por medio de instituciones públicas o sociedades. Las diferentes pruebas han sido elaboradas teniendo en cuenta los fundamentos científicos, la experimentación y aspectos clínicos propios de las instituciones de salud. La importancia de la ejecución de las diferentes pruebas radica en brindar al paciente, que por su condición de salud debe realizarse el estudio con la utilización de radiaciones ionizantes, la garantía de que el equipo está funcionando en óptimas condiciones y que su estudio radiodiagnóstico, más que causarle un daño, beneficiará a su condición de salud actual y brindará al médico una herramienta útil para el tratamiento. Al realizar una comparación de los protocolos de diversos países y sociedades se puede concluir que un alto porcentaje de sus criterios técnicos coinciden, lo cual armoniza los procesos de control de calidad.

Las ventajas de realizar estos controles de calidad, es garantizar un uso eficiente de las radiaciones ionizantes y obtener imágenes de alta calidad diagnósticas con el menor riesgo posible al paciente y al personal que opera el equipo, de igual manera va a contribuir a extender su vida útil.

A nivel nacional, una de las limitaciones de las instituciones de salud es no contar con todos los materiales necesarios para llevar a cabo la ejecución de las pruebas o no contar con equipos correctamente calibrados, lo cual se ve reflejado en la no realización de la mayoría de las pruebas o tener resultados poco fiables, en consecuencia se imparte dosis innecesaria al paciente principalmente, y no se puede evaluar los niveles de radiación imposibilitando procesos de optimización en materia de protección radiológica.

Como una estrategia para solventar la ausencia de equipamiento y personal cualificado en las casas de salud para ejecutar procesos de control de calidad, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables de Ecuador dispuso que a partir del 27 de mayo de 2021, los establecimientos de salud tanto públicos como privados, que presten los servicios de radiodiagnóstico médico y veterinario, se sometan a las pruebas de control de calidad aquí descritas, para lo cual pueden contratar los servicios de empresas debidamente autorizadas.

Las pruebas descritas en este trabajo de investigación fueron producto de realizar una comparación en varias bibliografías, tomando en cuenta los procedimientos mínimos que se deben realizar en un control de calidad. Los datos, valores, tolerancias descritas en las partes pertinentes de los diferentes equipos de radiodiagnóstico permiten saber si la prueba realizada es aceptable o no, de esta manera si el conjunto de pruebas es satisfactorio, el equipo está en condiciones aptas para su utilización.



Casa Editora del Polo (CASEDELPO), hace constar que:

El artículo científico:

“Análisis de los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador”

De autoría:

Gabriel Leonardo Cevallos Córdova, Miguel Angel Sáez Paguay, Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas, Joselyn Tatiana Hernández Solís

Habiéndose procedido a su revisión y analizados los criterios de evaluación realizados por lectores pares expertos (externos) vinculados al área de experticia del artículo presentado, ajustándose el mismo a las normas que comprenden el proceso editorial, se da por aceptado la publicación en el **Vol. 6, No 3, Marzo 2021**, de la revista Polo del Conocimiento, con ISSN 2550-682X, indexada y registrada en las siguientes bases de datos y repositorios: **Latindex Catálogo v2.0, MIAR, Google Académico, ROAD, Dialnet, ERIHPLUS.**

Y para que así conste, firmo la presente en la ciudad de Manta, a los 15 días del mes de febrero del año 2021.

Dr. Víctor R. Jama Zambrano
DIRECTOR



Casa Editora del Polo (CASEDELPO), hace constar que:

El artículo científico:

“Análisis de los procedimientos para el aseguramiento de la calidad en radiodiagnóstico médico en Ecuador”

De autoría:

Gabriel Leonardo Cevallos Córdova, Miguel Angel Sáez Paguay, Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas, Joselyn Tatiana Hernández Solís

Ha sido publicado en el **Vol. 6, No 3, Marzo 2021**, de la revista Polo del Conocimiento con ISSN 2550-682X, indexada y registrada en las siguientes bases de datos y repositorios: **Latindex Catálogo v2.0, MIAR, Google Académico, ROAD, Dialnet, ERIHPLUS.**

Disponible en:

URL: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2413>

DOI: [10.23857/pc.v6i3.2413](https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2413)

Y para que así conste, firmo la presente en la ciudad de Manta, a los 05 días del mes de marzo del año 2021.

Dr. Víctor R. Jama-Zambrano
DIRECTOR



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

FECHA DE ENTREGA: 15/04/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

NOMBRES – APELLIDOS: GABRIEL LEONARDO CEVALLOS CORDOVA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

FACULTAD: CIENCIAS

CARRERA: BIOFÍSICA

TÍTULO A OPTAR: BIOFÍSICO

F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:

ING. CPA. JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS. MBA.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**



15-04-2021

0976-DBRAI-UTP-2021