



*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*

*Análise dos procedimentos de garantia de qualidade em radiodiagnóstico médico no Equador*

Gabriel Leonardo Cevallos-Córdova<sup>I</sup>  
gabo\_ceval@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-2501-3110>

Miguel Ángel Sáez-Paguay<sup>II</sup>  
miguel.saez@esepoch.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-0705-5402>

Vilma Nohemí Yanchapanta-Bastidas<sup>III</sup>  
vilma.yanchapanta@esepoch.edu.ec  
<http://orcid.org/0000-0001-9875-7607>

Joselyn Tatiana Hernández-Solís<sup>IV</sup>  
jocita2304@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5095-453X>

**Correspondencia:** [gabo\\_ceval@hotmail.com](mailto:gabo_ceval@hotmail.com)

Ciencias de la Salud  
Artículo de revisión

\***Recibido:** 10 de enero de 2021 \***Aceptado:** 15 de febrero de 2021 \***Publicado:** 05 de marzo de 2021

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



## 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 present scientific review work aims 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 biological systems. With the discovery of X-rays made by the German physicist Wilhem Roentgen in 1958 and its application in medicine, harmful effects on the health of people exposed to this type of radiation were later observed. Studies carried out after the appearance of lesions, determined that there are two types of effects associated with radiation, stochastic effects, are those that occur at low dose rates and do not have an associated dose threshold, and deterministic effects, which it 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 in order that at the time of the diagnostic examination it complies with the radiological protection parameters issued by national and

international entities and minimizes as reasonably possible the presence of effects that are harmful to your health; and the exam contributes positively to the treatment of your disease.

**Keywords:** Quality control; ionizing radiation, biological effects; optimization.

## Resumo

O presente trabalho de revisão científica tem como objetivo estudar os principais controles de qualidade de equipamentos de radiodiagnóstico, a geração de raios X e os efeitos biológicos que ocorrem quando a radiação ionizante interage com sistemas biológicos. Com a descoberta dos raios X feita pelo físico alemão Wilhem Roentgen em 1958 e sua aplicação na medicina, efeitos nocivos à saúde das pessoas expostas a esse tipo de radiação foram observados algum tempo depois. Estudos realizados após o aparecimento das lesões, determinaram que existem dois tipos de efeitos associados à radiação, os efeitos estocásticos, são aqueles que ocorrem em baixas taxas de dose e não têm um limiar de dose associado, e os efeitos determinísticos, que estão intimamente ligados à dose de radiação recebida e tem um limite de dose associado a ela. A importância da realização de controles de qualidade reside em garantir ao paciente o bom funcionamento do equipamento, isto para que no momento do exame diagnóstico cumpra os parâmetros de proteção radiológica emitidos por entidades nacionais e internacionais e minimize ao máximo possível a presença de efeitos prejudiciais à saúde; e o exame contribui positivamente para o tratamento da sua doença.

**Palavras-chave:** Controle de qualidade; radiação ionizante, efeitos biológicos; otimização.

## 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 interaccionar con un sistema biológico se los ha dividido en dos, estocásticos y determinísticos (Badel et al., 2018) ; 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 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 et al., 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***

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  $\alpha$ , 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 ( $\beta^-$ ) que es la emisión de un electrón; beta positiva ( $\beta^+$ ) 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 & Morales, 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 lo 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 (HT), resulta de impartir dosis en órganos, es el producto entre la dosis absorbida y un factor de ponderación (WR), el cual está asociado al tipo de partícula con la cual se está irradiando (Vásconez, 2019).

Dosis absorbida (DT), es el cociente entre la energía impartida en un cierta masa de tejido, su unidad vienen 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 (WT) , 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 et al., 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 et al., 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 & 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 30 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 kilivoltaje (kVp) y miliamperaje (mA) más utilizados en las prácticas 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 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 (IAEA & 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 0 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 et al., 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  $\mu$ 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 et al., 2011), (IAEA & 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  $\leq 50$  % 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 et al., 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 & 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 0C, para la humedad de 40 a 60 % y los niveles de radiación deben estar por debajo de los 20  $\mu\text{Gy}$ /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 & 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  $\leq 0.5$  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  $\leq 5$  mm en los bordes; si después de realizar la limpieza respectiva no hay mejoría, la pantalla deberá ser desechada (IAEA & ARCAL, 2006) (Sefm et al., 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  $\leq 5$  mm del lado del tórax (IAEA & ARCAL, 2006), (Sefm et al., 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 variación debe ser  $\leq 10\%$  (MERNNR, 2020), (IAEA & 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  $kVp/100 + 0,03 \leq CHR(\text{mm Al}) \leq kVp/100 + C$ , en caso de que los valores obtenidos no se encuentren dentro del intervalo indicado proceder a comunicarse con el servicio de mantenimiento del equipo (MERNNR, 2020) (IAEA & 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 et al., 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  $NOI \pm 0,15$  DO, donde NOI es el nivel operativo inicial (IAEA & ARCAL, 2006) (Sefm et al., 2011).

### ***Dosis glandular media (DG)***

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 et al., 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  $\pm 2$ mm (Zamorano et al., 2002), (IAEA & 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  $FWHM < s \pm 1 \text{ mm}$ , si  $s > 2\text{mm}$  o  $FWHM < s \pm 50 \%$ , si  $s \leq 2 \text{ mm}$ ; donde  $s$  es el espesor del corte que se ha seleccionado (IAEA & ARCAL, 2001), (Sefm et al., 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  $10 \times 10$  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 et al., 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  $10 \times 10$ , 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 numero de CT en aire. Los valores medidos del número de CT y los teóricos deber ser menores a  $\pm 20 \text{ n}^\circ \text{ CT}$  para cada material respectivo o al  $5 \%$  del valor teórico (Zamorano et al., 2002), (Sefm et al., 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 et al., 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 et al., 2011).

### ***Dosis de radiación***

La finalidad de realizar la prueba es poder medir el índice de dosis en tomografía computarizada en aire (CTDI<sub>aire</sub>). 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<sub>aire</sub> debe ser  $\leq \pm 20\%$  en referencia al valor especificado por el fabricante (Zamorano et al., 2002), (Sefm et al., 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  $\leq 60$  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  $\geq 1.5$  mm de aluminio, para equipos que tengan una tensión de 70 kVp, y una filtración  $\geq 2.5$  mm para equipos con tensiones  $\geq 70$  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.

## Referencias

1. Badel, A. E., Rico-Mesa, J. S., Gaviria, M. C., Arango-Isaza, D., & Hernández Chica, C. A. (2018). Ionising radiation: A review of the topic and recommendations for using it. In *Revista Colombiana de Cardiología* (Vol. 25, Issue 3, pp. 222–229). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2017.10.008>
2. Barba, L., Ruiz, V., & Hidalgo, A. (2020). Use of X rays in dentistry and the importance of justification of radiographic examinations. *Avances En Odontostomatología*, 36(3), 131–142. <https://doi.org/10.4321/S0213-12852020000300002>
3. Blanco, S., Buffa, R., Gamarra, S., Verónica, P., & Viniegra, M. (2015). Guía técnica de procedimientos mínimos de control de calidad en mamografía analógica.

4. Bushong, S. C. (2010). Manual De Radiología Para Técnicos: Física, Biología Y Protección Radiológica. In Manual de Radiología para técnicos: Biología y Protección Radiológica. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-84-8086-636-1.00018-0>
5. Cáceres, C., Vázquez, E., Muñoz, J., & Arteagoitia, M. (2015). Manual de evaluación y certificación de programas de garantía de calidad de Unidades Asistenciales de Radiodiagnóstico.
6. Carpio, G. (2016). Deteccion de las concentraciones de Radio-226 y exhalación de Radón-222 en algunos materiales de construccion de la ciudad de Cuenca-Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12979/1/UPS-CT006757.pdf>
7. CCEEM. (1998). Guía Técnica CCEEM GT-07 “ Control de Calidad de Equipos de Radiografía.” <http://www.eqmed.sld.cu/Documents/Documentos regulatorios/Guias/gt7.pdf>
8. Consejo de Seguridad Nuclear. (2013). Curso de supervisores de instalaciones radiactivas. Tema 3 : Magnitudes y unidades radiológicas.
9. De Alba, F., Casián, G., & De Alba, C. (2019). Los primeros experimentos con rayos X en México y la prensa. In Rev Hosp Jua Mex (Vol. 86, Issue 3). [www.medigraphic.org.mxwww.medigraphic.com/hospitaljuarez](http://www.medigraphic.org.mxwww.medigraphic.com/hospitaljuarez)
10. Dias, V., Oliveira, M., Morgado, F., & Almeida, F. (2019). Radiological protection in the perspective of health professionals exposed to radiation. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 72, 9–16. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0545>
11. Espitia, O., Mejía, Y., & Arguello, H. (2016). Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual. *Revista Tecnura*, 20(47), 119. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a10>
12. Gonzales, E. (2020). Diseño de un protocolo en radiodiagnóstico para evitar efectos biológicos en el personal de diagnóstico por imagenes en el HRL. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46018/Gonzales\\_RED-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46018/Gonzales_RED-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
13. Guzmán, E. (2018). “Importancia del control de calidad de un equipo de radiografía general” MONOGRAFÍA TÉCNICA Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física.

- [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8475/Guzman\\_ge.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8475/Guzman_ge.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
14. Herranz, E. (2019). Estudio de técnicas de imagen, radiaciones ionizantes y sus aplicaciones en radioterapia. [http://oa.upm.es/54133/1/TFG\\_EVA\\_HERRANZ\\_HEREDIA.pdf](http://oa.upm.es/54133/1/TFG_EVA_HERRANZ_HEREDIA.pdf)
  15. IAEA, & ARCAL. (2001). Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico - ARCAL XLIX - Implementación de las Normas Básicas de Seguridad Internacionales en las Prácticas Médicas. 2001. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/MET/arc49-protocolo-cc.pdf>
  16. IAEA, & ARCAL. (2006). IAEA- TECDOC 1517 “Controlo de Calidad en Mamografía.” 138.
  17. Machado, H., Niño, N., Lagares, L., Martinez, R., & Álvarez, M. (2013). Control De Calidad En Mamografía Analógica. <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/control>
  18. MERNNR. (2020). Manual de Cntrol de Calidad para Radiodiagnostico y Radiología Intervencionista.
  19. Montesdeoca, D. (2017). Cálculo estimado de la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de áreas mineras en el Cantón Riobamba. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/7813>
  20. OMS. (2016). Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami.
  21. Pifarré, X., Torres, R., Hernando, I., Rivas, M., Valverde, J., Ruiz, P., Ginjaume, M., & Molero, J. (2012). Fundamentos de Física Médica.
  22. Puerta, A., & Morales, J. (2020). Biological effects of ionising radiation. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.005>
  23. Ramírez, J. (2019). Radiología e imagen (Vol. 62). <http://www.scielo.org.mx/pdf/facmed/v62n2/2448-4865-facmed-62-02-7.pdf>
  24. Sefm, Sepr, & Seram. (2011). Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (Issue 1). <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>

25. Ubeda de la Cerda, C., Nocetti, D., Inzulca, A., Oyarzún, C., & Alarcón, R. (2018). Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. *Revista Chilena de Radiología*, 24, 5–11. <chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?pdf=https%3A%2F%2Fbrxt.mendeley.com%2Fdocument%2Fcontent%2Ffacec98aa-8a5d-34b0-88fd-241e56eab421>
26. Ubeda, C. de la, Vaño, E., Cruces, R. R., Soffia, P., & Fabri, D. (2019). Diagnostic reference levels: An effective tool to radiological protection of patient. *Revista Chilena de Radiología*, 25(1), 19–28. <https://doi.org/10.4067/s0717-93082019000100019>
27. Vallejo, A. (2019). Implementacion de normas de seguridad y protección radiológica en el bunker del laboratorio de tecnicas nucleares según los estándares internacionales. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13954/1/86T00087.pdf>
28. Vásconez, C. (2019). "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/ARCAL XLIX". <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13251/1/86T00083.pdf>
29. Villareal, V. (2016). 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. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8216/1/T-UCE-0006-067.pdf>
30. Zamorano, E., Platero, J., Fontestad, J., Miralles, P., Manzano, F., & Sancho, J. (2002). Sociedad Valenciana de Protección Radiológica y Radiofísica "Manual de procedimientos de control de calidad en radiodiagnóstico."