



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
CENTRO PARA EL CONTROL ESTATAL DE
MEDICAMENTOS, EQUIPOS Y DISPOSITIVOS MÉDICOS
CECMED

OLGA LIDIA JACOBO CASANUEVA
DIRECTORA

RESOLUCIÓN No. 164 /2021

POR CUANTO: Por Resolución No. 153 de fecha 27 de junio del año 2011, emitida por el Ministerio de Salud Pública, en lo adelante MINSAP, se creó el Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos, en lo adelante CECMED.

POR CUANTO: Por Resolución No. 165 de fecha 14 de abril del año 2014, emitida por el MINSAP, se aprobaron y pusieron en vigor la misión y las funciones que rigen el funcionamiento del CECMED y dispuso en su RESUELVO SEGUNDO apartado 1, establecer las disposiciones legales, técnicas y administrativas para el ejercicio de las funciones de regulación, fiscalización y vigilancia de productos y servicios para la salud humana así como su implementación, revisión y actualización sistemática en correspondencia con la política nacional y la práctica internacional.

POR CUANTO: Por Resolución No. 184 de fecha 22 de septiembre del 2008, se aprobó por el MINSAP, el Reglamento para la Evaluación y el Control Estatal de Equipos Médicos, el cual establece en su capítulo VIII Equipos Médicos Radiológicos para Diagnóstico y Terapia, artículo 88, que los equipos médicos radiológicos, por sus características especiales, serán objeto de un control regulador pre-mercado y post-mercado por parte del CECMED.

POR CUANTO: El 5 de mayo del año 1998, la Directora del Centro para el Control Estatal de Equipos Médicos, en lo adelante CCEEM, aprobó la Guía Técnica GT-07 Control de Calidad de Equipos de Radiografía, con el objetivo de que los especialistas en la materia del Sistema Nacional de Salud conozcan en la práctica los procedimientos técnicos para la realización del control de calidad a estos equipos.

POR CUANTO: Teniendo en cuenta el desarrollo tecnológico alcanzado en el ámbito nacional e internacional para los equipos de radiografía de propósitos generales, la evolución de las metodologías para llevar a cabo su control de calidad, así como la madurez alcanzada por el CECMED en su condición de Autoridad Nacional Reguladora, se hace necesario actualizar la Guía vigente en cuanto a su alcance, requisitos y procedimientos de manera que satisfaga las actuales necesidades para garantizar la calidad requerida en la prestación de los servicios a los pacientes conforme a los estándares vigentes.

POR TANTO: En el ejercicio de todas las funciones y atribuciones inherentes que me están conferidas como Directora del CECMED, por Resolución No. 2 de fecha 6 de enero del año 2021, emitida por el MINSAP,

RESUELVO

PRIMERO: Aprobar y poner en vigor la Regulación E 101-21 ,Protocolo para el Control de Calidad a Equipos de Radiografía de Propósitos Generales, que se adjunta a la presente resolución y forma parte integrante de la misma.

SEGUNDO: Derogar la Guía Técnica GT-07, Control de Calidad de Equipos de Radiografía, aprobada por la Directora del CCEEM el 5 de mayo del año 1998.

TERCERO: Lo establecido en la presente Resolución entrará en vigor a partir de la fecha de su firma.

NOTIFÍQUESE mediante correo electrónico, al Departamento de Equipos y Dispositivos Médicos del CECMED.

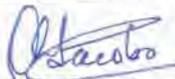
DESE CUENTA al Viceministro de Asistencia Médica y al Director de Ciencia y Tecnología del MINSAP.

COMUNÍQUESE al Grupo Nacional de Imagenología, a la Sociedad de Imagenología, a todas las instituciones pertenecientes o no al Sistema Nacional de Salud, que presten servicios a pacientes y que posean instalados equipos de radiografía de propósitos generales dedicados al diagnóstico, a la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada, a la Dirección de Seguridad Nuclear de la Oficina de Regulación y Seguridad Ambiental del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, al Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, a la Oficina de OPS/OMS en Cuba, Medicamentos y Tecnología, Salud Ambiental, al Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, a las estructuras correspondientes del CECMED y a cuantas personas naturales y/o jurídicas proceda.

PUBLÍQUESE en el Ámbito Regulador, órgano oficial del CECMED, para su general conocimiento.

ARCHÍVESE el original de la presente disposición en el registro de resoluciones del Grupo de Asesoría Jurídica del Centro.

DADA en la sede del CECMED, en La Habana a los 21 días del mes de septiembre del año 2021 "Año 63 de la Revolución".


M. Sc. Olga Lidia Jacobo Casanueva
Directora



ANEXO ÚNICO



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
CENTRO PARA EL CONTROL ESTATAL
DE MEDICAMENTOS, EQUIPOS Y DISPOSITIVOS MÉDICOS
CECMED

REGULACIÓN E 101-21
PROTOCOLO PARA EL CONTROL DE CALIDAD A EQUIPOS DE RADIOGRAFÍA
DE PROPÓSITOS GENERALES

Fecha de emisión: 21.09.2021

Fecha de entrada en vigor: 21.09.2021

Tabla de contenido

1.	Generalidades.....	7
2.	Términos y definiciones.....	7
3.	Pruebas para el control de calidad a equipos convencionales de radiografía de propósitos generales	12
3.1.	Inspección visual de la sala de rayos X	12
3.2.	Inspección visual del equipo.....	13
3.3.	Pruebas geométricas	13
3.3.1.	Exactitud del indicador de la distancia foco-receptor de imagen.....	13
3.3.2.	Tamaño mínimo del campo de radiación.	16
3.3.3.	Definición del campo luminoso.	16
3.3.4.	Coincidencia o alineación entre el campo de radiación y el campo luminoso.....	18
3.3.5.	Discrepancia entre los centros geométricos del campo de luz y el de radiación.....	21
3.3.6.	Ortogonalidad del haz de rayos X y el receptor de imagen.....	22
3.3.7.	Tamaño del punto focal.....	23
3.4.	Rejilla.....	26
3.4.1.	Factor de exposición de la rejilla.....	13
3.4.2.	Estado y movimiento de la rejilla.....	29
3.5.	Calidad del haz.....	29
3.5.1.	Exactitud de la tensión.	29
3.5.2.	Repetibilidad de la tensión del tubo de rayos X.....	31
3.5.3.	Reproducibilidad de la tensión del tubo de rayos X.....	31
3.5.4.	Capa hemirreductora.	32
3.6.	Tiempo de exposición.....	34
3.6.1.	Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición.	34
3.6.2.	Reproducibilidad del tiempo de exposición.	35
3.7.	Rendimiento.....	35
3.7.1.	Valor del rendimiento y repetibilidad.	35
3.7.2.	Linealidad del rendimiento.....	37
3.8.	Control automático de exposición	38
3.8.1.	Repetibilidad y ajuste del control automático de exposición en su posición central.	38
3.8.2.	Homogeneidad o consistencia entre sensores del control automático de exposición (CAE).	39

3.8.3. Incrementos del selector de densidades.....	40
3.8.4. Compensación para diferentes espesores y tensiones.	41
3.9. Dosis de radiación.....	41
3.9.1. Kerma en aire incidente.....	41
3.9.2. Kerma en aire en la superficie de entrada del paciente.	43
4. Procedimiento para el control de calidad a equipos de Radiografía Computada	44
4.1. Inspección visual, identificación y limpieza de chasis y placas fotoestimulables.....	45
4.2. Tiempo de lectura	45
4.3. Ruido de fondo de los detectores.....	46
4.4. Calibración del indicador de dosis.....	48
4.5. Consistencia del indicador de dosis del detector	50
4.6. Uniformidad.....	50
4.7. Linealidad y propiedades de transferencia del sistema.....	52
4.8. Efectividad del ciclo de borrado.	53
4.9. Linealidad espacial y errores de escala.....	54
4.10. Desvanecimiento de la imagen latente.....	56
4.11. Control automático de exposición	57
4.11.1. Repetibilidad y ajuste del CAE en su posición central.	57
4.11.2. Homogeneidad entre las cámaras.	58
4.11.3. Compensación para diferentes tensiones y espesores.	58
4.12. Calidad de imagen	59
5. Procedimiento para el control de calidad a equipos de radiografía digital directa	59
5.1. Ruido de fondo de los detectores.....	60
5.2. Calibración del indicador de dosis del detector	60
5.3. Consistencia del indicador de dosis del detector	62
5.4. Función respuesta del detector, propiedades de transferencia.....	62
5.5. Uniformidad y constancia del receptor de imagen	63
5.6. Ruido.....	64
5.7. Elementos defectuosos del detector, del, sin corregir.....	64
5.8. Errores de escala, distorsión geométrica.....	65
5.9. Remanencia de la imagen	66
5.10. Resolución espacial.....	67
5.11. Resolución de bajo contraste	67

6.	Control de cambios	67
7.	Bibliografía	68
	Anexo I. Lista de chequeo para la inspección visual de la sala de rayos X.....	70
	Anexo II. Lista de chequeo para la inspección visual y movimientos mecánicos del equipo de rayos X.....	71

1. Generalidades

La calidad en el ámbito sanitario y en particular dentro de un Servicio de Imagenología, no concibe solamente la excelencia del personal, sino que involucra, además, el empleo eficiente y confiable de los recursos, el nivel de satisfacción de trabajadores, pacientes y población en general, así como su impacto final en la salud.

Para el logro de estos objetivos, se precisa contar con una estructura organizativa que permita establecer un Programa de Garantía de Calidad institucional, con la correspondiente comprensión de su importancia, necesidad e implementación por parte de directivos y funcionarios del sector, sin descartar la participación activa de todos los trabajadores.

Uno de sus componentes esenciales, lo constituye el Control de Calidad, el cual se basa en el empleo de protocolos o procedimientos que identifican y describen en mayor o menor medida los principales aspectos a evaluar, así como la metodología a seguir para el logro de este objetivo.

En relación con los equipos de radiografía de propósitos generales, nuestro país dispone de la Guía Técnica CCEEM GT-07 *Control de Calidad de Equipos de Radiografía*, publicada en el año 1998, dirigida básicamente a la realización de medidas específicas sobre los sistemas de rayos X analógicos o convencionales, en virtud de asegurar el cumplimiento satisfactorio de las recomendaciones establecidas en el ámbito nacional e internacional.

El escenario actual impone nuevos desafíos, particularmente si se tiene en cuenta la existencia de equipos cada vez más novedosos, la diversidad de configuraciones presentes, el empleo de técnicas de detección digital, el hecho de contar con nuevas aplicaciones y prestaciones, así como la posibilidad de su integración a otras áreas de la institución sanitaria.

Esta situación conduce a la necesaria actualización de la regulación vigente, de forma tal que permita poner a disposición del CECMED, una herramienta más efectiva para el control post-mercado de la tecnología instalada, mientras que permita a las instituciones de salud contar con un instrumento útil para la evaluación funcional de estos equipos, lo que contribuye a elevar sus estándares de calidad, en función de las tareas de diagnóstico requeridas.

Con esta disposición reguladora nos proponemos establecer las pruebas para el control de calidad a llevar a cabo sobre los equipos de radiografía de propósitos generales, así como la metodología a seguir para su realización en el ámbito nacional. Su alcance comprende a todos los sistemas de radiografía de propósitos generales instalados en instituciones pertenecientes o no al Sistema Nacional de Salud. Estas pruebas, serán llevadas a cabo como parte del Programa de Garantía de Calidad del propio centro hospitalario, de la evaluación externa desarrollada por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, a través del Servicio Nacional de Control de Calidad, así como de las Auditorías de Calidad y Visitas Técnicas efectuadas por el CECMED con vistas al otorgamiento del Dictamen de Aceptación de Uso Clínico.

2. Términos y definiciones

2.1 **Ancho de ventana:** Escala de grises seleccionada y que se muestra en la imagen en un monitor del equipo o en otro formato gráfico. Para mayores anchos de ventana se obtendrán escalas de grises más largas. Una anchura de ventana reducida produce alto contraste.

- 2.2 **Ánodo:** Componente del tubo de rayos X, cargado positivamente, donde se producen los fotones de rayos X.
- 2.3 **Artefactos:** Irregularidades de valores del *píxel* de un área más o menos extensa en una imagen radiográfica, no relacionadas con las propiedades del objeto. Pueden estar producidas por dispositivos del equipo u objetos extraños que están dentro del haz de rayos X, suciedad, electricidad estática, daños en elementos de detección.
- 2.4 **Bucky:** Dispositivo que puede incluir el soporte del chasis, la rejilla, el mecanismo que mueve la rejilla y el sistema de control automático de exposición en los equipos de rayos X.
- 2.5 **Calidad de imagen:** Medida de la adecuación de la imagen a los requisitos necesarios para un correcto diagnóstico. La calidad de imagen es tanto mejor cuanto más fácil resulte extraer la información diagnóstica que motivó la prescripción de una exploración con rayos X.
- 2.6 **Campo de radiación:** Sección plana del haz de radiación perpendicular al eje del mismo. Se puede definir a cualquier distancia del foco del haz.
- 2.7 **Campo luminoso:** Sección plana del haz de luz perpendicular al eje del mismo. Se utiliza para delimitar el haz de radiación.
- 2.8 **Capa hemirreductora (CHR o HVL por sus siglas en inglés):** Parámetro que caracteriza la filtración del haz de rayos X. Es el espesor necesario de un material para reducir la tasa de *kerma* en aire a la mitad de su valor original. Normalmente se expresa en mm de Al.
- 2.9 **Carga del tubo:** Producto de la intensidad de la corriente (mA) que circula entre el cátodo y el ánodo de un tubo de rayos X, por el tiempo de exposición, expresado en segundos. La dosis de radiación es directamente proporcional a este producto (mAs).
- 2.10 **Cátodo:** Componente del tubo de rayos X, cargado negativamente, donde se encuentran uno o más filamentos, que al ser calentados suficientemente desprenden electrones que son dirigidos hacia el ánodo.
- 2.11 **Coefficiente de variación:** Estimador útil para comparar el grado de dispersión de dos distribuciones, donde no queremos tener en cuenta ni la unidad ni el orden de la magnitud a evaluar. Se define como el cociente entre la desviación estándar (DE) y el valor de la media aritmética (\bar{X}) expresado en porcentaje. Cuanto menor es el coeficiente de variación más representativo es el conjunto de medidas.
- 2.12 **Colimador:** Dispositivo generalmente de plomo, situado a la salida del tubo de rayos X, que permite dar forma al campo de radiación y limitar su tamaño.
- 2.13 **Compensación del control automático de exposición.** Propiedad del control automático de exposición, que nos permite obtener imágenes de la misma densidad óptica o con el mismo valor de *píxel*, con independencia de las diferencias en el espesor del objeto o en la técnica radiográfica. Depende de la respuesta del sistema de detección a las variaciones de la calidad del haz o de la tasa de dosis.
- 2.14 **Contraste de la imagen:** Es la cualidad de una imagen que permite distinguir un objeto frente a su entorno, por ejemplo, las diferencias de densidades ópticas o valores medios de *píxel* entre dos elementos adyacentes de una imagen radiográfica.
- 2.15 **Contraste del objeto:** Diferencias inherentes en la atenuación de los rayos X entre el objeto que se visualiza y su entorno.

- 2.16 **Control Automático de Exposición (CAE o AEC por sus siglas en inglés):** Dispositivo del equipo de rayos X mediante el cual se controla la carga del tubo, cortándose esta automáticamente al alcanzarse el valor de exposición para el que está previamente ajustado. En ciertos equipos, el CAE puede también controlar automáticamente la tensión del tubo. La finalidad última es obtener imágenes con la misma densidad óptica media o con el mismo valor medio de *pixel*, independientemente de las características de atenuación del paciente o de la zona de estudio.
- 2.17 **Densidad óptica:** Se define como el logaritmo de la relación existente entre la intensidad de la luz incidente en la película radiográfica y la intensidad de la luz transmitida por ella.
- 2.18 **Detector de radiación:** Instrumento que indica la presencia y cantidad de radiación.
- 2.19 **Distancia foco-película o foco-receptor de imagen (DFP):** Distancia medida a lo largo del eje del haz de radiación desde su foco hasta el plano de la película o del receptor de la imagen.
- 2.20 **Distancia foco-superficie (DFS):** Distancia medida a lo largo del eje del haz de radiación desde su foco hasta la superficie del paciente o del maniquí.
- 2.21 **Dosimetría al paciente:** Medida o conjunto de medidas destinadas a obtener información sobre la dosis recibida por el paciente durante la exposición a las radiaciones ionizantes.
- 2.22 **Dosis al paciente:** Término genérico dado a distintas magnitudes dosimétricas aplicadas a un paciente o a un grupo de pacientes.
- 2.23 **Equipamiento:** En el ámbito de este protocolo, se entiende como el conjunto de equipos e instrumentos que participan en el proceso de obtención, interpretación, archivado y transporte de imágenes para el diagnóstico. Se incluyen por lo tanto equipos de rayos X, procesadoras, chasis, negatoscopios, películas, y productos químicos para el revelado.
- 2.24 **Exactitud:** Grado de concordancia entre el resultado de una medición y el valor convencionalmente verdadero de lo que se mide. Se trata de un concepto cualitativo. Se puede expresar en términos absolutos, $X_{\text{medido}} - X_{\text{indicado}}$ o relativos, en porcentos.
- 2.25 **Factor de exposición de rejilla:** Es el índice de atenuación de la rejilla. Se calcula como D_1/D_2 donde D_1 y D_2 son los valores de dosis en aire medidos en el mismo punto del plano de la imagen sin y con rejilla en el haz respectivamente.
- 2.26 **Factor de retrodispersión:** Es la relación entre el valor del *kerma* en aire medido en la superficie de entrada de un material y el medido en idénticas condiciones en ausencia del material dispersor. Depende de la calidad del haz y del tamaño del campo de radiación. Sus valores típicos son de 1,30 a 1,40 para radiología convencional, de 1,05 a 1,10 en mamografía y 1,10 en radiología dental.
- 2.27 **Función de Modulación de Transferencia (MTF por sus siglas en inglés):** Describe la respuesta en frecuencias espaciales de dicho sistema, es decir es una medida de cuan bien un dispositivo de imagen transfiere el contraste de un objeto (entrada) a la imagen (salida). Formalmente se puede calcular a partir de la transformada de Fourier de la imagen de un punto, de una línea o de un borde.
- 2.28 **Haz útil:** También denominado haz primario, es el haz de rayos X que atraviesa la ventana del tubo y cuyas dimensiones transversales se limitan con el colimador.

- 2.29 **Instrumentación:** En el ámbito de este protocolo, se entiende como el conjunto de equipos e instrumentos de medida utilizados para las pruebas de control de calidad. Se incluyen, por lo tanto, analizadores de haces, cámaras de ionización y otros sistemas de detección y medida de la radiación, maniqués de calidad de imagen, objetos de ensayo para comprobaciones geométricas, densitómetros ópticos, entre otros.
- 2.30 **Kerma (Acrónimo del inglés *Kinetic Energy Released per unit Mass*):** Suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas ionizantes cargadas liberadas por las partículas ionizantes no cargadas, por unidad de masa.
- 2.31 **Kerma en aire en la superficie de entrada (K_e):** Es el *kerma* en aire, incluyendo la contribución de la retrodispersión, medido en la superficie de entrada del objeto irradiado y en el eje del haz de radiación.
- 2.32 **Kerma en aire incidente (K_i):** Es el *kerma* en aire, sin incluir la contribución de la retrodispersión, medido en la superficie de entrada del objeto irradiado y en el eje del haz de radiación.
- 2.33 **Maniquí de calidad de la imagen:** Entidad diseñada especialmente para evaluar la calidad de la imagen. Contiene objetos de ensayo que permiten una valoración objetiva o subjetiva de la misma.
- 2.34 **Negatoscopio:** Dispositivo que genera un campo uniforme de luz para visualizar la película radiográfica.
- 2.35 **Nivel de ventana:** Es el valor medio o central, de la ventana usada para visualizar una imagen reconstruida en el monitor del equipo o en otro formato gráfico.
- 2.36 **Panel plano (*flat panel* del inglés):** Dispositivo que convierte los fotones de rayos X en carga eléctrica. Su núcleo es un captador de yoduro de cesio en los de conversión indirecta o de selenio amorfo en los de conversión directa, y una matriz bidimensional consistente en un panel de fotodiodos de silicio amorfo, todo ello ensamblado sobre un sustrato de vidrio.
- 2.37 **Patrón de Estrella:** Objeto de prueba diseñado para evaluar el tamaño del punto focal del tubo de rayos X.
- 2.38 **Píxel (Acrónimo del inglés *picture element*),** es el elemento más pequeño de una imagen digital. Se caracteriza por su posición, número de fila y de columna, en la matriz de imagen, así como por su profundidad. Su valor determina su presentación en el sistema de registro o visualización.
- 2.39 **Potencial (Tensión del tubo o kilovoltaje (kV)):** La diferencia de potencial aplicada a través del ánodo y cátodo del tubo de rayos X durante una exposición radiográfica.
- 2.40 **Prioridad:** Parámetro que define el nivel de importancia de la prueba a realizar. Son identificadas dos categorías.
- Deseada: cuando su ejecución es recomendable pero no obligatoria.
Esencial: cuando representa un requisito básico o fundamental para evaluar el funcionamiento del equipo y/o la seguridad del paciente o personal.
- 2.41 **Programa de Garantía de Calidad:** Definido según la Organización Mundial de la Salud (OMS), como un esfuerzo organizado por el personal que opera la instalación para asegurar que la imagen diagnóstica producida tenga suficiente calidad, a la vez que proporcione

consistentemente la información diagnóstica requerida, con el mínimo posible de exposición al paciente y al menor costo posible.

- 2.42 **Pruebas de aceptación:** Ensayos realizados para verificar que un equipamiento cumple las especificaciones del contrato de compra, las especificaciones de fabricación y las exigencias legales aplicables. Sus resultados deben estar claramente documentados, ya que servirán como referencia para posteriores controles de calidad.
- 2.43 **Punto focal:** Zona sobre la superficie del ánodo donde incide el haz de electrones proveniente del cátodo y se origina el haz útil de rayos X.
- 2.44 **Radiación dispersa:** Radiación de igual o menor energía que la radiación incidente que se origina al interactuar con un medio y que puede ser emitida en cualquier dirección.
- 2.45 **Radiografía computada (CR por sus siglas en inglés):** Tipo de procedimiento dentro del entorno de la radiología digital, empleado para la obtención de imágenes radiográficas mediante la utilización de placas de fósforo fotoestimulable.
- 2.46 **Región de interés (ROI por sus siglas en inglés):** Zona que puede seleccionarse en una imagen utilizando las herramientas del visor empleado, que presenta un interés especial por alguna causa concreta y sobre las cuáles se pueden hacer diversos cálculos, tales como la media de los valores de los *píxeles* contenidos en ella, la desviación estándar de esos valores, el área y el número de *píxeles* contenidos.
- 2.47 **Rejilla:** Dispositivo que se sitúa sobre el receptor de la imagen para reducir selectivamente la radiación dispersa que lo alcanza. Está formado por un conjunto de láminas delgadas de material de alto número atómico (*Z*) separadas por un material que es relativamente transparente al haz de rayos X.
- 2.48 **Relación Señal-Ruido (RSR o SNR por sus siglas en inglés):** Como su nombre indica, es la relación entre la amplitud de una señal y el ruido de la misma. Dado que es deseable que los valores de señal sean altos en un sistema de imagen y el ruido sea lo más bajo posible, los valores de RSR deberán ser elevados.
- 2.49 **Rendimiento:** Valor del *kerma* en aire incidente sin retrodispersión, por unidad de carga del tubo, a una distancia del foco y para unos factores radiográficos que deben ser especificados. Suele expresarse en $\mu\text{Gy/mAs}$.
- 2.50 **Repetibilidad de los resultados de las medidas:** Grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones que deben ser efectuadas con aplicación de las mismas condiciones de medida. La repetibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de dispersión de los resultados. Se puede estimar como el coeficiente de variación de los valores individuales medidos.
- 2.51 **Reproducibilidad de los resultados de las medidas:** Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones que deben ser efectuadas bajo diferentes condiciones de medida. Para que una expresión de la reproducibilidad sea válida, es necesario especificar las condiciones que han variado. La reproducibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de la dispersión de los resultados. Se puede estimar como el coeficiente de variación de los valores individuales medidos.
- 2.52 **Resolución espacial:** En un sistema de imagen, está relacionado con el menor tamaño de un objeto o la mayor frecuencia espacial de una serie de objetos de contraste dado que es

perceptible. Suele determinarse utilizando un patrón con grupos de barras que difieren entre sí en el número de barras por unidad de longitud o pares de líneas/mm (pl/mm). La resolución espacial viene dada por el valor más alto de pl/mm que se visualizan.

2.53 **Ruido de fondo:** Señal obtenida en un sistema digital cuando no es sometido a ningún tipo de irradiación, salvo la de fondo.

2.54 **Tolerancias o valores límites:** Intervalo de variación aceptable de los parámetros que están siendo medidos. Si la tolerancia se supera es necesario aplicar medidas correctoras, aunque el equipo pueda seguir funcionando para uso clínico. Si el parámetro es esencial y los valores obtenidos incumplen ampliamente las tolerancias, la aplicación de las medidas correctoras deberá ser inmediata.

2.55 **Uniformidad:** Constancia de los valores de un parámetro cuando se realizan varias medidas (≥ 5) en distintos puntos del espacio. Salvo que en alguna prueba en particular se indique un método distinto, puede estimarse como la máxima desviación, en valor absoluto, entre los valores individuales (X_i) y el valor medio (X_{medio}). Se puede expresar en términos relativos, en %, mediante la expresión:

$$\frac{|X_i - X_{media}|_{max}}{X_{media}} * 100$$

2.56 **Valor de referencia de dosis:** Valor de una magnitud relacionada con la dosis, obtenido a través de evaluaciones a pacientes de talla normal con procedimientos reglados y que puede usarse como guía para decidir si procede tomar medidas correctoras.

2.57 **Valor Medio del Píxel (VMP):** Para una *ROI* seleccionada, es la media aritmética de los valores de los *píxeles* contenidos en dicha *ROI*.

3. Pruebas para el control de calidad a equipos convencionales de radiografía de propósitos generales

3.1. Inspección visual de la sala de rayos X

Objetivo: Comprobar las condiciones de seguridad física y radiológica que garanticen el uso seguro del equipo de rayos X.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.3; 7.4; 7.5; 7.12]

Instrumentación: No se precisa.

Frecuencia: Diaria.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología: Evaluar el entorno y/o ambiente de trabajo del equipo, confirmando la presencia de requisitos de seguridad física y radiológica establecidos para este tipo de instalaciones, por ejemplo: dimensiones de la sala, presencia de objetos ajenos a la misma, sistema de ventilación, blindajes de paredes y puertas, delimitación de áreas y accesos, entre otros.

En el Anexo I se presenta una lista de chequeo con los principales aspectos a verificar para este tipo de salas.

Tolerancias: No aplican.

Recomendaciones y acciones correctivas: Comunicar al jefe del servicio y al responsable de protección radiológica cualquier no conformidad detectada.

3.2. Inspección visual del equipo

Objetivo: Constatar el estado físico, desplazamientos y movimientos mecánicos de todos los componentes y accesorios de la unidad radiográfica.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.1; 7.3]

Instrumentación: No se precisa.

Frecuencia: Diaria, antes de iniciar el trabajo.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Inspeccionar el estado físico de todos los componentes y accesorios del equipo. Se debe prestar atención a los elementos que pueden suponer un peligro para los operadores o los pacientes, tales como:
 - cables deshilachados, que al quedar expuestos pueden provocar un *shock* eléctrico
 - bordes afilados
 - paradas de emergencia
 - mesa radiológica
 - generador
 - soporte del tubo de rayos X
 - colimador
 - *bucky*
 - enclavamientos no funcionales.
- b) Evaluar su estabilidad, tanto en posición libre como inmóvil, comprobando que los movimientos mecánicos, frenos, dispositivos asociados e indicadores del panel de control, operan correctamente.

En el Anexo II se presenta una lista de chequeo con los parámetros fundamentales a comprobar.

Tolerancias: Todos los movimientos, frenos, controles e indicadores del equipo deben funcionar correctamente.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y personal de electromedicina cuando el resultado de la evaluación incumpla las tolerancias establecidas.

3.3. Pruebas geométricas

3.3.1. Exactitud del indicador de la distancia foco-receptor de imagen.

Objetivo: Verificar las escalas indicadoras de distancia fuente-receptor de imagen, así como la posición del foco en la carcasa del tubo de rayos X.

Prioridad: Deseable.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.8; 7.10]

Instrumentación: Cinta métrica o lámina de plomo con orificio circular de diámetro conocido y chasis cargados.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- **Si se conoce la ubicación del punto focal.**
 - a) Seleccionar una distancia foco-película (DFP) de 100 cm o aquella de mayor uso en la clínica.
 - b) Comprobar con ayuda de una cinta métrica el valor indicado por el telémetro del equipo, Figura 1.



Figura 1. Evaluación de la exactitud de la escala indicadora, cuando se conoce la posición del punto focal

- c) Determinar la exactitud del valor indicado mediante la expresión:

$$E(\%) = \left(\frac{X_{medido} - X_{indicado}}{X_{indicado}} \right) * 100 \quad (1)$$

donde:

E (%): exactitud expresada en por ciento.

X_{medido}: valor de la distancia medida con ayuda de la cinta métrica.

X_{indicado}: valor de la distancia indicada por el telémetro del equipo.

- **Si se desconoce la ubicación del punto focal.**
 - a) Ubicar la lámina de plomo a la salida del colimador.
 - b) Colocar un chasis cargado con una película radiográfica sobre la mesa radiológica.
 - c) Centrar el tubo de rayos X sobre dicho receptor de imagen.
 - d) Medir la distancia entre la lámina de plomo y el chasis cargado.
 - e) Posicionar otro chasis en el *Bucky* de mesa, Figura 2.

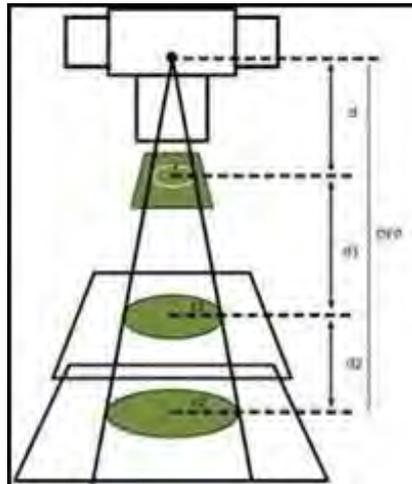


Figura 2. Geometría a emplear para la determinación de la distancia foco-película cuando no se conoce la ubicación del punto focal

- f) Efectuar una exposición empleando para ello 50 kV; 10 mAs (100 mA y 0,1 s). De ser necesario ajustar dichos parámetros.
- g) Procesar las películas de manera usual.
- h) Determinar los diámetros de las imágenes del orificio de la lámina de plomo obtenida sobre ambas películas.
- i) Hallar las distancias foco-salida del colimador y foco-película, mediante las expresiones:

$$d = \frac{rd_1}{r_1 - r} \quad (2)$$

$$d = \frac{r(d_1 + d_2)}{r_2 - r} \quad (3)$$

$$DFP = d + d_1 + d_2 \quad (4)$$

donde:

d: distancia foco-lámina de plomo.

r: radio real del orificio de la lámina de plomo.

r₁: radio del orificio de la lámina de plomo visualizado en la película ubicada sobre la mesa.

d₁: distancia lámina de plomo-chasis colocado sobre mesa radiológica.

d₂: distancia chasis ubicado sobre mesa radiológica-chasis posicionado en *bucky* de mesa.

r₂: radio del orificio de la lámina de plomo visualizado en la película ubicada en el *bucky* de mesa.

DFP: distancia foco-película.

Tolerancias: Exactitud < 4 %.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

Observaciones: El indicador de la distancia foco-película permite al técnico ajustar adecuadamente la posición del foco a la distancia de focalización de la rejilla o a la distancia que se precise según los protocolos de exploración. Debe comprobarse si las indicaciones se refieren a la distancia foco-mesa o foco-película.

3.3.2. Tamaño mínimo del campo de radiación.

Objetivo: Garantizar la posibilidad de reducir el campo al tamaño mínimo imprescindible, compatible con las necesidades de la exploración.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.10]

Instrumentación: Chasis cargado con película radiográfica y regla graduada.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Colocar un chasis cargado en el *bucky* de mesa o encima de la mesa radiológica.
- b) Seleccionar una DFP de 100 cm.
- c) Cerrar uno de los diafragmas del colimador, por ejemplo, el vertical y abrir al máximo el otro.
- d) Efectuar una exposición.
- e) Invertir el estado de los diafragmas, es decir, abrir ahora el vertical y cerrar el horizontal.
- f) Llevar a cabo una segunda exposición.
- g) Procesar la película radiográfica, bajo condiciones normales de uso del servicio.

Tolerancias: ≤ 5 cm en ambas direcciones a 100 cm de la distancia foco-receptor de imagen.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.3.3. Definición del campo luminoso.

Objetivo: Chequear la definición del campo luminoso bajo las condiciones habituales de funcionamiento del servicio.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.10]

Instrumentación: Cinta métrica o regla graduada y fotómetro.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- **Simetría.**
 - a) Desplazar el tubo de rayos X hasta alcanzar una distancia foco-mesa (DFM) de 100 cm.
 - b) Seleccionar el tamaño de campo a evaluar, por ejemplo, 20 cm x 20 cm.
 - c) Activar la luz del colimador.
 - d) Medir la distancia desde el centro de la cruceta a cada uno de los bordes del campo de luz, verificando siempre ambas direcciones, Figura 3.

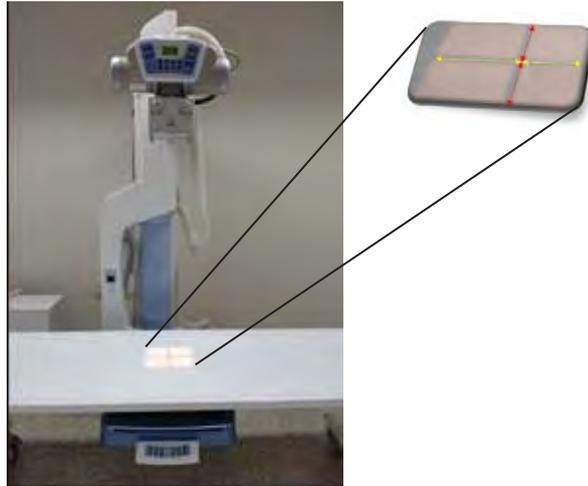


Figura 3. Evaluación de la simetría del campo de luz

Tolerancias: La diferencia entre las distancias medidas desde el centro de la cruceta a cada uno de los bordes debe ser < 1 cm.

Observaciones: Repita el procedimiento para tamaños de campos menores.

- **Penumbra.**

- Medir la zona de penumbra existente sobre cada borde del campo de luz una vez concluido el análisis de la simetría, Figura 4.



Figura 4. Determinación cuantitativa de la penumbra en los bordes del campo de luz visualizado. La región enmarcada entre las líneas continuas y discontinuas constituyen la zona de penumbra

Tolerancias: < 1 cm.

- **Iluminación.**

Evaluación visual:

- Observar desde el panel de control, bajo las condiciones habituales de iluminación de la sala, cuan distinguible es el campo de luz.

Evaluación cuantitativa:

- Apagar la luz de la sala.
- Colocar el dispositivo de medida, fotómetro, en la posición del campo de entrada, Figura 5.



Figura 5. Ubicación del fotómetro para la medida cuantitativa de la iluminación del campo de luz

- c) Realizar la medida.
- d) Cambiar la ubicación del fotómetro al resto de los cuadrantes delimitados por la cruceta del colimador.
- e) Valorar con estas cuatro medidas la uniformidad del campo de luz.

Tolerancias:

Evaluación cualitativa (visual)	Evaluación cuantitativa
Iluminación por encima de la luz ambiental	a modo indicativo > 50 lux

Recomendaciones y acciones correctivas: Comunicar al jefe del servicio y al ingeniero de electromedicina de la institución el incumplimiento de las tolerancias indicadas.

3.3.4. Coincidencia o alineación entre el campo de radiación y el campo luminoso.

Objetivo: Demostrar que el campo luminoso es congruente con el campo de radiación, para evitar así irradiaciones innecesarias al paciente, permitiendo además simular y visualizar tanto el tamaño, forma, como localización de este último.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Cinta métrica, chasis cargado con película radiográfica y herramienta de colimación o marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- **Si se posee herramienta de colimación y objeto de alineación.**
 - a) Colocar un chasis cargado sobre la mesa radiológica o en el *bucky* de mesa.
 - b) Desplazar el tubo de rayos X hasta alcanzar una DFP de 100 cm. Centrarlo respecto al chasis.
 - c) Activar el campo de luz del colimador.
 - d) Ubicar la herramienta de colimación sobre el chasis.
 - e) Ajustar los ejes de la herramienta de colimación con los bordes del campo de luz proyectado, Figura 6.

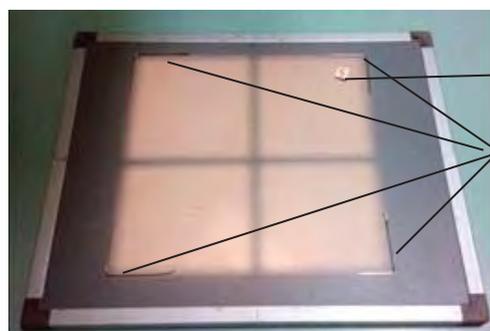


Figura 6. Posicionamiento de la herramienta de colimación

- f) Efectuar una exposición con una técnica radiográfica aproximadamente igual a 70 kV y 2 mAs. Ajustar en caso de ser necesario.
- g) Abrir los colimadores de forma tal que el haz de luz desborde los límites de la herramienta de colimación.
- h) Llevar a cabo una segunda exposición usando el mismo valor de tensión y la mitad de la carga del tubo que la empleada en el inciso f.
- i) Procesar la película bajo las condiciones habituales del servicio.
- j) Medir sobre la imagen obtenida la discrepancia existente entre cada borde del campo de luz y el de radicación, ya sea en la dirección horizontal como en la vertical.

• **Si no se posee herramienta de colimación y objeto de alineación.**

- a) Colocar un chasis cargado sobre la mesa radiológica.
- b) Desplazar el tubo de rayos X hasta alcanzar una DFP de 100 cm. Centrarlo respecto al chasis.
- c) Activar el campo de luz del colimador.
- d) Seleccionar un tamaño de campo de 20 cm x 20 cm u otro que se desee verificar.
- e) Delimitar el campo seleccionado con ayuda de marcadores radiopacos.
- f) Situar un marcador adicional para identificar la posición de la película respecto a la del operador, Figura 7.



Marcador radiopaco para identificar posición

Marcadores radiopacos que delimitan el campo de luz

Figura 7. Delimitación del campo de luz con marcadores radiopacos

- g) Seleccionar factores de exposición tales que garanticen una densidad óptica adecuada, que permita la interpretación de los resultados, por ejemplo: 50 kV y 2,0 mAs.
- h) Realizar una exposición.
- i) Abrir los colimadores, sin variar la geometría, hasta superar el campo delimitado por los marcadores radiopacos, Figura 8.



Figura 8. Apertura del colimador hasta alcanzar los bordes del chasis

- j) Realizar una segunda exposición empleando el mismo valor de tensión y la mitad de la carga del tubo seleccionada en el inciso g.
- k) Procesar la película radiográfica, bajo condiciones habituales de uso del servicio.
- l) Determinar las discrepancias, con ayuda de una regla graduada, entre los bordes del campo luminoso y el de radiación, tanto en la dirección horizontal (X1 y X2) como en la vertical (Y1 y Y2)), Figura 9.

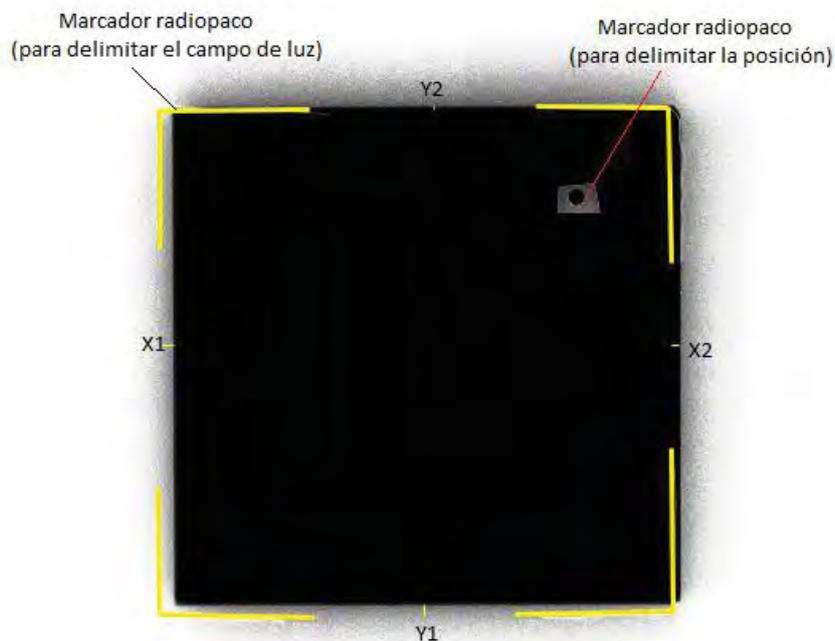


Figura 9. Evaluación de las diferencias existentes en ambas direcciones, entre el campo de luz y el campo de radiación

- m) Sumar las discrepancias en cada dirección, sin importar el signo.
- n) Determinar la desviación total, a partir de la suma de los valores obtenidos anteriormente.

Tolerancias:

Desviaciones absolutas		Suma total de las desviaciones
Borde izquierdo-Borde derecho	Borde anterior-Borde posterior	3 % de la DFP
± 2 % de la DFP		

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

Observaciones: El campo de radiación no debe ser mayor que el campo de luz.

3.3.5. Discrepancia entre los centros geométricos del campo de luz y el de radiación (centrado del haz de rayos X/haz luminoso).

Objetivo: Verificar que el centro del campo de rayos X y el centro del haz de luz están alineados.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Chasis cargado con película radiográfica, marcadores radiopacos, cinta métrica o regla graduada y lápiz cristalográfico.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- a) Utilizar la radiografía obtenida en el procedimiento descrito en la prueba anterior.
- b) Trazar las diagonales correspondientes tanto al campo de luz como al de radiación. Las intercepciones originadas por ellas corresponderán a los centros geométricos de cada campo.
- c) Medir la distancia entre ambos centros geométricos, Figura 10.

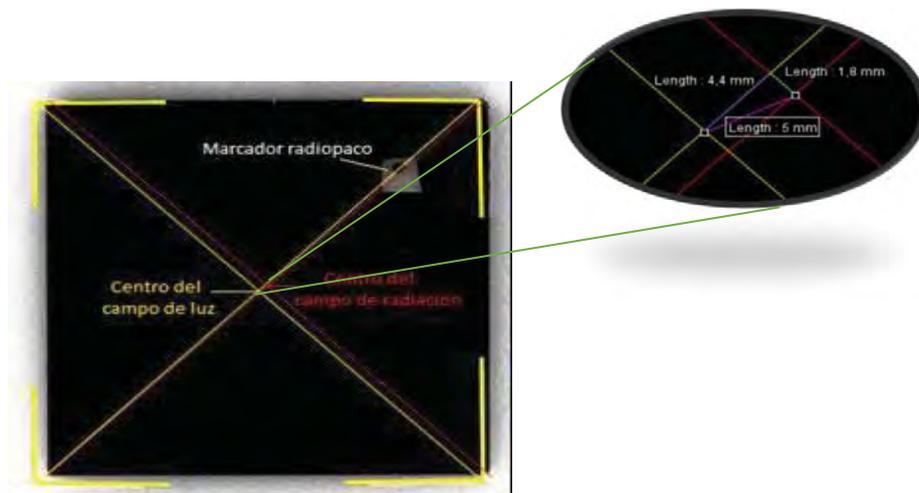


Figura 10. Determinación de la divergencia entre los centros geométricos del campo de luz y el de radiación

Tolerancia: Desviación de ± 1 % con respecto a la distancia del foco-detector de imagen.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.3.6. Ortogonalidad del haz de rayos X y el receptor de imagen.

Objetivo: Comprobar la perpendicularidad existente entre el eje central del haz de radiación con el plano del receptor de imagen.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Cinta métrica, chasis cargado con película radiográfica, herramienta de colimación y objeto de alineación.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- a) Colocar un chasis cargado sobre la mesa radiológica o en el *bucky* de mesa.
- b) Desplazar el tubo de rayos X hasta alcanzar una DFP de 100 cm. Centrarlo respecto al chasis.
- c) Activar el campo de luz del colimador.
- d) Ubicar la herramienta de colimación sobre el chasis.
- e) Situar el objeto de alineación de forma tal que quede centrado con respecto a los ejes de la herramienta de colimación y del haz luminoso, Figura 11.



Figura 11. Posicionamiento de la herramienta de colimación y objeto de alineación

- f) Efectuar una exposición. Se recomienda utilizar un valor de tensión de 70 kV y una carga del tubo de 2 mAs. En caso de ser necesario, ajustar los mAs convenientemente.
- g) Procesar la imagen bajo las condiciones habituales del servicio.
- h) Visualizar la imagen obtenida para deducir el ángulo de inclinación del tubo de rayos X respecto al receptor de imagen, Figura 12.

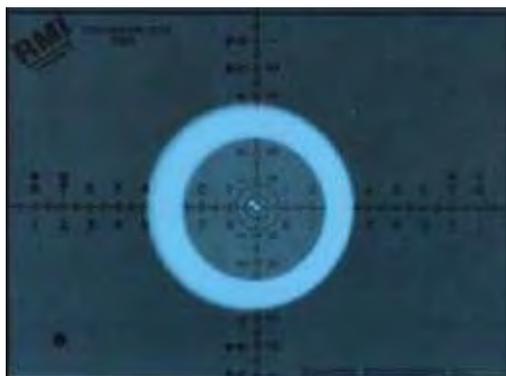


Figura 12. Imagen para la evaluación de la ortogonalidad entre el haz de radiación y el receptor de imagen

- i) Tener en cuenta, que si la imagen de la esfera superior del objeto de alineación se encuentra:
- dentro del primer círculo, la inclinación será $< 1,5^\circ$
 - entre el primer y segundo círculo, la inclinación será $< 3^\circ$
 - cuando la imagen de la esfera superior del objeto de alineación, intercepta o supera el segundo círculo, la inclinación será $> 3^\circ$.

Tolerancias: Inclinación $< 1,5^\circ$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

Observaciones: La falta de perpendicularidad puede provocar afectaciones en la densidad óptica en la imagen radiográfica dado que el haz de radiación no atraviesa de forma ortogonal la rejilla antidifusora.

3.3.7. Tamaño del punto focal.

Objetivo: Examinar el deterioro gradual que puede presentar el tamaño del punto focal del tubo de rayos X, dado la influencia de este en el detalle de la imagen radiológica.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.11]

Instrumentación: Patrón de estrella, dispositivo para montaje del patrón de estrella, cinta métrica y chasis cargado con película radiográfica.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- a) Ubicar el patrón de estrella a la salida del colimador, para lo cual puede auxiliarse de un dispositivo de montaje. Si no posee esta herramienta pegue el patrón de estrella con cinta adhesiva. Asegurar que el haz de rayos X sea perpendicular al patrón y que pasa a través de su centro geométrico.
- b) Medir con ayuda de una cinta métrica la distancia que existe desde el punto focal al patrón de estrella. Registrar este valor.

- c) Colocar un chasis cargado con una película radiográfica sobre la mesa radiológica. Garantizar que la distancia entre el patrón de estrella y el chasis sea igual a la determinada en el punto anterior. Esto permite obtener una magnificación igual a 2.
- d) Colocar un marcador para identificar la posición de la película, Figura 13.

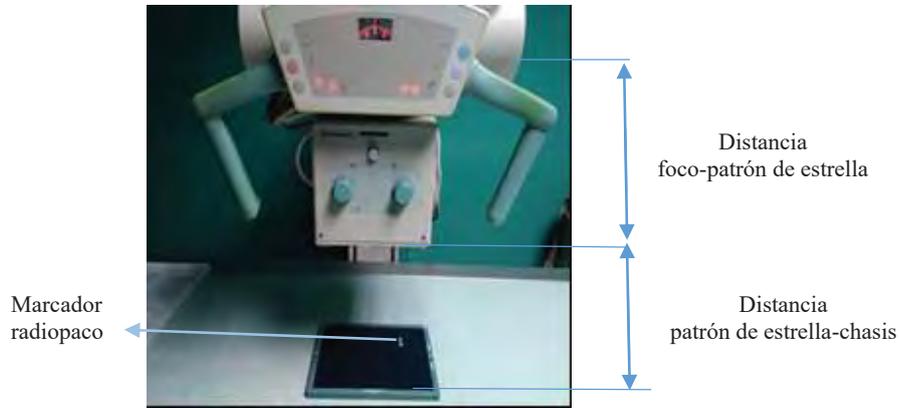


Figura 13. Geometría para la determinación del tamaño del punto focal

- e) Seleccionar un potencial y una carga del tubo de rayos X de uso clínico para trabajar con el punto focal grueso.
- f) Procesar la película de modo usual.
- g) Visualizar y explorar la imagen obtenida sobre un negatoscopio hasta encontrar la región en la cual los sectores del patrón de estrella se hacen borrosos. Esta es la región de contraste cero, Figura 14.

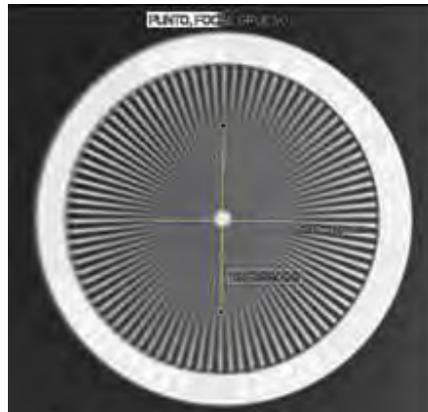


Figura 14. Imagen del patrón de estrella, para la determinación de la región de contraste cero

- h) Medir el diámetro de la región de contraste cero en ambas direcciones, horizontal y vertical. Anotar dicho valor.
- i) Determinar el factor de magnificación (m) según:

$$m = \frac{\text{Diámetro del patrón de estrella sobre la imagen}}{\text{Diámetro real del patrón de estrella}} \quad (5)$$

- j) Calcular el tamaño del punto focal a través de la siguiente expresión:

$$k) \text{ TPF (mm)} = \left(\frac{N}{57,3} \right) \left(\frac{d}{m-1} \right) \quad (6)$$

donde:

N: ángulo del patrón de estrella.

d: diámetro de la borrosidad determinado sobre la imagen radiográfica.

m: factor de magnificación.

k) Repetir el procedimiento para el punto focal fino.

En la Figura 15 se muestran las imágenes de los posibles patrones de estrella a emplear para esta prueba, mientras que en la Tabla 1 se presentan sus principales características.



Figura 15. Patrones de estrellas. A la izquierda aparece el patrón completo. A la derecha el patrón de cuatro sectores

Tabla 1. Características de los patrones de estrellas

Tipo de patrón	Nº	Resolución (pl/mm)	Espesor de plomo (Pb)	Diámetro (mm)	Observaciones
Completo	L659043	0,85....16 continuamente	0,03	55	1,5°
	L659044	0,64....10 continuamente	0,05	55	2,0°
Cuatro sectores	L659083	0,63....20 continuamente	0,03	55	0,5°
	L659084	0,27....16 continuamente	0,05	55	1,0°
	L659085	0,85....16 continuamente	0,03	55	1,5°
	L659086	0,64....10 continuamente	0,03	55	2,0°

Tolerancias: Los valores permisibles de las dimensiones del tamaño del punto focal según valor nominal son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores permisibles del tamaño del punto focal

Valor nominal (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
0,3	0,30-0,45	0,45-0,65
0,4	0,40-0,60	0,60-0,85
0,5	0,50-0,75	0,70-1,10
0,6	0,60-0,90	0,90-1,30
0,7	0,70-1,10	1,00-1,50
0,8	0,80-1,20	1,10-1,60
0,9	0,90-1,30	1,30-1,80
1,0	1,00-1,40	1,40-2,00
1,1	1,10-1,50	1,60-2,20

Tabla 2. Valores permisibles del tamaño del punto focal (continuación)

Valor nominal (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)
1,2	1,20-1,70	1,70-2,40
1,3	1,30-1,80	1,90-2,60
1,4	1,40-1,90	2,00-2,80
1,5	1,50-2,00	2,10-3,00
1,6	1,60-2,10	2,30-3,10
1,7	1,70-2,20	2,40-3,20
1,8	1,80-2,30	2,60-3,30
1,9	1,90-2,40	2,70-3,50
2,0	2,00-2,60	2,90-3,70
2,2	2,20-2,90	3,10-4,00
2,4	2,40-3,10	3,40-4,40
2,6	2,60-3,40	3,70-4,80
2,8	2,80-3,60	4,00-5,20
3,0	3,00-3,90	4,30-5,60

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.4. Rejilla

3.4.1. Factor de exposición de la rejilla.

Objetivos: Corroborar el factor de rejilla (FR).

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.10]

Instrumentación: Medidor de exposición. Alternativamente puede utilizarse un maniquí de polimetacrilato de metilo (PMMA) o una cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y densitómetro.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- **Mediante el empleo de medidor de exposición.**
 - a) Colocar el medidor de exposición sobre la mesa radiológica y centrarlo con respecto al haz de radiación, Figura 16.



Figura 16. Medidor de exposición ubicado sobre la mesa radiológica, centrado con respecto al haz de radiación

- b) Anotar la distancia existente entre el foco del tubo de rayos X y el punto donde se encuentra situado el medidor de exposición (f_1).
- c) Efectuar una exposición y registrar el valor medido (D_1).
- d) Emplazar el medidor de exposición en un punto ubicado debajo del sistema de rejilla (en el *bucky* de mesa), centrado respecto al haz de radiación, Figura 17.



Figura 17. Medidor de exposición situado en la bandeja del *bucky* de mesa, debajo del sistema de rejilla

- e) Anotar la nueva distancia que separa ahora al foco del tubo de rayos X con el medidor de exposición (f_2).
- f) Llevar a cabo una segunda exposición bajo estas condiciones y registrar el valor obtenido (D_2).
- g) Calcular el factor de rejilla a través de la relación:

$$FR = \frac{D_1 f_1^2}{D_2 f_2^2} \quad (7)$$

- **Utilizando maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, simulando el espesor de un paciente.**
- a) Posicionar un chasis cargado sobre la mesa radiológica y centrarlo con respecto al haz de radiación.
- b) Colocar el maniquí que simula el espesor del paciente sobre el chasis, Figura 18.



Figura 18. Geometría inicial. Maniquí de PMMA y sistema de detección sobre mesa radiológica

- c) Seleccionar factores de exposición tales que permitan obtener una imagen con una densidad óptica próxima a 1.
- d) Anotar dichos valores.
- e) Realizar una exposición.
- f) Revelar la película radiográfica bajo condiciones habituales.
- g) Colocar ahora el chasis en el *bucky*, mientras mantiene el maniquí que simula el espesor del paciente sobre la mesa radiológica, centrado con respecto al haz de radiación, Figura 19.



Figura 19. Geometría final para la determinación del FR cuando se utiliza un maniquí de PMMA

- h) Repetir los pasos indicados en los incisos del c al f.
- i) Determinar el factor de rejilla como el cociente entre los mAs necesarios para obtener ambas imágenes.

Tolerancias: No se describen tolerancias para esta prueba, aunque se consideran valores típicos del FR entre 4 y 5 para radiografía convencional.

Recomendaciones: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.4.2. Estado y movimiento de la rejilla.

Objetivos: Verificar:

- el adecuado desempeño de la rejilla
- la no presencia de artefactos en las imágenes debido a su movimiento.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [6.1; 6.10; 6.11]

Instrumentación: Chasis cargado con película radiográfica y lupa.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Posicionar el chasis cargado con una película radiográfica en el portachasis o *bucky*.
- b) Elegir una tensión del tubo de rayos X próxima a 50 kV y un mAs tal que conduzca a la obtención de una imagen con una densidad óptica próxima a 1.
- c) Exponer la película radiográfica.
- d) Visualizar en un negatoscopio, con ayuda de una lupa, la imagen obtenida.
- e) Identificar la presencia o no del patrón de líneas de la rejilla.

Tolerancias: No debe observarse la presencia de artefactos debido al movimiento de la rejilla.

Recomendaciones: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.5. Calidad del haz

3.5.1. Exactitud de la tensión.

Objetivos: Comprobar el grado de correspondencia entre el potencial medido con respecto al nominal, indicado en el panel de control.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor no invasivo de kV.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Posicionar el instrumento de medida sobre la mesa radiológica y centrarlo con respecto al haz de radiación.
- b) Establecer la geometría recomendada por el fabricante del kilovoltímetro, la cual siempre debe mantenerse para futuras evaluaciones, Figura 20.



Figura 20. Geometría para evaluación de la exactitud de la tensión

- c) Encender el kilovoltímetro y prepararlo para el trabajo según las instrucciones del fabricante. Esperar suficiente tiempo para que se caliente y estabilice. En caso necesario seleccionar la forma de onda deseada y el material del ánodo.
- d) Ajustar el tamaño del campo de radiación al volumen sensible del instrumento.
- e) Elegir en el panel de control del generador, aquellos potenciales que desee comprobar dentro del rango más utilizado clínicamente.
- f) Utilizar además un valor de mAs suficiente, en correspondencia con la tensión elegida.
- g) Anotar estos parámetros, los que serán empleados como referencia para futuras evaluaciones.
- h) Realizar una exposición para cada kV, comenzando por el valor más alto, variándolo en orden descendente.
- i) Registrar las medidas llevadas a cabo.
- j) Determinar la exactitud del potencial indicado según:

$$E(\%) = \left(\frac{kV_{medido} - kV_{nominal}}{KV_{nominal}} \right) * 100 \quad (8)$$

donde:

kV_{medido} : valor medido de la tensión del tubo de rayos X.

$kV_{nominal}$: valor nominal de la tensión del tubo de rayos X.

Tolerancias: Exactitud $< \pm 10 \%$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.5.2. Repetibilidad de la tensión del tubo de rayos X.

Objetivos: Verificar el comportamiento de la tensión en el tiempo.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor no invasivo de kV.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Efectuar tres exposiciones, bajo la misma geometría del apartado 3.5.1, para aquel valor de tensión de mayor uso clínico, por ejemplo, 80 kV.
- b) Hallar la repetibilidad del kV, como el coeficiente de variación (CV) de las medidas efectuadas, utilizando para ello la ecuación:

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{kV\text{medidos}}}{kV_{\text{medio}}} \right) * 100 \quad (9)$$

donde:

$DE_{kV\text{medidos}}$: desviación estándar resultante de los valores de tensión medidos.

kV_{medio} : valor medio de las medidas realizadas.

Tolerancias: $CV < \pm 5 \%$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.5.3. Reproducibilidad de la tensión del tubo de rayos X.

Objetivos: Contrastar el comportamiento de la tensión al variar la carga del tubo de rayos X.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor no invasivo de kV.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Evaluar la reproducibilidad, bajo la misma geometría del apartado 3.5.1, para un valor fijo de tensión, por ejemplo, 80 kV, variando la corriente o la carga del tubo de rayos X.
- b) Efectuar de tres a cinco exposiciones para cada valor de mAs.
- c) Hallar el CV empleando la expresión 9.

Tolerancias: $CV < \pm 10 \%$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina, el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.5.4. Capa hemirreductora.

Objetivo: Chequear que la filtración del equipo es superior al mínimo recomendable, para que el paciente no reciba una dosis elevada en la piel debido a la radiación de baja energía, la cual es innecesaria por no contribuir a la formación de la imagen.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor de exposición, filtros de aluminio de pureza superior a 99,5 % y cinta métrica.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Posicionar el medidor de exposición sobre la mesa radiológica. Si se trata de una cámara de ionización, emplazarla a una altura suficiente para evitar la radiación dispersa, por ejemplo, > 10 cm.
- b) Establecer una distancia foco-detector (DFD) entre 75-100 cm.
- c) Fijar un tamaño de campo de 10 cm x 10 cm, centrado sobre el medidor de exposición.
- d) Colocar el dispositivo para el posicionamiento de los filtros de aluminio, Figura 21.



Figura 21. Geometría para la determinación de la capa hemirreductora (CHR)

- e) Preparar el dosímetro para el trabajo según las instrucciones del fabricante. Esperar suficiente tiempo para que se caliente y estabilice.
- f) Seleccionar la opción de medida de exposición.
- g) Escoger en el panel de control aquella estación de potencial cuyo valor medido sea 80 kVp o el más próximo a él, así como un mAs de uso clínico.
- h) Ejecutar tres exposiciones sin filtro. Anotar las lecturas indicadas por el detector.
- i) Hallar el valor medio de las mismas.
- j) Colocar el filtro de aluminio de menor espesor, sin variar la geometría, y realizar una exposición, Figura 22.

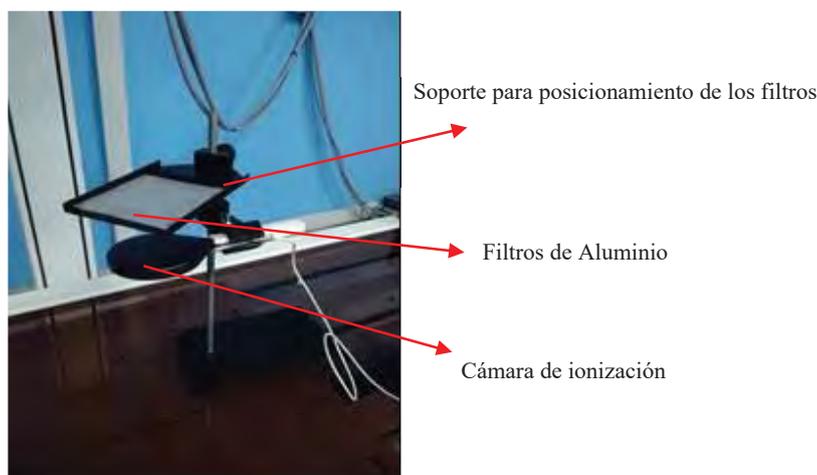


Figura 22. Ubicación de los filtros de Aluminio

- k) Comprobar si el valor reportado por el electrómetro se redujo un 50 % o menor, del obtenido sin filtración, inciso i. Si este resultado no fue conseguido, adicionar otro filtro de aluminio, siempre de menor a mayor espesor.
- l) Repetir el proceder hasta lograr una reducción de la lectura ligeramente inferior al 50 % de la conseguida sin filtración, inciso i.
- m) Asentar en la hoja de datos este valor.
- n) Retirar todos los filtros y repetir la exposición para garantizar que no hubo variación significativa en la intensidad inicial del haz. Registrar el resultado.
- o) Determinar la CHR a través de la expresión:

$$CHR = \frac{[t_2 \ln(\frac{2x_1}{x_0}) - t_1 \ln(\frac{2x_2}{x_0})]}{\ln(\frac{x_1}{x_2})} \quad (10)$$

donde:

x_0 : valor promedio de la exposición medida sin filtro.

t_1 y t_2 : espesores de filtros de aluminio correspondientes a las exposiciones x_1 y x_2 respectivamente entre las cuales se encuentra la capa hemirreductora.

- p) Reiterar el procedimiento para otros valores de tensión del tubo de rayos X.

Tolerancias:

Equipos con tensiones ≤ 70 kV	Equipos con tensiones ≥ 70 kV
Filtración $> 1,50$ mm equivalentes de Al	Filtración $> 2,50$ mm equivalentes de Al

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y personal de electromedicina sobre los resultados obtenidos, que denoten discrepancias con las tolerancias establecidas.

Observaciones:

- un valor de CHR por debajo del mínimo aceptado puede ser causado por una filtración del tubo inadecuada. Un valor de CHR excesivamente alta es indicadora de una filtración excesiva o quizás un indicador de metalización del tubo. Ambos casos representan situaciones en las que deben tomarse decisiones y medidas inmediatas para su solución;

- los equipos dedicados a pediatría deberían disponer de una filtración adicional de 0,10 ó 0,20 mm de Cu.

3.6. Tiempo de exposición

3.6.1. Exactitud y repetibilidad del tiempo de exposición.

Objetivo: Determinar que el tiempo de exposición medido se corresponde con el indicado por el equipo.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor no invasivo de tiempos de exposición.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Posicionar el medidor de tiempo de exposición sobre la mesa radiológica.
- Situar el tubo de rayos X a una distancia entre 75 y 100 cm.
- Ajustar el tamaño del campo al volumen sensible del medidor, Figura 20.
- Seleccionar sobre el panel de control del equipo el tiempo de exposición a evaluar, para un valor de tensión y corriente fijos.
- Realizar de tres a cinco exposiciones.
- Registrar los valores reportados por el medidor de tiempo.
- Determinar la exactitud del tiempo de exposición según la expresión.

$$E(\%) = \left(\frac{t_{\text{medio}} - t_{\text{indicado}}}{t_{\text{indicado}}} \right) * 100 \quad (11)$$

donde:

t_{medio} : valor medio de las lecturas obtenidas del tiempo de exposición.

t_{indicado} : valor nominal del tiempo de exposición.

- Determinar la repetibilidad a partir del cálculo del CV, según la expresión:

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{\text{medidos}}}{t_{\text{medio}}} \right) * 100 \quad (12)$$

donde:

DE_{medidos} : desviación estándar resultante de los tiempos medidos.

t_{medio} : valor medio de las medidas efectuadas.

- Repetir el procedimiento para otros valores de tiempo.

Tolerancias:

Tiempo indicado	Exactitud (%)	Repetibilidad (%)
> 20 ms	< 10	CV < ± 5
≤ 20 ms	Especificaciones del fabricante	CV < 10

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.6.2. Reproducibilidad del tiempo de exposición.

Objetivo: Constatar el comportamiento del tiempo de exposición al variar la tensión del tubo y/o la intensidad de la corriente.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Medidor no invasivo de tiempos de exposición.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Seleccionar un tiempo de exposición mayor a 20 ms.
- b) Definir varios valores de tensión del tubo de rayos X y/o intensidad de la corriente (mA), para los cuales será evaluado el tiempo de exposición.
- c) Realizar de tres a cinco exposiciones para cada valor de kV o mA especificado.
- d) Anotar los valores indicados por el instrumento de medida.
- e) Determinar la reproducibilidad a través del CV, según la ecuación 12.
- f) Repetir todo el procedimiento para un tiempo de exposición inferior a 20 ms.

Tolerancias: $CV < \pm 10 \%$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.7. Rendimiento

3.7.1. Valor del rendimiento y repetibilidad.

Objetivo: Verificar la constancia en la respuesta del generador de rayos X.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Detector de radiación, electrómetro y cinta métrica.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Colocar el medidor de exposición sobre la mesa radiológica, cuando se trate de una cámara de ionización, ubicarlo a una altura de esta, de forma tal que se evite la influencia de la radiación retrodispersa, Figura 23.

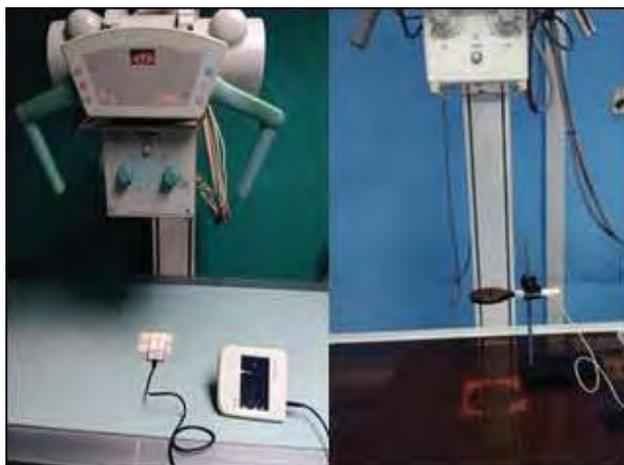


Figura 23. Posicionamiento del sistema de medida. A la izquierda cuando se trata de un detector semiconductor, mientras que a la derecha cuando se lleva a cabo con una cámara de ionización

- b) Seleccionar una DFD entre 75 y 100 cm. De preferencia se emplean 100 cm para evitar de esta forma la corrección por distancia.
- c) Colimar el haz de radiación de modo que cubra el volumen sensible del detector.
- d) Preparar el sistema dosimétrico según instrucciones del fabricante.
- e) Elegir un valor de tensión y mAs de uso clínico, por ejemplo, 80 kV teniendo en cuenta que las tolerancias están referidas a esta tensión y 10 mAs.
- f) Efectuar cinco exposiciones, anotando los valores indicados por el instrumento.
- g) Hallar el valor medio de las lecturas obtenidas.
- h) Calcular el valor del rendimiento expresado en $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ a través de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{M}{mAs} \left(\frac{DFD}{100} \right)^2 \quad (13)$$

donde:

R: rendimiento.

M: valor medio de las lecturas proporcionadas por el dosímetro.

- i) Determinar para cada exposición efectuada en el inciso f el valor del rendimiento.
- j) Estimar el valor medio de los rendimientos obtenidos anteriormente.
- k) Hallar el coeficiente de variación (CV) según la expresión:

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{\text{Rendimientos medidos}}}{R_{\text{medio}}} \right) * 100 \quad (14)$$

donde:

$DE_{\text{Rendimientos medidos}}$: desviación estándar estimada a partir de los valores del rendimiento hallados para cada exposición efectuada y un mismo valor de tensión.

R_{medio} : media aritmética de los valores del rendimiento.

- j) Repetir el proceder para otros valores de tensión.

Tolerancias:

Condiciones de medida	Valor del Rendimiento (μGy/mAs)	Repetibilidad (%)
DFD: 100 cm	Entre 30 y 65	CV < 5
kV: 80		
Filtración total: 2,50-5,00 mm Al		

Recomendaciones y acciones correctivas: Solicitar la presencia del personal de electromedicina ante la verificación de valores del rendimiento fuera del rango especificado.

3.7.2. Linealidad del rendimiento.

Objetivo: Verificar la linealidad en la respuesta del generador de rayos X.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Detector de radiación, electrómetro y cinta métrica.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Identificar varios valores de intensidad de la corriente, pasos consecutivos, para los cuales será realizada la prueba.
- Fijar un valor de tensión y de tiempo, por ejemplo 80 kV y 0,1 s.
- Realizar entre tres y cinco exposiciones para cada valor de mA.
- Calcular el promedio de las lecturas de las dosis obtenidas para cada mA. Registrar este dato.
- Hallar el valor del rendimiento para cada estación de corriente.
- Determinar la linealidad del rendimiento tomando valores consecutivos de este, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$\text{Linealidad (\%)} = \left(\frac{R_n - R_{n+1}}{R_n + R_{n+1}} \right) * 100 \quad (15)$$

donde:

R_n : valor del rendimiento para la lectura n.

R_{n+1} : valor del rendimiento para la lectura n+1.

Tolerancias:

Condiciones de medida	Linealidad
DFD: 100 cm	< 0,10
kV: 80	
Filtración total: 2,50-5,00 mm Al	

Recomendaciones y acciones correctivas: Solicitar la presencia del personal de electromedicina ante la verificación de valores fuera del rango especificado.

3.8. Control automático de exposición

3.8.1. Repetibilidad y ajuste del control automático de exposición en su posición central.

Objetivo: Constatar que el control automático de exposición (CAE) proporciona imágenes con una densidad óptica constante.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.7; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Ubicar el tubo de rayos X a una distancia de 100 cm con respecto al sistema de detección, *bucky* de mesa.
- Centrar el tubo de rayos X con respecto al *bucky* de mesa.
- Posicionar sobre la mesa radiológica las láminas de PMMA o la cubeta con agua, hasta alcanzar 20 cm, simulando de esta manera el espesor de un paciente adulto. Comprobar que el maniquí cubre los sensores del CAE.
- Colimar el haz a dicha región.
- Situar el chasis en el portachasis o *bucky*, Figura 24.

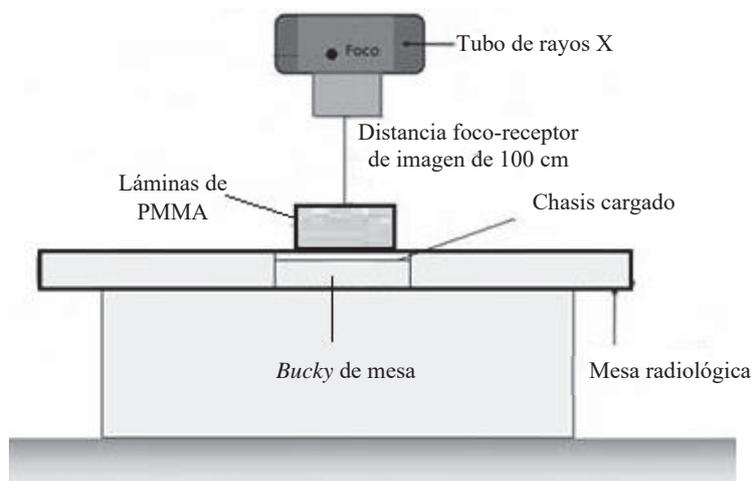


Figura 24. Geometría para la evaluación de la repetibilidad y ajuste del CAE

- Identificar la posición del chasis con ayuda de un marcador radiopaco.
- Seleccionar en el panel de control una tensión de uso clínico, por ejemplo, 80 kV.
- Elegir el sensor del CAE correspondiente a la posición central, Figura 25.

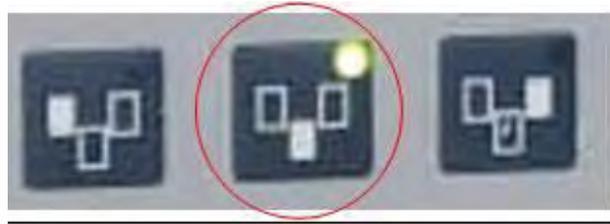


Figura 25. Posición de las cámaras del CAE

- i) Llevar a cabo una exposición.
- j) Registrar el valor de mAs.
- k) Procesar la película bajo las condiciones habituales del servicio.
- l) Repetir el procedimiento al menos cuatro veces más, utilizando siempre el mismo chasis, hasta obtener un total de cinco imágenes.
- m) Evaluar con ayuda de un densitómetro la densidad óptica en el centro de cada película radiográfica.
- n) Anotar dichos valores.
- o) Determinar el valor medio de los mAs y densidades ópticas medidas.
- p) Calcular el coeficiente de variación en ambos casos auxiliándose de las expresiones:

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{mAs}}{mAs_{medio}} \right) * 100 \quad (16)$$

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{DO}}{DO_{media}} \right) * 100 \quad (17)$$

donde:

DE_{mAs} : desviación estándar de los mAs obtenidos en cada exposición.

mAs_{medio} : media aritmética de la carga del tubo de rayos X.

DE_{DO} : desviación estándar de las densidades ópticas evaluadas sobre cada imagen radiográfica.

DO_{media} : media aritmética correspondiente a los valores de densidad.

Tolerancias:

Control Automático de Exposición (CAE)	
Ajuste del CAE	Densidad óptica de las películas entre 1,10 y 1,50
Repetibilidad del CAE (%)	CV (%) < 10

Recomendaciones y acciones correctivas: Solicitar la presencia del personal de electromedicina ante la verificación de valores fuera del rango especificado.

3.8.2. Homogeneidad o consistencia entre sensores del CAE.

Objetivo: Chequear que el control automático de exposición proporciona imágenes con densidades ópticas constantes con independencia de la cámara o sensor seleccionado.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.3; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Repetir los pasos descritos entre los incisos del a al g en la prueba anterior.
- b) Activar los tres sensores del CAE.
- c) Efectuar una exposición.
- d) Registrar el valor de mAs.
- e) Procesar la película bajo condiciones habituales del servicio.
- f) Repetir el procedimiento, empleando el mismo chasis, para el resto de las combinaciones posibles entre los sensores, izquierdo; izquierdo + centro; izquierdo + derecho; derecho; derecho + centro.
- g) Evaluar la densidad óptica en el centro de cada película radiográfica.
- h) Anotar dichos valores.

Tolerancias: La diferencia entre las DO para cada combinación de sensores $< \pm 0,20$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Solicitar la presencia del personal de electromedicina ante la verificación de valores fuera del rango especificado.

3.8.3. Incrementos del selector de densidades.

Objetivo: Determinar que el control automático de exposición compensa adecuadamente la densidad óptica sobre cada imagen, en correspondencia con las variaciones producidas en el selector de densidades.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Realizar el procedimiento detallado entre los puntos del a al h en la prueba 3.8.1.
- b) Hacer una exposición con el selector de densidades en la posición "0".
- c) Apuntar el valor de mAs reportado por el sistema.
- d) Procesar la película radiográfica bajo condiciones habituales del servicio.
- e) Reiterar esta operación para todos los pasos del selector de densidades.
- f) Evaluar con ayuda de un densitómetro, la densidad óptica en el centro de cada película radiográfica.
- g) Anotar dichos valores.

Tolerancias: La diferencia entre pasos consecutivos debe ser $< 0,30$ DO, salvo que el fabricante indique otro valor.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.8.4. Compensación para diferentes espesores y tensiones.

Objetivo: Evaluar que el control automático de exposición compensa adecuadamente la densidad óptica sobre cada imagen, con independencia de las variaciones producidas en la tensión del tubo de rayos X y el espesor del paciente.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.3; 7.8; 7.10; 7.11]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- **Variación con la Tensión.**

- a) Seguir la metodología referida entre los incisos del a al k de la prueba 3.8.1.
- b) Repetir el procedimiento para otros valores de tensión, por ejemplo 60, 70, 90, 100 y 120 kV.
- c) Obtener el valor de la densidad óptica a partir de la medida efectuada en el centro de cada una de las imágenes.
- d) Asentar dichos valores en el formulario destinado a la recogida de datos.

- **Variación con el espesor.**

- a) Reiterar el procedimiento referido entre los incisos del a al k de la prueba 3.8.1.
- b) Variar el espesor de PMMA, por ejemplo, 16 cm, 12 cm y 8 cm respectivamente.
- c) Repetir el proceder para cada uno de ellos utilizando siempre el mismo chasis.
- d) Anotar el valor de mAs para los diferentes casos.
- e) Determinar la densidad óptica para cada imagen.

Tolerancias: La densidad de la película no deberá variar en más de $\pm 0,20$ respecto del valor obtenido en la evaluación del ajuste del CAE.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

3.9. Dosis de radiación

3.9.1. *Kerma* en aire incidente.

Objetivo: Estimar la incidencia del *Kerma* en aire, sin retrodispersión.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.6; 7.7; 7.10]

Instrumentación: Maniquí cuyo espesor simule el área anatómica de un paciente adulto, por ejemplo, tórax, abdomen, medidor de exposición debidamente calibrado, láminas de aluminio para determinar capa hemirreductora, regla o cinta métrica, chasis cargado con película radiográfica, termómetro y barómetro (cuando es empleada una cámara de ionización).

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Colocar el maniquí sobre la mesa o *bucky* vertical.
- Centrar el maniquí con respecto al haz de radiación, de forma tal que el detector del CAE quede totalmente cubierto por el mismo.
- Colimar a la región delimitada por los bordes del maniquí.
- Ubicar el medidor de exposición encima del maniquí cuando se trate de un detector semiconductor. Para el caso de las cámaras de ionización, situarlas con ayuda de un soporte, a una altura suficiente para evitar la incidencia de la radiación retrodispersa, por ejemplo 20 cm, así como centrado con respecto al haz de radiación, Figura 26.

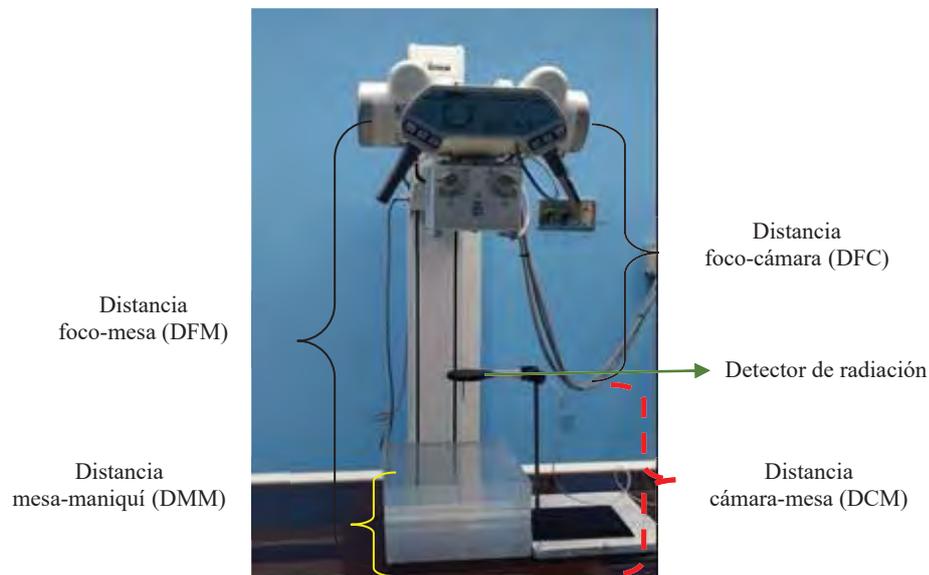


Figura 26. Configuración experimental para mediciones de la *Kerma* en aire incidente, utilizando cámara de ionización

- Colocar el chasis cargado en el *bucky*.
- Seleccionar distancia foco-maniquí de uso clínico.
- Registrar la distancia foco-cámara; distancia foco-mesa y distancia mesa-maniquí.
- Efectuar tres exposiciones ya sea empleando el CAE o el modo manual.
- Anotar las lecturas del dosímetro y factores de exposición.
- Hallar el valor medio de los valores de exposición obtenidos.
- Determinar la CHR para la tensión seleccionada siguiendo para ello el procedimiento descrito en el acápite 3.5.4.
- Calcular el *Kerma* en el punto de medida (K_d) a partir de la ecuación:

$$K_d = \bar{M} N_{KQ_0} K_Q K_{T,P} \quad (18)$$

donde:

\bar{M} : valor medio de las lecturas indicadas por el dosímetro.

N_{KQ_0} : coeficiente de calibración del medidor de exposición.

K_Q : factor que corrige las diferencias entre la respuesta del dosímetro en la calidad de calibración Q_0 y la calidad del haz de radiación clínico Q .

$K_{T,P}$: factor de corrección por presión y temperatura. Toma valor unitario si el medidor de exposición es un detector semiconductor, mientras si es una cámara de ionización, requiere ser hallado a través de la expresión:

$$K_{T,P} = \left(\frac{273.2+T}{273.2+T_0} \right) \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (19)$$

donde:

T: temperatura en °C registrada durante la medición.

P: presión en kPa registrada durante la medición.

T₀: temperatura de referencia para la cual fue proporcionado el valor de N_{KQ_0} .

P₀: presión de referencia para la cual fue proporcionado el valor de N_{KQ_0} .

- m) Usar la ley del inverso cuadrado de la distancia para determinar el *Kerma* en aire incidente, mediante:

$$K_i = K_d \left(\frac{DFM - DCM}{DFM - DMM} \right)^2 \quad (20)$$

donde:

K_i: *Kerma* en aire incidente.

DFM: distancia foco–mesa.

DCM: distancia cámara–mesa.

DMM: distancia maniquí–mesa.

3.9.2. *Kerma* en aire en la superficie de entrada del paciente.

Objetivo: Estimar el valor del *Kerma* en aire en la superficie de entrada del paciente, con retrodispersión.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.1; 7.3; 7.6; 7.7; 7.10]

Instrumentación: Maniquí cuyo espesor simule el área anatómica de un paciente adulto, por ejemplo, tórax, abdomen, medidor de exposición debidamente calibrado, láminas de aluminio para determinar capa hemirreductora, regla o cinta métrica, chasis cargado con película radiográfica, termómetro y barómetro (cuando es empleada una cámara de ionización).

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Determinar el *Kerma* en aire incidente (K_i), según se describe en el apartado 3.9.1.
- Identificar a partir de la Tabla 3, el factor de retrodispersión en correspondencia con el maniquí seleccionado para llevar a cabo la prueba.
- Calcular el *Kerma* en aire en la superficie de entrada a partir de la siguiente expresión:

$$K_e = K_i B \quad (21)$$

donde:

K_e: *Kerma* en aire en la superficie de entrada del paciente.

B: factor de retrodispersión.

Tabla 3. Factores de retrodispersión, para agua, PMMA y tejido ICRU para 21 calidades del haz de rayos X y tres tamaños de campo, a una distancia foco-piel de 100 cm

Tube voltage (kV)	Filter	Backscatter factor (B)									
		Field size	100 mm × 100 mm			200 mm × 200 mm			250 mm × 250 mm		
		HVL (mm Al)	Water	ICRU tissue	PMMA	Water	ICRU tissue	PMMA	Water	ICRU tissue	PMMA
50	2.5 mm Al	1.74	1.24	1.25	1.33	1.26	1.27	1.36	1.26	1.28	1.36
60	2.5 mm Al	2.08	1.28	1.28	1.36	1.31	1.32	1.41	1.31	1.32	1.42
70	2.5 mm Al	2.41	1.30	1.31	1.39	1.34	1.36	1.45	1.35	1.36	1.46
70	3.0 mm Al	2.64	1.32	1.32	1.40	1.36	1.37	1.47	1.36	1.38	1.48
70	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	3.96	1.38	1.39	1.48	1.45	1.47	1.58	1.46	1.47	1.59
80	2.5 mm Al	2.78	1.32	1.33	1.41	1.37	1.39	1.48	1.38	1.39	1.50
80	3.0 mm Al	3.04	1.34	1.34	1.42	1.39	1.40	1.51	1.40	1.41	1.52
80	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	4.55	1.40	1.40	1.49	1.48	1.50	1.61	1.49	1.51	1.63
90	2.5 mm Al	3.17	1.34	1.34	1.43	1.40	1.41	1.51	1.41	1.42	1.53
90	3.0 mm Al	3.45	1.35	1.36	1.44	1.42	1.43	1.53	1.42	1.44	1.55
90	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	5.12	1.41	1.41	1.50	1.50	1.51	1.62	1.51	1.53	1.65
100	2.5 mm Al	3.24	1.34	1.34	1.42	1.40	1.41	1.51	1.41	1.42	1.53
100	3.0 mm Al	3.88	1.36	1.37	1.45	1.44	1.45	1.55	1.45	1.46	1.57
100	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	5.65	1.41	1.42	1.50	1.51	1.53	1.64	1.53	1.55	1.66
110	2.5 mm Al	3.59	1.35	1.35	1.43	1.42	1.43	1.53	1.43	1.44	1.55
120	3.0 mm Al	4.73	1.37	1.38	1.46	1.46	1.48	1.58	1.48	1.49	1.60
120	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	6.62	1.41	1.42	1.50	1.53	1.54	1.64	1.54	1.56	1.67
130	2.5 mm Al	4.32	1.36	1.36	1.44	1.44	1.45	1.55	1.45	1.47	1.57
150	2.5 mm Al	4.79	1.36	1.36	1.44	1.45	1.46	1.55	1.46	1.48	1.58
150	3.0 mm Al	6.80	1.39	1.39	1.47	1.50	1.51	1.61	1.52	1.53	1.63
150	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	8.50	1.40	1.41	1.48	1.53	1.54	1.64	1.55	1.57	1.67

Fuente: Organización Internacional de Energía Atómica. *Dosimetry in Diagnostic Radiology. An international code of practice. Technical Report Series no. 457. Vienna: OIEA; 2007.*

Tolerancias: En correspondencia con los Niveles de Referencia de Diagnóstico (NRD).

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y personal de electromedicina, cuando se obtengan valores de dosis muy discrepantes con respecto a los NRD.

4. Procedimiento para el control de calidad a equipos de Radiografía Computada

El desarrollo acelerado de las tecnologías médicas y en particular aquellas asociadas al diagnóstico por imagen, ha conllevado a la instalación rápida y masiva de las mismas en los servicios de salud.

La radiología digital es un vivo ejemplo de tal afirmación, la que ha provocado una modificación drástica del panorama del diagnóstico médico, específicamente en lo referente a la adquisición, procesado, almacenamiento, distribución, análisis e informe o reporte final.

Por ello, se requieren nuevos procedimientos de control de calidad que tengan en cuenta tanto las características específicas de la imagen digital como las diferentes modalidades que la producen,

de ahí que en esta sección se describan algunas de las principales pruebas que se llevan a cabo sobre los equipos digitales de Radiografía Computada (*CR* por sus siglas en inglés).

Es importante tener en cuenta que sobre este tipo de tecnología son aplicables la mayoría de las pruebas mencionadas y detalladas en la sección 3, por lo que recomendamos no solo ceñirse a las que son abordadas en este apartado.

4.1. Inspección visual, identificación y limpieza de chasis y placas fotoestimulables

Objetivos: Comprobar el estado general de los chasis y placas fotoestimulables (placas de imagen o *IP* por sus siglas en inglés), así como observar si todos tienen una identificación única.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.1; 7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Todos los chasis de radiografía computada del servicio.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Mensual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Inspeccionar el estado físico en que se encuentra cada chasis, para detectar así, la presencia de abolladuras debido a golpes, roturas de las puntas, problemas en los cierres u otros.
- b) Verificar la presencia de una etiqueta externa donde se identifique el modelo y tipo de *IP*, así como el conjunto chasis-*IP*.
- c) Abrir cada chasis y extraer el *IP*, tomándolos por los bordes para evitar dejar impresiones dactilares en él.
- d) Constatar tanto su estado físico como la presencia de polvo, suciedad, ralladuras y marcas de los rodillos que pudieran constituir artefactos en las imágenes visualizadas.

Tolerancias:

Estado físico	Identificación	Limpieza
Buen estado físico de chasis y fósforos	Chasis y fósforos debidamente identificados	Buena limpieza, libre de polvo

Recomendaciones y acciones correctivas: Comunicar al jefe del servicio el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.2. Tiempo de lectura

Objetivo: Determinar el número de chasis por minuto que el sistema es capaz de procesar, para comprobar si se ajusta a las especificaciones establecidas por el fabricante.

Prioridad: Deseada.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Cuatro chasis, lector de chasis, cronómetro y medidor de exposición.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Identificar los chasis que se van a utilizar para la prueba.
- b) Colocar el dosímetro sobre la mesa radiológica, posición en la que será expuesto cada chasis.
- c) Fijar una distancia foco-detector empleada en la clínica.
- d) Seleccionar una técnica radiográfica que permita obtener una dosis aproximada a $20 \mu\text{Gy}$. Aunque la técnica es irrelevante, algunos autores recomiendan emplear 80 kV.
- e) Realizar una exposición para chequear que realmente se alcanza el valor de dosis mencionado anteriormente.
- f) Retirar el detector y colocar en su lugar el primer chasis a verificar.
- g) Efectuar una nueva exposición.
- h) Irradiar seguidamente el resto de los chasis.
- i) Elegir un método de procesado y post-procesado típico de uso clínico.
- j) Poner los chasis listos para su lectura y comenzar a contar el tiempo una vez que el sistema tome al primero, Figura 27.



Figura 27. Disposición de los chasis en el lector, para la realización de la prueba del tiempo de lectura

- k) Detener el cronómetro cuando la imagen del último chasis aparezca sobre la pantalla de la estación de adquisición.
- l) Calcular a partir de la medida efectuada, el número de chasis que el sistema puede procesar en una hora.

Tolerancias: Las recomendadas por el fabricante.

Recomendaciones y acciones correctivas: Repetir la prueba ante el incumplimiento de las tolerancias dadas. En esta ocasión utilizar un número mayor de chasis, por ejemplo, 10. De mantenerse la no conformidad, comunicar al personal de electromedicina.

4.3. Ruido de fondo de los detectores

Objetivo: Determinar el ruido inherente a los propios fósforos fotoestimulables, sin ningún tipo de exposición.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Todos los chasis y lector de chasis de radiografía computada (lector de CR).

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Realizar un borrado secundario de todos los fósforos fotoestimulables, debido a que pueden contener algún tipo de señal provocada por la radiación de fondo.
- b) Seleccionar los chasis al azar.
- c) Efectuar su lectura, escogiendo los parámetros de acuerdo al fabricante. La Tabla 4 resume algunos de estos datos.

Tabla 4. Parámetros de lectura

Fabricante	Tipo de examen	Método de procesado	Índice de exposición	Latitud (L)
AGFA	<i>System Diagnosis</i>	<i>Flat Field</i>	S = 800	
KODAK	<i>Modo Pattern</i>			
FUJI		<i>Fixed</i>	S = 10000	1
KONICA		<i>FIX</i>		

- d) Evaluar visualmente la presencia de artefactos, así como la uniformidad manifiesta en la imagen.
- e) Hacer una ROI sobre la imagen obtenida, que cubra aproximadamente el 80 % de la misma, Figura 28.

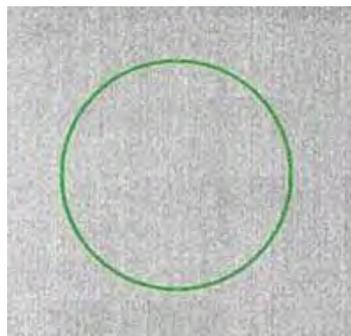


Figura 28. Región de interés para llevar a cabo la evaluación del ruido de fondo de los detectores

Tolerancias:

Fabricante	Índice de exposición	Artefactos	Uniformidad
AGFA	$SAL < 130$ ($Lg M < 0,0522$)	No deben ser visualizados	Imagen uniforme
KODAK	$EI < 80$ para fósforos GP		
	$EI < 380$ para fósforos HR		
KONICA	$PV > 3975$, si se elige la curva fotométrica 2 en el host		
	$PV < 120$ si se elige la curva fotométrica 1		
FUJI	$PV < 280$		
	$PV > 744$ si la escala de gris es inversa		

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.4. Calibración del indicador de dosis

Objetivo: Constatar la exactitud del indicador de dosis que proporciona el *CR*, al compararlo con el valor calculado a partir de la exposición dada.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, lector de *CR*, medidor de exposición, filtros de aluminio y cobre y chasis.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Trimestral.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Configurar la geometría de evaluación acorde a la propuesta presentada en la Figura 29.

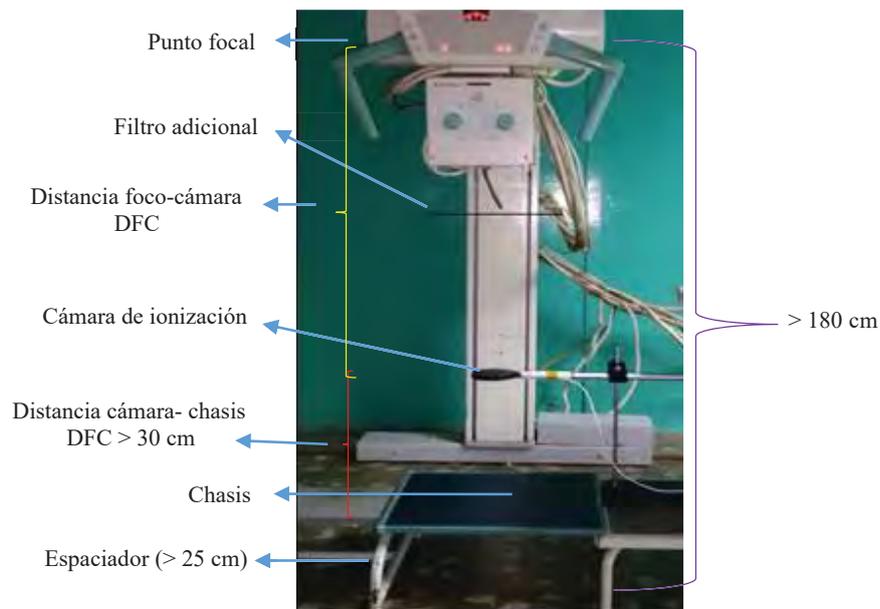


Figura 29. Disposición requerida para la exposición de los chasis

- b) Exponer el dosímetro, sin colocar aún el chasis, teniendo en cuenta las recomendaciones ofrecidas en la Tabla 5, para determinar así los valores de mAs, o los de corriente y tiempo, necesarios para lograr una exposición en los fósforos fotoestimulables de $10 \mu\text{Gy}$ ($20 \mu\text{Gy}$ para el caso del fabricante *AGFA*). Tenga presente la necesidad de llevar a cabo la corrección por distancia, dado que se requiere que la dosis mencionada se alcance en el *IP*.

Tabla 5. Parámetros utilizados en la calibración de los equipos

Fabricante del sistema CR	kV	Filtración
AGFA	75	1,5 mm de Cu
KODAK	80	0,5 mm de Cu + 1,5 mm Al
KONICA	80	Sin filtración
FUJI	80	Sin filtración

- c) Retirar el medidor de exposición.
- d) Colocar el chasis.
- e) Realizar una exposición.
- f) Leer el fósforo según las recomendaciones ofrecidas en la Tabla 6.

Tabla 6. Recomendaciones para lectura de los IP en la prueba de calibración del indicador de dosis

Fabricante del sistema CR	Recomendaciones para la lectura
AGFA	No esperar tiempo entre la exposición y la lectura. S=200. Tipo de examen: <i>System Diagnosis</i> . Método de procesado: <i>Flat Field</i> .
KODAK	Esperar 15 minutos entre la exposición y la lectura del fósforo. Utilizar el modo: <i>Pattern</i> .
KONICA	Esperar 2 minutos entre la exposición y la lectura del fósforo. Test 1, G=4. Cambiar a G=2 y F=0 (según fabricante). Si es un <i>Regius 190</i> : <i>QC-S Value</i> .
FUJI	Esperar 10 minutos entre la exposición y la lectura del fósforo. Modo de lectura: Semi-auto, L=1.

- g) Anotar el valor del indicador de dosis reportado por el sistema una vez concluida la lectura del chasis, el cual será empleado en el cálculo del valor de la exposición.
- h) Hallar el valor de la exposición para cada CR, partiendo del grupo de ecuaciones siguientes:

$$E_{Agfa} = 6.1 * 10^{-6} * (SAL)^2 \quad (22)$$

$$E_{Kodak} = 8.75 * 10^{\frac{(EI-2000)}{1000}} \quad (23)$$

$$E_{Konica} = 200 * \frac{1(mR)}{S} \quad (24)$$

$$E_{Fuji} = \frac{1750}{S} \quad (25)$$

donde:

- E_{Agfa} : valor de la exposición para sistemas del fabricante *Agfa*.
- SAL: nivel de barrido promedio.
- E_{Kodak} : valor de la exposición para sistemas del fabricante *Kodak*.
- EI: índice de exposición.
- E_{Konica} : valor de la exposición para sistemas del fabricante *Konica*.
- S: sensibilidad del sistema.
- E_{Fuji} : valor de la exposición para sistemas del fabricante *Fuji*.

mR: miliroentgen.

- i) Comparar el resultado anterior con el estimado a través de dosímetro.
- j) Repetir el procedimiento para otros lectores existentes en el servicio.

Tolerancias: La exposición indicada, a través del detector, y la medida deben coincidir dentro de un $\pm 20\%$. En el caso de *Konica*, se debe tomar un $\pm 25\%$, según sus especificaciones.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.5. Consistencia del indicador de dosis del detector

Objetivo: Comprobar la homogeneidad del indicador de dosis entre los distintos detectores.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9]

Instrumentación: Equipo de rayos X, lector de *CR*, medidor de exposición, filtros de aluminio y cobre y todos los chasis.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Trimestral.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Seguir la metodología descrita en el apartado 4.4, desde el inciso a hasta el d.
- b) Exponer el chasis a la mitad de los mAs.
- c) Rotar el chasis 180° .
- d) Efectuar una nueva exposición utilizando los mismos mAs que en el inciso b. De esta manera se alcanza el valor total de mAs para disponer de una dosis en los fósforos fotoestimulables de $10\ \mu\text{Gy}$ ($20\ \mu\text{Gy}$ para el caso de sistemas del fabricante *Agfa*), así como se minimiza el efecto Talón.
- e) Realizar la lectura del fósforo fotoestimulable utilizando las recomendaciones dadas en la tabla 4.
- f) Anotar el valor del indicador de exposición aportado por el equipo.
- g) Calcular el indicador de exposición teórico a partir de la ecuación del fabricante. Ver grupo de expresiones matemáticas desde la 22 a la 25.
- h) Comparar los resultados.
- i) Repetir el proceso para todos los chasis.

Tolerancias:

Tolerancias
$\pm 10\%$ entre todos los fósforos fotoestimulables

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.6. Uniformidad

Objetivo: Evaluar la respuesta uniforme de los *IP* después de haber sido expuestos a una alta exposición uniforme.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, lector de CR, medidor de exposición, filtros de aluminio y cobre y todos los chasis.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Trimestral.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Emplear la metodología descrita en el apartado 4.4, desde el inciso a hasta el f. Pueden ser utilizadas además las imágenes de la prueba anterior.
- b) Hacer cinco *ROI*s de 4 cm x 4 cm sobre diferentes regiones de la imagen, con el objetivo de determinar el valor medio del *píxel* (VMP), Figura 30.

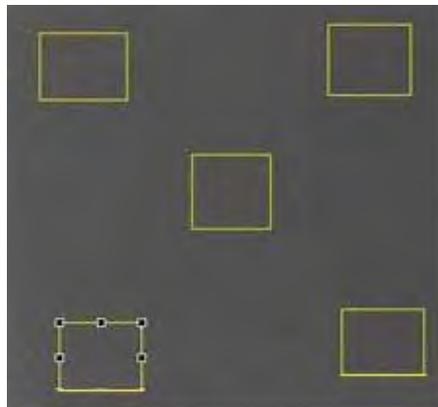


Figura 30. Regiones propuestas para la realización de las *ROI*s y determinación del valor medio del *píxel*

- c) Introducir los VMP en las ecuaciones de transferencia, desde la 26 a la 29, en correspondencia con el fabricante del sistema que se posea, para obtener así los valores de dosis.

Para *CR AGFA*:

$$VMP = 1249.5 * \log_{10}(E) + 1576.3 \quad (26)$$

donde:

$\log_{10}(E)$: logaritmo de la exposición.

Para *CR KODAK*:

$$VMP = 1000 * \log(E) + C_o \quad (27)$$

donde:

$C_o = 2000$ para pantallas *GP*.

$C_o = 1700$ para pantallas *HR*.

Para *CR KONIKA*:

$$E = 10^{a*VMP+b} \quad (28)$$

donde:

a y b: parámetros del ajuste realizado.

Para *CR Fuji*:

$$VMP = \left(\frac{1024}{L}\right) * \left[\log(E) + \log\left(\frac{S}{200}\right)\right] + 511 \quad (29)$$

donde:

L: latitud.

E: exposición.

S: sensibilidad del sistema.

d) Hallar el valor medio y la desviación estándar.

Tolerancias:

Artefactos	Coeficiente de variación (%)
Imagen libre de artefactos	< 10

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

Observaciones: Existen otros autores que proponen como método el realizar una *ROI* en el centro de la imagen, que abarque el 80 % de la misma. Evaluar la desviación estándar del VMP, la cual debe ser inferior a 25.

4.7. Linealidad y propiedades de transferencia del sistema

Objetivo: Establecer la relación entre la dosis que recibe el *IP* y el indicador de exposición o valor de *píxel*.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, chasis, filtro de 1 mm de Cu, lector de *CR* y medidor de exposición.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Trimestral.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- Configurar la geometría de evaluación acorde a la propuesta presentada en la Figura 29.
- Exponer el dosímetro, sin colocar aún el chasis, empleando una tensión de 70 kV, y un mAs, o de corriente y tiempo, necesario para lograr una exposición en las placas de imagen de 1 μ Gy. Tener presente las recomendaciones relacionadas con la filtración establecidas en la Tabla 5.
- Retirar el medidor de exposición.
- Posicionar el chasis.
- Irradiar el fósforo fotoestimulable.
- Realizar la lectura dejando pasar el menor tiempo posible después de la irradiación, teniendo en cuenta los parámetros expresados en la Tabla 7.

Tabla 7. Recomendaciones para la lectura de los fósforos fotoestimulables

Fabricante del sistema CR	Recomendaciones para la lectura
AGFA	S=200. Tipo de examen: <i>System Diagnosis</i> . Método de procesado: <i>Flat Field</i> .
KODAK	Utilizar el modo: <i>Pattern</i> .
KONICA	<i>QC-S Value</i> .
FUJI	Modo de lectura: Semi-auto, L=1.

- g) Hacer una ROI de 3 cm x 3 cm en el centro de la imagen, para obtener el VMP. Anotar este resultado.
- h) Repetir los pasos descritos anteriormente, pero ahora con dosis iguales a 10 µGy, 50 µGy y 100 µGy.
- i) Representar en una gráfica el valor medio del *píxel*, en el eje de las ordenadas, frente a la dosis medida en el receptor, en el eje de las abscisas.
- j) Obtener la ecuación de ajuste para la gráfica construida, llamada ecuación de transferencia.
- k) Comparar estas expresiones matemáticas con las presentadas en el apartado 4.4, grupo de ecuaciones desde la 22 a la 25. Las mismas deben coincidir aproximadamente.

Tolerancias: El coeficiente de correlación debe ser mayor a 0,95.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se encuentren en correspondencia con la tolerancia indicada.

4.8. Efectividad del ciclo de borrado

Objetivo: Comprobar que en el fósforo fotoestimulable no queda una imagen residual después de una lectura y posterior borrado de este.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9]

Instrumentación: Equipo de rayos X, chasis, lector de CR y lámina de plomo.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Colocar el tubo de rayos X a una distancia del chasis ≥ 150 cm.
- b) Posicionar una lámina de plomo sobre el chasis.
- c) Exponer el fósforo fotoestimulable empleando una técnica radiográfica próxima o igual a 80 kV y 30 mAs.
- d) Procesar el chasis.
- e) Situar el mismo chasis para ser expuesto nuevamente, ahora sin la lámina de plomo.
- f) Irradiar usando la misma tensión del tubo de rayos X y un valor de 1,5 mAs.
- g) Efectuar la lectura del IP, dejando pasar el menor tiempo posible después de la irradiación, teniendo en cuenta los parámetros expresados en la Tabla 9.

Tabla 9. Recomendaciones para la lectura de los fósforos fotoestimulables

Fabricante del sistema CR	Recomendaciones para la lectura
AGFA	S=200. Tipo de examen: <i>System Diagnosis</i> . Método de procesado: <i>Flat Field</i> .
KODAK	Utilizar el modo: <i>Pattern</i> .
KONICA	Modo: <i>Semi-fix</i> , g=1. Si es un Regius 190: <i>QC-S Value</i> .
FUJI	Modo de lectura: <i>Fixed</i> , L=1.

h) Comprobar sobre la segunda imagen que no hay restos de la anterior.

Tolerancias: No debería verse la imagen residual de la lámina de plomo en la segunda radiografía, al modificar el valor del nivel de gris hasta una ventana muy estrecha.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se encuentren en correspondencia con las tolerancias indicadas.

4.9. Linealidad espacial y errores de escala

Objetivos: Verificar que:

- el barrido del láser no presenta distorsión
- chequear que el software mide de forma correcta las distancias.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9]

Instrumentación: Equipo de rayos X, chasis, lector de CR, rejilla con espaciado conocido y regla plomada.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

a) Posicionar sobre la mesa radiológica un chasis, y sobre este la rejilla, Figura 31.



Figura 31. Configuración para verificación de la linealidad espacial

- b) Seleccionar una distancia foco-chasis de 100 cm, 10 mAs, así como una tensión del tubo de rayos X entre 50 y 60 kV.
- c) Anotar estos valores.
- d) Exponer el chasis.
- e) Procesar el *IP* utilizando los factores relacionados en la Tabla 4.
- f) Observar que no hay cortes, distorsión, así como tampoco ningún efecto tipo *difuminado*. Las líneas deben verse rectas.
- g) Realizar medidas de longitud con el software del sistema, en ambas direcciones, horizontal y vertical, tanto en el centro de la rejilla como en los diferentes extremos, Figura 32.
- h) Comparar con las dimensiones reales del objeto.

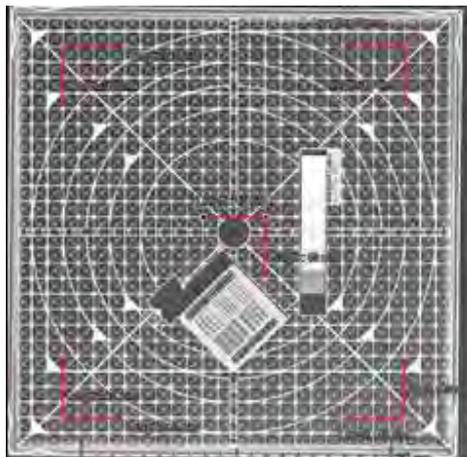


Figura 32. Rejilla de tramado o espaciado conocido

Tolerancias:

Linealidad espacial	Errores de escala
Imagen libre de distorsiones y discontinuidades	de $\leq 3\%$ si se mide en el centro de la imagen y $\leq 5\%$ cuando se efectúa en los bordes de la imagen

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se encuentren en correspondencia con las tolerancias indicadas.

4.10. Desvanecimiento de la imagen latente

Objetivo: Comprobar la pérdida de señal en el fósforo fotoestimulable cuando no es procesado inmediatamente.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, chasis, lector de CR y medidor de exposición.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- a) Seleccionar una distancia foco-chasis de 100 cm.
- b) Situar el medidor de dosis a una distancia conocida del foco del tubo de rayos X.
- c) Exponer el dosímetro utilizando una tensión de 80 kV y un mAs tal que permita obtener una dosis en el fósforo próxima a 10 μ Gy, de ser necesario realizar las correcciones por distancia requeridas.
- d) Retirar el medidor de dosis.
- e) Colocar un chasis sobre la mesa radiológica e irradiarlo.
- f) Esperar un minuto.
- g) Procesar el IP. Los parámetros de lectura son irrelevantes.
- h) Hacer una ROI de 3 cm x 3 cm en el centro de la imagen y determinar el VMP.
- i) Volver a exponer el chasis, empleando la misma técnica.
- j) Esperar 10 minutos.
- k) Repetir los pasos descritos en los incisos desde el f al h.
- l) Comparar los resultados obtenidos.

Tolerancias: Las indicadas por el fabricante.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se encuentren en correspondencia con las tolerancias indicadas.

4.11. Control automático de exposición

4.11.1. Repetibilidad y ajuste del CAE en su posición central.

Objetivo: Asegurar que el control automático de exposición proporciona valores del indicador de exposición o Relación Señal Ruido (RSR) consistentes, para garantizar una imagen radiológica aceptable con el empleo de valores de dosis acordes a los recomendados.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.8; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua y chasis cargado con placa de imagen.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Ubicar el tubo de rayos X a una distancia de 100 cm con respecto al sistema de detección, *bucky* de mesa.
- b) Centrar el tubo de rayos X con el *bucky*.
- c) Posicionar sobre la mesa radiológica las láminas de PMMA o la cubeta con agua, hasta alcanzar 20 cm, para simular de esta manera el espesor de un paciente adulto. Verificar que el maniquí cubre los sensores del CAE.
- d) Colimar el haz a dicha región.
- e) Poner el chasis cargado con la placa de imagen en el portachasis o *bucky*, Figura 19.
- f) Seleccionar en el panel de control una tensión de uso clínico, por ejemplo, 80 kV.
- g) Elegir el sensor del CAE correspondiente a la posición central, Figura 25.
- h) Llevar a cabo una exposición.
- i) Procesar la imagen bajo las condiciones habituales del servicio.
- j) Registrar el valor del indicador de exposición mostrado por el sistema.
- k) Estimar la dosis en el receptor de imagen a partir del indicador de exposición, con ayuda de la ecuación del fabricante.
- l) Hacer una *ROI* de 3 cm x 3 cm en el centro de la imagen para evaluar el VMP y la desviación estándar (σ) en esa región.
- m) Hallar la RSR como:

$$RSR = \frac{VMP}{\sigma} \quad (30)$$

- n) Repetir el procedimiento al menos cuatro veces más, utilizando siempre el mismo chasis, hasta obtener un total de cinco imágenes.
- o) Determinar el valor medio de las dosis estimadas, así como de la RSR.
- p) Calcular el coeficiente de variación (CV) auxiliándose de las expresiones:

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{dosis\ estimada}}{Dosis_{medio}} \right) * 100 \quad (31)$$

$$CV(\%) = \left(\frac{DE_{RSR\ individual}}{RSR_{medio}} \right) * 100 \quad (32)$$

donde:

$DE_{\text{dosis estimada}}$: desviación estándar de las dosis estimadas a partir del indicador de dosis y ecuación del fabricante.

$Dosis_{\text{medio}}$: valor medio de las dosis estimadas.

$DE_{\text{RSR individual}}$: desviación estándar de la RSR obtenida sobre cada imagen.

RSR_{medio} : valor medio de la RSR.

Tolerancias:

Parámetro	Valores estimados	CV(%) de las dosis
Dosis	< 20 % con respecto al de referencia inicial	< 10 %
RSR		

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.11.2. Homogeneidad entre las cámaras.

Objetivo: Chequear que el control automático de exposición proporciona valores del indicador de exposición constantes con independencia de la cámara o sensor seleccionado.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.8; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Maniquí de PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con placa de imagen y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

En este caso seguir la metodología descrita en la sección 3, apartado 3.8.2 Homogeneidad o consistencia entre sensores del CAE, teniendo en cuenta para cada sensor o combinación de estos, las siguientes consideraciones:

- a) Registrar el valor del indicador de exposición.
- b) Estimar la dosis en el receptor de imagen a partir del indicador de exposición.

Tolerancias:

Parámetro	Dosis estimada
Dosis	< ± 20 % con respecto al valor obtenido al seleccionar las tres cámaras

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.11.3. Compensación para diferentes tensiones y espesores.

Objetivo: Verificar la respuesta del control automático de exposición frente a variaciones producidas en la tensión del tubo de rayos X y el espesor de paciente.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.8; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Maniquí PMMA o cubeta llena de agua, chasis cargado con película radiográfica y marcadores radiopacos.

Frecuencia: Inicial/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

Se orienta seguir la metodología detallada en la sección 3, apartado 3.8.4, manteniendo las consideraciones dadas en la prueba anterior.

Tolerancias:

Para ambos casos
$< \pm 20\%$ con respecto al valor obtenido en la prueba de ajuste del CAE

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

4.12. Calidad de imagen

Objetivo: Demostrar que la calidad de imagen es suficiente para el diagnóstico médico.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, chasis, lector de *CR* y maniquí de calidad de la imagen.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Trimestral/Anual.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

Para llevar a cabo esta prueba pueden ser utilizados maniqués diseñados específicamente para equipos de radiografía digital, donde en muchas ocasiones puede contarse con programas proporcionados por los propios fabricantes para realizar el análisis de las imágenes obtenidas.

Por tal razón, esta guía no contemplará una descripción de un procedimiento en particular, sino que recomendamos seguir las instrucciones dadas en el manual del objeto de prueba que se posea, y determinar así el comportamiento de la calidad de imagen.

5. Procedimiento para el control de calidad a equipos de radiografía digital directa

Muchos de los sistemas digitales denominados paneles planos, pueden llevar integrados el equipo de rayos X y el detector de manera que conforman una unidad compacta, sin embargo, en otros casos no es así, como ocurre en aquellas situaciones donde el detector es inalámbrico. Tanto en uno como en el otro, el funcionamiento general se encuentra determinado por ambos dispositivos.

Por tal razón los parámetros asociados al equipo de rayos X deber ser chequeados como cualquier sistema tradicional de radiografía de propósitos generales, según las pruebas descritas en la sección 3, mientras que los relacionados con el medio de obtención de la imagen digital serán detallados en la presente sección.

5.1. Ruido de fondo de los detectores

Objetivo: Determinar el ruido inherente del sistema, sin ningún tipo de exposición.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, software para tratamiento de imágenes y delantal plomado.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Cubrir el detector con un delantal plomado, Figura 33.



Figura 33. Protección del detector de panel plano con ayuda de un delantal plomado

- b) Cerrar los colimadores.
- c) Realizar una exposición con una técnica muy baja, por ejemplo 50 kV y 0,5 mAs.
- d) Registrar el valor dado por el indicador de dosis del sistema.
- e) Realizar una *ROI* sobre la imagen para obtener el valor del *píxel*.

Tolerancias:

- las imágenes no deben mostrar artefactos que podrían evidenciar un mal funcionamiento de los detectores;
- los valores obtenidos servirán de referencia para futuras evaluaciones, aunque deben ser igual a cero o próximos a este;
- el valor del ruido de fondo deberá coincidir con el obtenido en la prueba de la función de respuesta.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se correspondan con las tolerancias indicadas.

5.2. Calibración del indicador de dosis del detector

Objetivo: Verificar la exactitud del indicador de dosis del sistema.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, filtros de cobre, medidor de exposición y delantal plomado.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Proteger el detector cubriéndolo con una lámina de plomo o delantal plomado, Figura 33.
- b) Ubicar el medidor de dosis sobre el delantal.
- c) Colimar a las dimensiones del dosímetro.
- d) Interponer entre el medidor de dosis y el haz de radiación un filtro de 1 mm de cobre, en caso de ser necesario, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Figura 34.

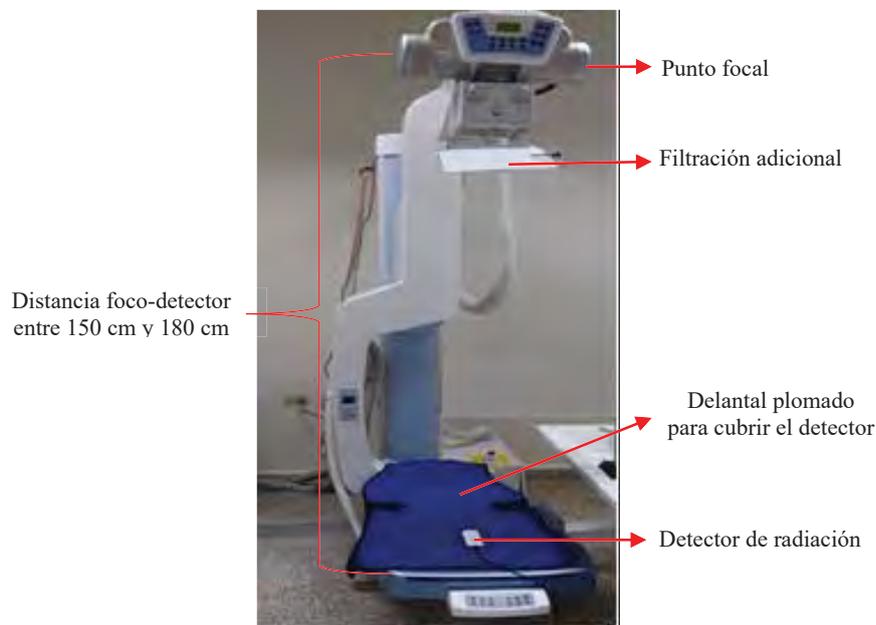


Figura 34. Procedimiento a seguir para verificar la exactitud del indicador de dosis del sistema

- e) Realizar una exposición utilizando 70 kV y los mAs requeridos para obtener, aplicando la ley del inverso cuadrado de la distancia, una dosis de 10 μGy en el sistema de detección del equipo de rayos X.
- f) Hallar bajo esas mismas condiciones los mAs necesarios para disponer en el detector de dosis de 1 μGy ; 4 μGy ; 12 μGy y 50 μGy .
- g) Retirar el medidor de dosis y el delantal plomado.
- h) Abrir los colimadores de forma tal que se exponga la superficie completa del detector.
- i) Exponer empleando los factores técnicos encontrados anteriormente, de forma tal que permita obtener cinco imágenes con las dosis referidas en los puntos e y f.
- j) Anotar el indicador de exposición mostrado por el sistema.
- k) Calcular la exposición haciendo uso de las ecuaciones proporcionadas por el fabricante.
- l) Comparar el valor determinado con el reportado por el medidor de exposición.

Tolerancias: La exposición indicada y la medida deben coincidir dentro de un $\pm 20 \%$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se correspondan con las tolerancias indicadas.

5.3. Consistencia del indicador de dosis del detector

Objetivo: Comprobar la reproducibilidad del indicador de dosis entre exposiciones similares.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9]

Instrumentación: Equipo de rayos X, filtros de cobre, medidor de exposición y delantal plomado.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Llevar a cabo la metodología descrita en el apartado 5.2 Calibración del indicador de dosis del detector, desde el inciso a hasta el e.
- b) Retirar el medidor de dosis y el delantal plomado.
- c) Abrir los colimadores de forma que se exponga la superficie completa del detector.
- d) Realizar una irradiación.
- e) Anotar el valor del indicador de exposición aportado por el sistema.
- f) Repetir el procedimiento tres veces más.
- g) Hallar a partir de las ecuaciones del fabricante el indicador de exposición teórico.
- h) Comparar estos resultados.
- i) Determinar la exactitud a través de la ecuación siguiente:

$$E(\%) = \frac{(IE_{\text{dado por el equipo}} - IE_{\text{teórico}})}{IE_{\text{dado por el equipo}}} * 100 \quad (33)$$

donde:

E: exposición.

$IE_{\text{dado por el equipo}}$: indicador de exposición reportado por el equipo.

$IE_{\text{teórico}}$: indicador de exposición calculado a través de las ecuaciones del fabricante.

Tolerancias: La variación entre las exposiciones, o bien los indicadores de exposición, no debe diferir en más de un 10 %.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se correspondan con las tolerancias indicadas.

5.4. Función respuesta del detector, propiedades de transferencia

Objetivo: Establecer la relación entre la dosis que recibe el detector y el valor medio del *pixel*.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, medidor de exposición, delantal plomado, filtro de cobre y software de tratamiento de imágenes médicas.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Utilizar la metodología presentada en el apartado 5.2, desde el inciso a hasta el i.
- b) Anotar el VMP, obtenido a partir de una *ROI* de 3 cm x 3 cm realizada en el centro de cada imagen.
- c) Representar en una gráfica el VMP, eje de las ordenadas, frente a la dosis medida en el receptor, eje de las abscisas.
- d) Obtener la ecuación de ajuste para esta gráfica, también llamada ecuación de transferencia del sistema.

Tolerancias: El coeficiente de correlación $R^2 > 0,95$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se correspondan con la tolerancia indicada.

5.5. Uniformidad y constancia del receptor de imagen

Objetivo: Determinar la respuesta uniforme del detector después de haber sido expuesto.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, delantal plomado, medidor de exposición y software para tratamiento de imágenes médicas.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Utilizar la metodología descrita en el apartado 5.2. desde el inciso a hasta el d.
- b) Hallar bajo esas mismas condiciones los mAs necesarios para disponer de una dosis en el detector de 1 μ Gy y otra con 12 μ Gy.
- c) Retirar el medidor de dosis y el delantal plomado.
- d) Abrir los colimadores de forma que se exponga la superficie completa del detector.
- e) Llevar a cabo una exposición.
- f) Hacer una *ROI* de 4 cm x 4 cm en cinco regiones sobre la imagen, tal como se muestra en la Figura 30 y medir el VMP, así como la desviación estándar en cada zona.
- g) Determinar la RSR a partir de cada una de las *ROI* individuales.
- h) Calcular el valor medio de la RSR de todas las *ROI* individuales.
- i) Comparar el valor de la RSR de cada *ROI* individual con el valor medio de la RSR.
- j) Realizar una *ROI* que abarque a toda la imagen, para obtener el VMP y la desviación estándar global.
- k) Comparar el VMP de cada *ROI* individual con el VMP de la imagen global.

Tolerancias:

Desviación máxima del VMP de las <i>ROI</i> _s individuales con respecto al VMP de la imagen global	Desviación máxima de la RSR de las <i>ROI</i> _s individuales con respecto al valor medio de la RSR
< ± 10 %	< ± 20 %

Recomendaciones y acciones correctivas:

- En el caso de que un determinado sistema no cumpla las tolerancias, deberá establecerse el origen del problema, así como será necesario realizar un aplanamiento del campo (*flat fielding*).
- Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados fuera de las tolerancias establecidas.

5.6. Ruido

Objetivo: Verificar la linealidad entre la RSR^2 y la dosis a la entrada del detector.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, delantal plomado, filtro de cobre, medidor de exposición y software para tratamiento de imágenes médicas.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Calcular la RSR y la RSR^2 , utilizando para ello las medidas del VMP y la desviación estándar obtenidas en la prueba 5.4 Función respuesta del detector, propiedades de transferencia.
- b) Representar la RSR^2 en función de los valores del *kerma* en aire o mAs.
- c) Obtener la ecuación de ajuste para esta gráfica, así como el coeficiente de correlación R^2 .
- d) Estimar el valor de la ordenada en el origen del sistema de coordenadas (*offset*).

Tolerancias: $R^2 > 0,90$.

Recomendaciones y acciones correctivas: Notificar al jefe del servicio y al personal de electromedicina la obtención de resultados que no se correspondan con las tolerancias indicadas.

5.7. Elementos defectuosos del detector, del, sin corregir

Objetivo: Determinar la existencia de elementos del detector sin respuesta.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Medidor de exposición y software para tratamiento de imágenes.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Llevar a cabo el procedimiento descrito en el apartado 5.2. desde el inciso a hasta el e.
- b) Retirar el medidor de dosis y el delantal plomado.
- c) Abrir los colimadores de forma tal que se exponga la superficie completa del detector.
- d) Efectuar una exposición.
- e) Obtener bajo esas condiciones tres nuevas imágenes.

- f) Analizar las imágenes crudas, para lo cual se realizará una *ROI* de 4 cm x 4 cm en cinco regiones sobre la imagen, tal como se muestra en la Figura 30 y medir el VMP, así como la desviación estándar en cada zona.
- g) En cada posición de la *ROI* verificar si existen *píxeles* cuyos valores se desvíen en un 20 % del VMP en dicha *ROI*.

Tolerancias: Según especificaciones del fabricante.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

Observaciones: Para el análisis puede utilizarse el programa proporcionado por el fabricante o emplear el *software* libre *Image J*, *plugin Checkuniformity*.

5.8. Errores de escala, distorsión geométrica

Objetivo: Comprobar la exactitud del programa de medición de distancias y chequear posibles distorsiones de las imágenes.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, objeto de prueba que permita obtener una cuadrícula sobre la imagen, en su defecto una malla de alambre con espaciado conocido y regla radiopaca.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología/Físico Médico.

Metodología:

- a) Colocar el objeto de prueba o malla de alambre directamente sobre el detector junto con la regla y posicionar el tubo de rayos X a una distancia de 150 cm.
- b) Exponer el detector empleando 10 mAs y un potencial del tubo entre 50 kV y 60 kV, sin filtración adicional.
- c) Utilizar la herramienta para medir distancias y así evaluar las longitudes de los cuadrados concéntricos de la imagen en las direcciones X y Y.
- d) Calcular los cocientes X/Y.
- e) Repetir las medidas con cuadrados colocados en las esquinas de la imagen y calcular los cocientes a/b, Figura 35.

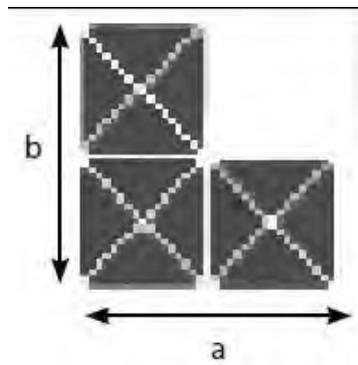


Figura 35. Esquema que muestra la evaluación de las medidas en los bordes de la imagen.

- f) Hallar la dimensión del *píxel* en X y Y, a partir de las medidas anteriores, para lo cual debe dividir el valor de la distancia en cada eje por el número de *píxeles* contenidos en la misma, los que son indicados por el programa.

Tolerancias:

Discrepancias			
Medidas en el centro de la imagen	Medidas en las esquinas de la imagen	Cocientes	Tamaño del <i>píxel</i>
$\leq 3 \%$	$\leq 5 \%$	$1 \pm 0,03$	Especificaciones del fabricante

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

5.9. Remanencia de la imagen

Objetivo: Chequear que no existe señal residual en las imágenes.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.2; 7.9; 7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X, delantal plomado y lámina de aluminio, cobre o plomo de 5 cm x 5 cm.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Técnico o Licenciado en Imagenología.

Metodología:

- a) Ubicar el tubo de rayos X a una distancia entre 150 cm y 180 cm del detector.
- b) Cubrir el detector con un delantal plomado.
- c) Abrir los colimadores de forma tal que se abarque toda el área del detector.
- d) Seleccionar una tensión del tubo de rayos X igual a 70 kV.
- e) Establecer la configuración mostrada en la Figura 34, sin la filtración adicional, para estimar los mAs necesarios, aplicando la ley del inverso cuadrado de la distancia, para obtener una dosis de 4 μ Gy en el panel plano del equipo de rayos X.
- f) Colocar una lámina de plomo en el centro del campo de rayos X.
- g) Exponer bajo estas condiciones.
- h) Esperar un minuto.
- i) Obtener otra imagen, seleccionando una técnica de exposición baja, por ejemplo 50 kV y 0,5 mAs.
- j) Inspeccionar visualmente la imagen para detectar cualquier remanencia de la imagen de la lámina de plomo.
- k) Medir, en caso de existir remanencia, el valor de *píxel* en la zona anteriormente cubierta por la lámina de plomo o cobre y en la zona sin atenuar, y comprobar su diferencia.

Tolerancias:

Visual	Cuantitativo
Imagen remanente no visible al emplear un ancho de ventana pequeño	Diferencia entre valores del <i>píxel</i> < 5 %

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

5.10. Resolución espacial

Objetivo: Verificar la capacidad del sistema de observar objetos pequeños.

Prioridad: Esencial.

Referencias: [7.10]

Instrumentación: Equipo de rayos X y patrón de barras.

Frecuencia: Inicial (aceptación)/Anual/Posterior a cambios.

Personal: Físico Médico.

Metodología:

- a) Colocar el patrón de barras sobre la mesa, próximo al detector.
- b) Girar el patrón de barras aproximadamente hasta alcanzar un ángulo de 45 °.
- c) Seleccionar una distancia foco-mesa de 100 cm.
- d) Elegir una técnica radiográfica cuyo kV oscile entre 50 y 60, así como un valor de carga del tubo de rayos X igual a 10 mAs.
- e) Determinar el número de pares de líneas que pueden visualizarse nítidamente, separadas entre sí.
- f) Estimar a partir de este valor la resolución del sistema, dato proporcionado por el fabricante del patrón de barras.

Tolerancias: Resolución $\geq 2,4$ lp/mm.

Recomendaciones y acciones correctivas: Informar al jefe del servicio y al personal de electromedicina el incumplimiento de las tolerancias establecidas.

5.11. Resolución de bajo contraste

Para esta prueba, al igual que para la anterior, pueden ser utilizados maniqués diseñados específicamente para equipos de radiografía digital, donde en muchas ocasiones puede contarse con programas proporcionados por los propios fabricantes para llevar el análisis de las imágenes obtenidas.

Por tal razón, esta guía no contemplará una descripción de un procedimiento en particular, sino que recomendamos seguir las instrucciones dadas en el manual del objeto de prueba que se posea y determinar así el valor de resolución de bajo contraste, tal y como se indica en dicho documento.

6. Control de cambios

- Se modificó el título de la regulación.
- Se amplió el alcance a todos los sistemas de radiografía de propósitos generales, analógicos y digitales, instalados en instituciones pertenecientes o no al Sistema Nacional de Salud, así como las entidades externas que tendrán una incidencia directa en la ejecución de las pruebas de control de calidad.
- Se establecieron las vías mediante las cuales se efectuarán las pruebas de control de calidad por parte de las instituciones involucradas.

- Se actualizan los términos y definiciones quedando incorporados 31 nuevos términos y definiciones.
- Se llevaron a cabo cambios en relación a la forma y estructura del documento basado en el PNO 07:003 edición 03 Forma y contenido de las disposiciones reguladoras.
- Se detalló en mayor medida la metodología a seguir para llevar a cabo cada prueba.
- Se ilustran los procedimientos con imágenes obtenidas en nuestros servicios de salud.
- Se actualizó y amplió la bibliografía consultada.

7. Bibliografía

- 7.1. American Association of Physicists in Medicine. Quality Control in Diagnostic Radiology. AAPM 74 [Internet]. EEUU: AAPM; 2002 [citado 14 de marzo de 2020]. 86 p. Disponible en: https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_74.pdf.
- 7.2. American Association of Physicists in Medicine. Quality Control in Diagnostic Radiology. AAPM 93. [Internet]. EEUU: AAPM; 2002 [citado 14 de marzo de 2020]. 86 p. Disponible en: https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_93.pdf.
- 7.3. Centro de Control Estatal de Equipos Médicos (CU). Control de Calidad de Equipos de Radiografía. Guía Técnica GT-07 [Internet]. La Habana: CCEEM; 1998 [citado 14 de marzo de 2020]. 34 p. Disponible en: <http://www.eqmed.sld.cu/Documents/Documentos%20regulatorios/Guias/gt7.pdf>.
- 7.4. Instituto Peruano de Energía Nuclear. IR.003. Requisitos de protección Radiológica en Diagnóstico Médico con rayos X [Internet]. Perú; 2013 [citado 20 de marzo de 2020]. 21 p. Disponible en: <https://www.foroiberam.org/documents/193375/199988/Requisitos+de+Protecci%C3%B3n+Radiol%C3%B3gica+en+Diagn%C3%B3stico+M%C3%A9dico+con+Rayos+X/6beaac11-4f73-4764-ae6e-5fdd246d9932;jsessionid=9A9C51CE5CA7E07131CF93D0668848B2?version=1.0>.
- 7.5. NOM 156-SSA1. Salud Ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones en establecimientos de diagnóstico médico con rayos x [Internet]. México: s.n.; 1997 [citado 14 de marzo de 2020]. 17 p. Disponible en: <http://www.iner.salud.gob.mx/descargas/normatecainterna/MJnormasmexicanas/NOM-156-SSA1-1996.pdf>.
- 7.6. Organización Internacional de Energía Atómica. Dosimetry in Diagnostic Radiology. An international code of practice. Technical Report Series no. 457 [Internet]. Vienna: OIEA; 2007 [citado 10 de abril de 2020]. 372 p. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS457_web.pdf.
- 7.7. Organización Internacional de Energía Atómica. Protocolos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. ARCAL XLIX. Acuerdo regional de cooperación de América Latina [Internet]. Colombia: OIEA; 2001 [citado 10 de abril de 2020]. 100 p. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/MET/arc49-protocolo-cc.pdf>.
- 7.8. Sociedad Española de Física Médica. Fundamentos de Física Médica. Radiodiagnóstico: bases físicas, equipos y control de calidad. Volumen 2. Ruiz Manzano P [Internet], ed. España: ADI; 2012 [citado 14 de marzo de 2020]. 346 p. Disponible en:

<http://proteccionradiologica.cl/wp-content/uploads/2016/08/4-Libro-Volumen-2-fisica-medica-espa%C3%B1ol.pdf>.

- 7.9. Sociedad Española de Física Médica. Introducción al Control de Calidad en Radiología Digital [Internet]. España: ADI; 2013 [citado 23 de mayo de 2020]. 372 p. Disponible en: <http://proteccionradiologica.cl/wp-content/uploads/2016/08/8-2013-Control-de-calidad-en-Radiologia-Digital.pdf>.
- 7.10. Sociedad Española de Física Médica, Sociedad Española de Protección Radiológica, Sociedad Española de Radiología Médica. Protocolo español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico [Internet]. España: Senda; 2012 [citado 10 de abril de 2020]. 326 p. Disponible en: https://www.seram.es/images/site/protocolo_2011.pdf.
- 7.11. Sociedad Valenciana de Protección Radiológica y Radiofísica. Manual de Procedimientos de Control de Calidad en Radiodiagnóstico [Internet]. España: Generalitat Valenciana. Conselleria de Sanitat; 2002 [citado 10 de abril de 2020]. 252 p. Disponible en: https://docplayer.es/storage/45/23355297/1624070755/zdiu_f-1KIB1P3IgGpKc-g/23355297.pdf.
- 7.12. UY 108. Anexo 1. Seguridad Radiológica para la práctica de Radiodiagnóstico Médico y Odontológico. 2da Rev. En: Norma reguladora de Seguridad Radiológica para la práctica de Radiodiagnóstico Médico y Odontológico [Internet]. Uruguay: Ministerio de Industria, Energía y Minería; 2014 [citado 14 de marzo de 2020]. 42 p. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20279342>.

Anexo I. Lista de chequeo para la inspección visual de la sala de rayos X

1. Señalizaciones	Conforme	No conforme	Observaciones
Relacionadas con el empleo de radiaciones ionizantes.			
Delimitación de las zonas de trabajo, atendiendo al riesgo radiológico.			
Limitación de acceso del personal (paciente y público).			
Advertencias para mujeres embarazadas.			
2. Condiciones físicas y blindajes	Conforme	No conforme	Observaciones
Dimensiones de la sala (tener en cuenta características del equipo y factibilidad de maniobra de pacientes encamados).			
Presencia de ventanas (evaluar ubicación y altura).			
Vestidor.			
Climatización.			
Iluminación de la sala.			
<i>Transfers</i> , cierres y hermeticidad a las radiaciones.			
Presencia de objetos o elementos que no pertenecen a la sala de rayos X.			
Blindaje de puerta de acceso a la sala de rayos X.			
Blindaje de puertas de acceso al panel de control.			
Vidrio plomado del panel de control.			
Blindaje de las paredes de la sala.			
3. Medios de protección individual	Conforme	No conforme	Observaciones
Delantal plomado.			
Protectores gonadales.			

Anexo II. Lista de chequeo para la inspección visual y movimientos mecánicos del equipo de rayos X

1. Cables eléctricos	Conforme	No conforme	Observaciones
Protección de los cables eléctricos.			
Disposición del cableado dentro de la sala.			
2. Ubicación del equipo y componentes	Conforme	No conforme	Observaciones
Posición del equipo y <i>bucky</i> vertical dentro de la sala.			
Visualización del paciente.			
Estación de trabajo del operador (sistemas digitales).			
3. Estado físico de los componentes que conforman el sistema de rayos X	Conforme	No conforme	Observaciones
Generador de rayos X.			
<i>Stand</i> o columna vertical.			
Soporte del tubo de rayos X.			
Colimador.			
Mesa radiológica.			
Enclavamientos de la mesa radiológica.			
<i>Bucky</i> de mesa.			
<i>Bucky</i> vertical.			
Riel de desplazamiento de la columna del tubo de rayos X.			
Panel de control e indicadores.			
Identificación del punto focal.			
4. Estabilidad del equipo	Conforme	No conforme	Observaciones
Mecánicamente estable en posición libre.			

Anexo II. Lista de chequeo para la inspección visual y movimientos mecánicos del equipo de rayos X (continuación)

5. Movimientos y desplazamientos	Conforme	No conforme	Observaciones
Conjunto tubo-Colimador			
Movimientos y frenos en dirección vertical (hacia arriba y hacia abajo).			
Movimientos angulares y frenos (hacia el <i>bucky</i> de pared).			
Movimientos transversales (con respecto a la mesa).			
Movimientos laterales y frenos (alrededor de la columna, en caso de admitirlo).			
Movimientos de la columna sobre el riel.			
Mesa radiológica			
Desplazamientos longitudinales y frenos.			
Desplazamientos transversales y frenos.			
Desplazamientos de la gaveta o portachasis.			
Cierres para ajustar el chasis en la gaveta.			
Colimador			
Estabilidad del colimador.			
Movimiento de obturadores y diafragma.			
Botones y escala de acuerdo a la Distancia Foco-Película (DFP).			
Funcionamiento de la bombilla.			
Temporizador.			
Bucky vertical			
Enclavamientos.			
Desplazamientos del <i>bucky</i> sobre su soporte o columna.			
Desplazamientos de la gaveta o portachasis.			
Cierres para ajustar el chasis en la gaveta.			
6. Carta Técnica	Conforme	No conforme	Observaciones
Existencia de carta técnica.			

Nota: Versión con correcciones realizadas el 10 de enero de 2022 a solicitud del elaborador