



**“CONTROL DE CALIDAD EN EQUIPOS DE
RADIODIAGNÓSTICO
(EXCLUSIVO PARA EQUIPOS DE RAYOS X
RADIOGRÁFICOS ESTACIONARIOS)”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
PREPARADO PARA LA FACULTAD
INGENIERÍA**



**PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO BIOMÉDICO**

POR:

GUILLERMO ISAAC MEDRANO GUILLÉN

SEPTIEMBRE - 1999

SOYAPANGO – EL SALVADOR - CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PBRO. PEDRO JOSÉ GARCÍA CASTRO S.D.B.

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. CARLOS GUILLERMO BRAN

ASESOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN:

ING. BORIS ADALBERTO CHÁVEZ

CONSULTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN:

ING. JOSÉ GUILLERMO LÓPEZ

JURADO EXAMINADOR

ING. ERNESTO G. GIRÓN

ING. ANDRÉS SANTELIZ

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA BIOMÉDICA

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“CONTROL DE CALIDAD EN EQUIPOS DE
RADIODIAGNÓSTICO
(EXCLUSIVO PARA EQUIPOS DE RAYOS X RADIOGRÁFICOS
ESTACIONARIOS)”**



ING. ERNESTO G. GIRÓN
JURADO



ING. ANDRÉS SANTELIZ
JURADO



ING. BORIS ADALBERTO CHÁVEZ
ASESOR

RECONOCIMIENTO

A mi Asesor y consultor, por toda la guía y ayuda que me brindaron en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Ernesto Girón, e Ing. Andrés Santeliz por haber contribuido con sus observaciones y experiencia al contenido del presente proyecto de graduación.

Al Doctor Guillermo Diller, por todo el apoyo moral, aporte de su experiencia, calidad investigativa, e interés por el desarrollo de esta investigación, lo cual incluyó préstamo de equipos y facilitación de transporte.

A la Doctora Carolina Escobar y el Doctor Ronald Torres, por el préstamo de equipos y apoyo.

Al Doctor Angel Doño por haber brindado la idea original de investigación y el seguimiento de la misma.

Al Sr. Miguel Gámez, Sr. Miguel Lemus, Ing. Ramón Portillo, Ing. Zelaya y Lic. Espejo Villalobos por toda el apoyo y asesoría técnica brindados, que influyeron de gran forma en la dirección de la presente investigación.

A todos los profesores de la Universidad, por haber contribuido durante más de cinco años a la formación académica de mi persona, lo cual incidió sin duda en la elaboración del presente trabajo de graduación.

A los técnicos en rayos X, personal de mantenimiento, docentes, y demás personas que compartieron sus conocimientos, experiencias y tiempo en la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios Yavé, por haberme brindado la fuerza de voluntad, y haber actuado cada día y cada hora, en todas las condiciones involucradas para facilitar a las personas, equipos e información necesaria para realizar el presente proyecto, y vencer los desánimos y dificultades.

A mis padres, por haberme inculcado el deseo de superación y realización de las cosas con el mayor esfuerzo y calidad posible, y por su apoyo e interés que han sido definitivos.

A mi hermana Flor, y demás familiares, por su ayuda y apoyo.

A mis amigos del colegio, (incluyendo al que ya no está con nosotros), amigos y amigas de eje, por haberme brindado su apoyo y cariño tan importantes para seguir adelante durante toda mi carrera, y seguirlo haciendo para el resto del camino.

A Ingrid y Claudia por su valiosa amistad de la cual he aprendido mucho, por su comprensión y apoyo incondicional en momentos definitivos.

A Pedro, Mundo, Rolando, Carlos Eduardo, Francisco, Gloria Marta, demás amigos (as) y compañeros (as) de la Universidad (Ingeniería y Tecnológico), con quienes compartimos momentos difíciles, alegres, tristes, de quienes aprendí muchas cosas valiosas, y que constituyeron la mitad de mi vida durante más de cinco años.

Al Ing. Osorio e Ing. Castro por su comprensión y paciencia.

A la Lic. Helen Palm, Carlos Eduardo, Valdimir, Vilma, el Señor Martínez, demás personal de la oficina y Mantenimiento Central, por su amistad, apoyo, facilitación de información y equipos, además de la promoción de un ambiente de trabajo agradable.

A esa persona con quien compartimos muchos momentos buenos, con quien tratamos de hacer las cosas de la mejor manera, y quien tiene aún un sitio especial para mí, pero por diferentes circunstancias nuestras vidas tuvieron que separarse.

A todos aquellos amigos, amigas y demás personas que me ofrecieron ayuda, apoyo moral, ánimo y que contribuyeron de alguna forma a terminar esta etapa, y que no son mencionados por temor a dejar a alguien fuera.

INDICE

PÁG

Introducción

Objetivos

1. Principios Básicos	1
1.1. Los rayos X	1
1.1.1. Análisis como onda y como partícula.	
1.1.2. Propiedades de los rayos X.	
1.1.3. Interacción con la materia	
1.2. Producción de los rayos X	4
1.2.1. Producción de calor	
1.3. El haz de rayos X y la formación de la imagen Espacial	6
1.3.1. Radiaciones presentes en el haz de rayos X.	
1.3.2. Características del haz de rayos X.	
1.3.3. Calidad.	
1.3.3.1. Factores que afectan la calidad.	
1.3.4. Cantidad de rayos X.	
1.3.4.1. Factores que afectan la cantidad de rayos X.	
1.3.5. Formación de la imagen espacial o aérea.	
1.3.5.1. Factores que afectan la absorción de los rayos X.	
1.3.5.2. Absorción diferencial en el cuerpo humano.	
1.3.5.3. Factores de exposición que afectan la imagen aérea.	
1.3.5.4. Efecto de talón.	
1.3.5.5. Geometría de formación de la imagen.	
1.4. Radiación dispersa	20
1.4.1. Fuentes de radiación dispersa.	
1.4.2. Efecto en el contraste del sujeto.	
1.4.3. Factores que afectan la radiación dispersa.	
1.4.4. Reducción de la radiación dispersa.	
1.4.4.1. Restrictores de haz.	
1.4.4.2. La rejilla.	
1.5. Registro de la imagen (formación de la imagen latente)	27

1.5.1. La película radiográfica.	
1.5.1.1. Estructura.	
1.5.1.2. Tipos de película.	
1.5.1.3. Manejo y almacenamiento de la película radiográfica.	
1.5.2. La pantalla intensificadora.	
1.5.2.1. Estructura.	
1.5.2.2. Clases de pantallas.	
1.5.2.3. Combinación pantalla película.	
1.5.2.4. Cuidados de la pantalla.	
1.5.2.5. Contacto pantalla película.	
1.6.Revelado de la imagen latente	36
1.6.1. Etapas del proceso.	
1.6.2. Componentes del revelador.	
1.6.3. Componentes del fijador.	
2. Equipos Radiográficos y procesadoras automáticas	39
2.1.Equipos de Rayos X	39
2.1.1. Tipos de equipos.	
2.1.1.1. Por la forma en que muestran la imagen.	
2.1.1.2. Por su instalación.	
2.1.1.3. Por la parte irradiada.	
2.1.2. Componentes de un equipo de rayos X.	
2.1.2.1. El tubo de rayos X.	
2.1.2.2. El panel de control.	
2.1.2.3. El transformador de alta tensión.	
2.1.3. Mantenimiento Preventivo.	
2.1.4. Condiciones de instalación.	
2.1.4.1. Instalación de planta física.	
2.1.4.2. Instalación eléctrica.	
2.1.4.3. Instalación del equipo.	
2.2.Equipos de procesado de películas radiográficas	52
2.2.1. Componentes del sistema.	

2.2.1.1.	Sistema de relleno.	
2.2.1.2.	Sistema de circulación.	
2.2.1.3.	Control de temperatura.	
2.2.1.4.	Sistema de drenaje.	
2.2.1.5.	Sistema de lavado.	
2.2.1.6.	Sistema de secado.	
2.2.1.7.	Sistema de transporte.	
2.2.2.	Mantenimiento Preventivo.	
2.2.3.	Condiciones de Instalación.	
2.2.3.1.	Instalación de planta física.	
2.2.3.2.	Instalación eléctrica.	
2.2.3.3.	Instalación del equipo.	
3.	Principios de protección radiológica	62
3.1.	Unidades radiológicas y conceptos afines	62
3.1.1.	El roentgen y la dosis de exposición.	
3.1.2.	El rad (radiation absorbed dose) y la dosis absorbida.	
3.1.3.	El rem (roentgen equivalent men) y la dosis equivalente (H).	
3.2.	Métodos para la medición de las radiación	65
3.2.1.	Cámara de ionización.	
3.2.2.	Contador proporcional.	
3.2.3.	Detectores fotográficos.	
3.3.	Calibración y revisión de los instrumentos de vigilancia radiológica	67
4.	Control de Calidad	69
4.1.	Programas de control y aseguramiento de la calidad	69
4.2.	Calidad de Imagen	70
4.2.1.	Contraste de la película.	
4.2.2.	Borrosidad radiográfica.	
4.2.2.1.	Borrosidad Geométrica.	
4.2.2.2.	Borrosidad de la película.	
4.2.2.3.	Borrosidad de la pantalla.	
4.2.2.4.	Borrosidad por movimiento.	

4.2.3. Granulosidad.	
4.2.4. Métodos de evaluación de la calidad de imagen.	
4.2.4.1. Evaluación de la borrosidad.	
4.2.4.2. Evaluación del nivel de resolución.	
4.2.4.3. Evaluación de la función de transferencia de modulación.	
4.3. Factores que afectan la calidad de imagen	77
4.3.1. Factores concernientes a los equipos.	
4.3.1.1. Factores concernientes a los equipos de rayos X radiográficos estacionarios.	
4.3.1.2. Factores concernientes a las procesadoras automáticas.	
4.3.2. Factores concernientes a las instalaciones.	
4.3.2.1. Sala de rayos X.	
4.3.2.2. Cuarto Oscuro.	
4.3.3. Factores concernientes a la pantalla y la película.	
4.3.3.1. La película.	
4.3.3.2. La pantalla.	
4.3.3.3. Combinación pantalla película.	
4.4. Pruebas para evaluar los factores que afectan la calidad de imagen	82
4.4.1. Reproducibilidad de la exposición.	
4.4.2. Revisión de la filtración.	
4.4.3. Calibración del kilovoltaje.	
4.4.4. Precisión del tiempo.	
4.4.5. Precisión del miliamperio y reciprocidad del mAs.	
4.4.6. Tamaño del punto focal.	
4.4.7. Sistema de restricción del haz de radiación.	
4.4.8. Indicador de distancia foco película.	
4.4.9. Contacto pantalla película.	
4.4.10. Verificación del funcionamiento de la procesadora de películas	
4.4.11. Condiciones de cuarto oscuro.	
5. Normas seleccionadas y entidades que las formulan	95
5.1. Entidades participantes	97
5.2. Procedimientos sugeridos	99
5.2.1. Condiciones de cuarto oscuro.	

- 5.2.2. Temperatura de las soluciones químicas.
- 5.2.3. Medición del kilovoltaje.
- 5.2.4. Prueba de punto focal.
- 5.2.5. Medición del tiempo de exposición.
- 5.2.6. Evaluación del rendimiento (Reciprocidad del mAs).
- 5.2.7. Constancia de rendimiento.
- 5.2.8. Coincidencia de centros y de campo de radiación (sistema de restricción del haz de radiación).
- 5.2.9. Prueba de contacto pantalla película.
- 5.2.10. La calidad del haz (HVL).
- 5.2.11. Prueba de Rejilla.

PARTE II: PROCESO DE INVESTIGACIÓN

6. Establecimiento de las Hipótesis	113
6.1. Hipótesis	113
6.2. Definición de las variables	116
7. Proceso de Muestreo	119
7.1. Selección de la muestra	119
7.2. Recolección de la información	119
7.3. Instrumentos de recolección de la información	120
7.3.1. Formatos.	
7.3.2. Equipos de medición.	
8. Resultados	122
8.1. Resultados de encuestas a médicos	122
8.2. Resultados de encuestas a jefes de departamentos de rayos X	124
8.3. Resultados de mediciones en muestra de equipos	127
8.4. Resultados de mediciones en instalaciones	134
8.5. Resultados de comparación de especificaciones de fabricantes vrs. Normas y recomendaciones	134

9. Análisis de Resultados	136
10. Conclusiones y recomendaciones	143
10.1. Conclusiones de la investigación	143
10.1.1. Generales.	
10.1.2. Equipos de Rayos X	
10.1.3. Procesadoras automáticas y cuartos oscuros.	
10.2. Recomendaciones	144
10.2.1. Al personal operador.	
10.2.2. A las autoridades correspondientes.	
10.2.3. Al personal técnico de mantenimiento local.	
10.3. Limitaciones de la investigación	146
10.4. Criterios seleccionados de control de calidad	146
10.5. Protocolo de aceptación	148
11. BIBLIOGRAFÍA	151
12. GLOSARIO	155
13. ANEXOS	157
13.1. ANEXO 1: Rutina de Inspección y Mantenimiento Preventivo Planificado para equipos de rayos X radiográficos estacionarios. Tomada de [6]	158
13.2. ANEXO 2: Rutina de Mantenimiento Preventivo Planificado (trimestral) para equipos de rayos X radiográficos estacionarios. Tomada de [7]	159
13.3. ANEXO 3: Rutina de Mantenimiento Preventivo Planificado para procesadoras automáticas. Tomada de [7]	160
13.4. ANEXO 4: Formatos de control de calidad	161
13.5. ANEXO 5: Tolerancias en las dimensiones del punto focal	172
13.6. ANEXO 6: Listado de Equipos de Rayos X en el MSPAS	173
13.7. ANEXO 7: Listado de Procesadoras Automáticas en el MSPAS	174
13.8. ANEXO 8: Lista de grupos de Procesadoras con Equipos de Rayos X	175
13.9. ANEXO 9: Encuesta para Médicos Usuarios de radiografías	177
13.10. ANEXO 10: Encuesta para Jefes de Departamento de Rayos X	178

13.11. ANEXO 11: Formato para Evaluación Fuera de la Encuesta	180
13.12. ANEXO 12: Equipos Utilizados en la Investigación	181
13.13. ANEXO 13: Valores de Tolerancia para el Control de Calidad	182
13.14. ANEXO 14: Normas y Recomendaciones para Condiciones de Instalación	184
13.15. ANEXO 15: Especificaciones de Fabricante	185
13.16. ANEXO 16: Protocolo de Aceptación para Equipos de Rayos X	196
13.17. ANEXO 17: Tabla de Números Aleatorios, obtenida de [28]	198

INTRODUCCION

El control de calidad, es un tema que se encuentra en auge en la actualidad, tanto en el ámbito industrial como en el médico. Organizaciones de países industrializados, están creando y mejorando constantemente normativas y recomendaciones de calidad que buscan asegurar un buen servicio médico/hospitalario para el paciente.

En El Salvador esta área se encuentra aún en sus comienzos, pero está siendo fuertemente impulsada por el fenómeno de la globalización. En el área de radiología de diagnóstico, esta necesidad de calidad está centrada en el tema de protección radiológica para los seres humanos, la cual está siendo guiada por organismos internacionales que recomiendan control de calidad.

En el presente trabajo se ha elaborado una base teórica y práctica acerca del control de calidad en los equipos de rayos X radiográficos estacionarios y procesadoras automáticas, en la cual se vinculan las causas de una imagen de mala calidad con procedimientos de control de calidad establecidos por normas de un país de la región norteamericana como lo son los Estados Unidos Mexicanos, y recomendaciones de uno fuera de la región como lo es España. Estas recomendaciones y normas han sido tomadas como base para elaborar procedimientos y formatos de prueba que permitan realizar mediciones en equipos reales.

Por otro lado se presentan los resultados de su aplicación en una muestra seleccionada de los equipos de rayos X radiográficos estacionarios y procesadoras automáticas ubicados en los establecimientos del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de la República de El – Salvador, analizando algunas posibles condiciones importantes que influyen en estos, haciéndose recomendaciones para el mejoramiento de las mismas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Establecer una base teórica y práctica acerca de los parámetros que es necesario evaluar en la garantía de la calidad en radiodiagnóstico de acuerdo a normas internacionales, específicamente en equipo radiográfico estacionario y procesadoras automáticas; de modo que sirva como un mecanismo de evaluación para estos equipos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar y proponer un protocolo para la evaluación de la calidad de los equipos de rayos X radiográficos estacionarios y procesadoras automáticas.
- Utilizar este protocolo para efectuar una investigación utilizando el método científico, acerca del estado actual de los equipos de Rayos X radiográficos estacionarios y procesadoras automáticas en los establecimientos del Ministerio de Salud de El Salvador.
- Efectuar una comparación de los resultados obtenidos, con los valores establecidos en las normas internacionales dadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) u otras entidades especializadas en el tema.
- Con base en los resultados obtenidos, evaluar la incidencia de factores como condiciones de funcionamiento del equipo, programas de mantenimiento planificado, condiciones de instalación, otros factores determinados por las normas.
- Brindar criterios basados en el estudio, para el mejoramiento en estos factores.
- Establecer procedimientos de aceptación de los equipos radiográficos fijos según los parámetros determinados en el presente estudio.

1. PRINCIPIOS BÁSICOS

En esta sección, se presentan conceptos básicos acerca de la formación de la imagen por medio los rayos X, y los factores que la afectan. La mayor parte de estos temas son desarrollados en una forma más extensa por las referencias citadas.

1.1 LOS RAYOS X

Los rayos X son una forma de radiación electromagnética, con una longitud de onda que se encuentra entre los 10^{-10} y los 10^{-16} metros. En el rango de diagnóstico se utilizan energías entre 30 y 150 keV aproximadamente, que corresponden a longitudes de onda entre 4.15×10^{-11} y 8.3×10^{-12} metros. Los rayos X constituyen una radiación ionizante, ya que “provocan la ionización de los átomos del material interpuesto o la excitación de los mismos” [3]¹, razón por la cual su uso debe ser limitado, sobre todo al ser utilizados en seres vivos.

Estos fueron descubiertos en forma accidental por el doctor Wilhelm Conrad Röntgen en 1895, quien por no conocer su origen y naturaleza, los llamó Rayos X.

Actualmente desempeñan un papel fundamental en terapia, donde son utilizados para el tratamiento de algunas enfermedades, y en imagenología médica, donde son utilizados para obtener imágenes del cuerpo del ser humano, con el propósito de contribuir a un diagnóstico del estado del paciente.

1.1.1. ANÁLISIS COMO ONDA Y COMO PARTÍCULA

Los rayos X como toda onda electromagnética pueden ser analizados como onda y como partícula, dependiendo de la mayor conveniencia para el análisis.

Si se estudian como onda, sus características de interés son la *longitud de onda*, la *frecuencia*, la *magnitud*. Al ser estudiados como partículas, se dice que los rayos X están formados por pequeños e independientes paquetes de energía, llamados *quanta*, *quantum* o fotones. Cada uno de estos pequeños paquetes tiene una cantidad de energía determinada, para encontrarla es necesario conocer su longitud de onda. Por tanto ambas formas de análisis están íntimamente relacionadas.

¹ Fuente bibliográfica consultada

1.1.2. PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

Además de la propiedad de poder ser analizados como onda y como partícula, los rayos X poseen otras propiedades, como son:

- a) Su corta longitud de onda, permite penetrar materiales que absorben o reflejan otras radiaciones de mayor longitud de onda, tal es el caso de la luz visible.
- b) Tienen la capacidad de hacer fluorescer ciertas sustancias, es decir que al incidir en estas, las hace emitir radiación electromagnética de longitudes de onda diferentes, como luz visible y radiación ultravioleta.
- c) Afectan las películas fotográficas, produciendo un registro que puede hacerse visible mediante el proceso de revelado.
- d) Producen modificaciones biológicas, por lo que son utilizados en procesos de terapia.
- e) Tienen la capacidad de ionizar átomos de ciertas sustancias, entre ellas los gases, lo cual permite utilizarlos para medir y regular la exposición a los rayos X.

1.1.3. INTERACCIÓN CON LA MATERIA

Cuando un cuerpo es expuesto a los rayos X, estos pueden atravesarlo sin tener ninguna interacción, o pueden interactuar con éste. Existen cinco interacciones básicas de los rayos X con la materia, estas son:

a) DISPERSIÓN CLÁSICA

Llamada también dispersión coherente o Thomson. En este caso, el fotón incidente interactúa con un átomo blanco haciendo que se excite. El átomo blanco libera inmediatamente ese exceso de energía como un fotón secundario o disperso, con longitud de onda igual a la del rayo incidente ($\lambda = \lambda'$) y por tanto con la misma energía. La dirección del fotón secundario es distinta a la del fotón incidente. *El resultado neto de la dispersión clásica es un cambio en la dirección de los rayos X, sin que varíe su energía.* No existe transferencia de energía ni ionización. La mayor parte de los rayos X objeto de dispersión clásica son dispersados en dirección anterógrada.

La dispersión clásica tiene escasa importancia en radiología diagnóstica, puesto que comprende fundamentalmente rayos X de baja energía que apenas contribuyen a la radiografía. Sin embargo parte de la dispersión clásica se produce dentro del rango de diagnóstico, lo cual contribuye en alguna medida al velo de la película (la coloración grisácea general de una radiografía producida por fotones que no portan información).

b) EFECTO O DISPERSIÓN COMPTON

De gran importancia en radiodiagnóstico, ya que se da en rayos X de energía moderada utilizados para dicho fin, y consiste en que *el rayo X incidente interacciona con un electrón de la capa externa y lo expulsa del átomo, con lo que es ionizado. El rayo X continúa en una dirección alterada y con menor energía.*

Durante una interacción Compton, la mayor parte de la energía se divide entre el fotón disperso y el electrón secundario, también llamado electrón Compton. Es habitual que el electrón disperso retenga la mayor parte de la energía. Tanto el fotón disperso como el electrón secundario pueden tener energía suficiente para experimentar más interacciones de ionización antes de perderla toda. En último término, el fotón disperso será absorbido fotoeléctricamente y el electrón secundario caerá en un hueco de capa atómica creado previamente por algún otro evento ionizante.

Los fotones dispersos hacia atrás en dirección contraria a la del haz de rayos X incidente, se denominan *radiación retrodispersa*. Los rayos X dispersos no proporcionan información útil en la placa; por el contrario, *contribuyen a velar la película*, lo cual se traduce en una radiografía de calidad inferior, además es el *origen de casi toda la exposición laboral* que recibe el técnico.

Existen medios para reducir la radiación dispersa, los cuales se exponen en la sección 1.4.4, pero ninguno es totalmente eficaz, y por tanto siempre afecta la calidad de imagen.

c) EFECTO FOTOELECTRICO

Los rayos X en el rango diagnóstico también pueden experimentar interacciones de ionización con electrones de capas internas de los átomos, de forma *que el rayo X no se dispersa, sino que es totalmente absorbido*. Este proceso se denomina efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico es una interacción de absorción del fotón. El electrón eliminado del átomo, conocido como fotoelectrón, escapa con energía cinética igual a la diferencia entre la energía del rayo X incidente y la de unión del electrón.

Tras una interacción fotoeléctrica se producen rayos X característicos, los cuales constituyen también *radiación secundaria* y se comportan como lo hace la radiación dispersa. Nada aportan a la información diagnóstica y se producen con intensidad insignificante.

También existen *la fotodesintegración y la producción de pares*, fenómenos que sólo comprenden rayos X con energía mayor de 10 MeV, y que por tanto, *carecen de importancia en radiología diagnóstica*.

1.2. PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X

Cuando un conjunto de electrones (partículas minúsculas, cargadas con potencial eléctrico negativo), se mueven a gran velocidad e impactan con cualquier clase de materia, se producen rayos X. Al interior de un tubo de rayos X, esta corriente de electrones choca contra una placa de metal, generalmente tungsteno (que en adelante se denominará “blanco” o “el blanco”). Al hacerlo, los electrones se detienen bruscamente, transformándose la mayor parte de su energía en calor, y sólo una pequeña parte en rayos X. En las condiciones de exposición usadas en radiografía médica, solo el 1% se transforma en rayos X. [1]

El medio más eficaz para generar rayos X es un tubo de rayos X, cuya forma más simple consiste en una ampolla de vidrio al vacío que contiene dos partes principales: el cátodo y el ánodo. (Ver figura 1)

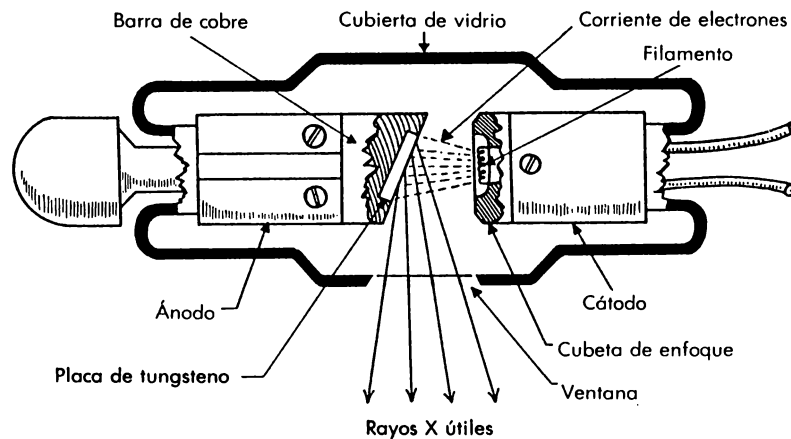


Figura 1: Esquema de un tubo de rayos X estándar, de ánodo fijo.

La forma de acelerar estos electrones y hacerlos chocar con el blanco es aplicando una diferencia de voltaje muy alta entre el cátodo (-) y el ánodo (+), donde se encuentra el blanco. Este voltaje se encuentra en el rango de miles de voltios para radiodiagnóstico, por lo cual es denominado kilovoltaje (kV).

1.2.1. PRODUCCIÓN DE CALOR

Como ya se mencionó, la mayor parte de la energía se transforma en calor y debe ser eliminado, ya que podría dañar el estado físico del tubo de rayos X. Los principales métodos utilizados para este propósito son:

- Utilizar un material de alto grado de conductividad térmica (generalmente cobre) como soporte del blanco, y utilizarlo como radiador.

- b) Colocar el tubo dentro de un recipiente rodeado por aceite, el cual funciona como disipador térmico.
- c) Utilizar el principio de foco lineal, que consiste en hacer que el tamaño del punto focal o foco parezca más pequeño cuando se observa en dirección del rayo central (Ver figura 2).
- d) Utilizar el principio del ánodo giratorio, el cual consiste en sustituir el blanco fijo, por un disco con un bisel exterior blanco de continua rotación. De este modo, la posición del foco donde los electrones se encuentran golpeando, se encuentra fija en el espacio, aunque la superficie del blanco real es diferente en cada instante. Así se aumenta la superficie de disipación del blanco en forma proporcional al tamaño de disco (Ver figura 2b).

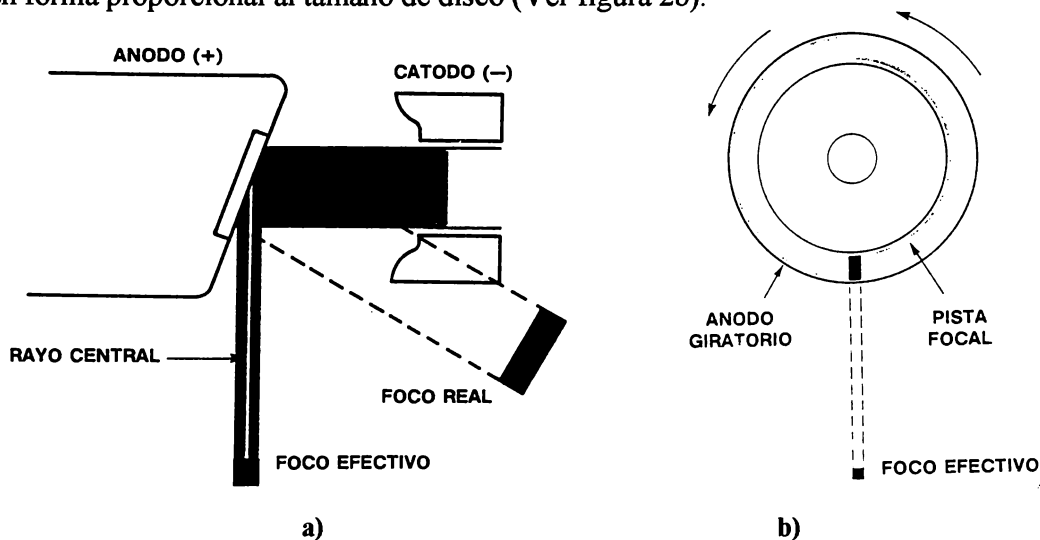


Figura 2: (a) Aplicación del principio de foco lineal y del ángulo del blanco (ánodo) con objeto de obtener un foco efectivo pequeño. (b) Vista frontal del ánodo giratorio; El foco real permanece fijo en el espacio, mientras que el ánodo gira continuamente y proporciona así una superficie más fría a la corriente de electrones.

1.3. EL HAZ DE RAYOS X Y LA FORMACIÓN DE LA IMAGEN ESPACIAL

En la formación de la imagen radiográfica, influyen tanto las características del haz, como las del sujeto u objeto irradiado. Las características del haz están determinadas por el tipo de radiaciones presentes en éste.

1.3.1. RADIACIONES PRESENTES EN EL HAZ DE RAYOS X

Cuando los electrones chocan con el blanco (ánodo), los rayos X son producidos principalmente por dos procesos, en los cuales se producen dos tipos de radiaciones: La radiación *bremstrahlung* y la *característica*.

a) RADIACIÓN BREMSTRAHLUNG

El electrón al desacelerarse, pierde energía cinética, liberándola en forma de fotón de radiación X. Esta radiación es *heterogénea*, es decir, no es uniforme ni en energía, ni en longitud de onda. Ello se debe a las diferentes desaceleraciones correspondientes a cada electrón. Dicha radiación también es llamada *general o blanca*.

b) RADIACIÓN CARACTERÍSTICA

Un electrón con suficiente energía cinética, puede llegar a colisionar con un electrón de los orbitales interiores de un átomo del blanco, sacando al segundo de su órbita. En este momento el átomo se vuelve inestable, de modo que un electrón de un nivel exterior (de mayor energía que el interior) toma el lugar vacante. El exceso de energía es liberado en forma de radiación X, con una longitud de onda discreta, la cual es *característica del elemento que forma el blanco*. Razón por la cual ésta es llamada *radiación característica*.

Debido a estos dos fenómenos, *el haz de rayos X que sale del tubo no es homogéneo*, es decir que no todos sus fotones tienen la misma energía ni la misma longitud de onda. Por esto se dice que el haz es heterogéneo, con radiación de alta y de baja energía. Entre más homogéneo es un haz, es posible obtener imágenes de mejor calidad.

1.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL HAZ DE RAYOS X

Por la presencia de diferentes longitudes de onda en el haz de rayos X, se han determinado características que hacen cuantificable la proporción de haces de alta o baja capacidad de penetración, así como de la cantidad de fotones en general. Estas características son la *calidad* y la *cantidad*.

1.3.3. CALIDAD

Es la capacidad de penetración de un haz de rayos X, la cual se incrementa a medida que lo hace la energía efectiva del mismo. El término capacidad de penetración, o penetrabilidad, se refiere al rango de haces de rayos X que inciden sobre la materia; los de mayor energía, tienen mayor penetración que los de baja energía.

La calidad del rayo X es afectado por los factores que se exponen a continuación (sección 1.3.3.1), que afectan también en forma indirecta el contraste de la película (término que se define en el capítulo 4), e influyen en la imagen aérea (ver sección 1.3.2).

1.3.3.1. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD

a) EL KILOVOLTAJE

A medida que el kilovoltaje aplicado al tubo aumenta, mayor es la calidad del rayo. Un incremento en el kV produce una elevación de la energía media de los fotones, es decir un desplazamiento del espectro de emisión de rayos X hacia el lado de alta energía, haciéndose más penetrante.

Cuando se emplean kilovoltajes bajos, los rayos X tienen una longitud de onda mayor y son absorbidos fácilmente, denominándose rayos X *blandos*, o de *baja calidad*. La radiación producida por los kilovoltajes más altos tiene más energía y su longitud de onda es más corta. Estos rayos X son mucho más penetrantes, y generalmente se llaman duros o de alta calidad, los cuales penetran con mayor facilidad la materia.

Generalmente se utiliza más el término de kilovoltios pico (kVp) en vez de sólo kilovoltios (kV), ya que el voltaje aplicado al tubo (entre ánodo y cátodo) no es un voltaje continuo, sino que usualmente es un voltaje rectificado. El término kilovoltaje pico corresponde al voltaje máximo de la señal rectificada. A esta señal rectificada, se le denomina forma de onda de tensión, cuyo efecto en el haz de rayos X se explica el literal b.

b) FORMA DE ONDA DE TENSIÓN.

El uso de una u otra forma de onda de tensión tiene determinado efecto en la energía media del haz de rayos X, y este efecto es, en cierto modo, similar al que se obtendría aumentando el kilovoltaje. Un haz originado por un generador de alta frecuencia (ver sección 3.1.2.3), con un kVp determinado, tendrá mayor energía promedio, por tanto una mayor proporción de fotones, cada uno con mayor energía, y por tanto más penetrantes, que uno de origen trifásico; y éste a su vez que el de origen monofásico que utilicen el mismo kVp.

c) LA FILTRACIÓN

El término filtración, se refiere a la eliminación de los fotones de baja energía del haz de rayos X, mediante un elemento absorbente (filtro). Así pues, puede decirse que la inserción de filtros

endurece el haz de rayos X; es decir, aumenta en el haz la proporción de fotones de gran energía y poder de penetración (Ver figura 3). En otras palabras *aumenta su calidad*.

Aún en el caso de instalaciones de alto kilovoltaje, el haz contiene siempre algunos rayos X de bajo poder de penetración, pero hay pocas probabilidades de que estos rayos atraviesen el cuerpo del paciente y formen una imagen útil; en su mayor parte sólo se añadirán a la dosis radiológica que de por sí absorbe el paciente. Por esta razón, es deseable, e incluso obligatorio, eliminar estos rayos inútiles, mediante un cierto grado de filtración. La cantidad de filtración que se requiere depende del kilovoltaje que se emplee. Puede especificarse en términos del equivalente aluminico de una capa hemirreductora (HVL: Half Value Layer). Ver sección 4.4.2.

Existen valores de HVL para kVp determinados que pueden verse en la tabla 1.

kVp	HVL (mm Al)
50	1.90
75	2.80
100	3.70
125	4.55
150	5.45

Tabla 1: Relación entre kVp y HVL para una unidad radiográfica estacionaria con filtración total de 2.5 mm Al.

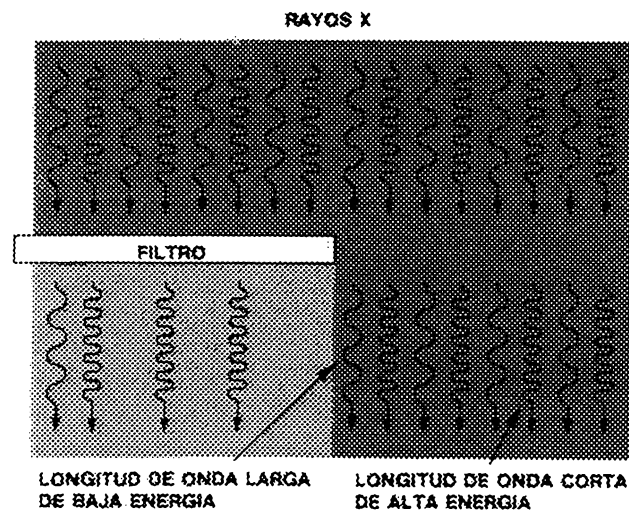


Figura 3: Efecto de la filtración. Nótese las diferentes longitudes de onda del haz de rayos X antes de llegar al filtro, que elimina más radiación de longitud de onda larga y de baja energía que radiación de longitud de onda corta.

A mayor filtración, mayor calidad del rayo. La figura 4 muestra el espectro de emisión de rayos X para un haz sin filtrar, uno filtrado normalmente, y otro en forma ideal. Este último muestra como es deseable el remover del haz todos los fotones con nivel de energía menor a un valor determinado.

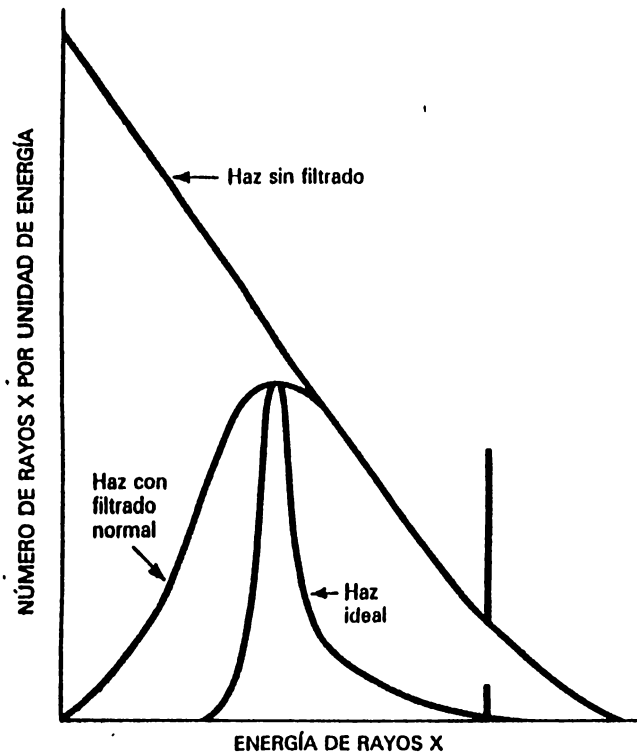


Figura 4: La filtración elimina selectivamente rayos X de baja energía. La filtración ideal los eliminaría todos.

c.1) TIPOS DE FILTROS

La filtración de haces de rayos X de diagnóstico tiene dos componentes: la filtración inherente y la filtración adicional.

c.1.1. Filtración inherente: Es aquella formada por la envoltura de vidrio del tubo y el aceite disipador de calor que la envuelve. El valor usual de la filtración inherente en los tubos de rayos X es de 0.5 mm. Esta tiende a incrementar con el tiempo, ya que parte del metal de tungsteno, tanto del blanco como del filamento se evapora y deposita en el interior de la envoltura de vidrio.

c.1.2. Filtración adicional: Es aquella constituida por las láminas de aluminio que se colocan entre la coraza protectora del tubo y el colimador. Esta atenúa los rayos X de todas las energías emitidos por el tubo, pero atenúa un porcentaje mayor de rayos X de baja energía que de alta

energía. Este desplazamiento en el espectro de emisión, da como resultado que el haz sea de mayor energía efectiva, y por tanto mayor calidad.

Ya que la filtración adicional atenúa el haz de rayos X, afecta la cantidad de fotones. Este efecto puede ser predecido. Si conocemos el HVL del haz, una filtración adicional igual al HVL del rayo, reduce el haz a una cantidad igual a la mitad de su valor sin filtrar y resulta en un haz más fuerte.

d) COMPOSICIÓN DEL BLANCO.

La distribución de la energía en el haz de rayos X, es decir, la cantidad relativa de radiaciones de alta y baja energía, también se ve afectada por el material del que está compuesto el blanco. En la mayoría de los equipos médicos, el blanco del tubo de rayos X está compuesto de tungsteno, o de una aleación de renio y tungsteno.

1.3.4. CANTIDAD DE RAYOS X

La intensidad de salida de un tubo de rayos X, es denominada cantidad de rayos X, la cual es medida en C/Kg^2 , el equivalente actual del roentgen (R). Este, el cual se explica en el capítulo 3, es una medida del número de pares de iones producidos en el aire, por la incidencia de un haz de rayos X. La cantidad de iones producidos es directamente proporcional a la cantidad de fotones incidentes y es la forma utilizada para “medir” la *cantidad* de radiación.

La relación entre la cantidad de radiación y el número de fotones en el haz, no es siempre de uno a uno. Existen pequeñas variaciones, las cuales están relacionadas con la energía efectiva del haz. Estas variaciones son de poca importancia en el rango de energía utilizado en radiodiagnóstico, por lo tanto es posible asumir que “el número de rayos X en el haz de radiación útil, es la cantidad de radiación”. [5]

1.3.4.1. FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE RAYOS X

Existen varios factores que afectan la cantidad de radiación, los más importantes son:

a) MILIAMPERIOS SEGUNDOS (mAs)

La cantidad de fotones emitidos desde el blanco en el tubo de rayos X, es directamente proporcional ya sea a la corriente aplicada al tubo (número de electrones que son lanzados al

² Coulombios por Kilogramo

blanco), al tiempo (seg), o al producto de ambos. En radiología la multiplicación de estos factores se denomina mAs (miliamperios segundos). La relación expresada en forma matemática, es de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Cantidad 1 (C/Kg)}}{\text{Cantidad 2 (C/Kg)}} = \frac{\text{mAs 1}}{\text{mAs 2}}$$

b) KILOVOLTAJE PICO (kVp)

La cantidad de rayos X varía con los cambios de kilovoltaje aplicado entre el ánodo y el cátodo (kVp), y es en forma aproximada directamente proporcional al cuadrado del kVp elegido. La relación en forma matemática se muestra así:

$$\frac{\text{Cantidad 1 (C/Kg)}}{\text{Cantidad 2 (C/Kg)}} = \frac{(\text{kVp 1})^2}{(\text{kVp 2})^2}$$

Entonces, para duplicar la cantidad de radiación, sería necesario incrementar el kilovoltaje en un 41 %, lo cual no es práctico para el operador. Es por eso que para controlar la cantidad de radiación, se recomienda utilizar la corriente o el tiempo, o el producto de estos anteriormente descrito, el mAs.

c) LA DISTANCIA

La cantidad de radiación, se rige por la ley del inverso del cuadrado de la distancia, la cual dice que *la cantidad de rayos X varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia*. Esta relación se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Cantidad 1 (C/Kg)}}{\text{Cantidad 2 (C/Kg)}} = \frac{(\text{Distancia 2})^2}{(\text{Distancia 1})^2}$$

d) FILTRACIÓN

Al igual que en la calidad del haz, la filtración también afecta la cantidad de fotones, ya que atenúa la mayor parte de los fotones de baja energía. Tanto la filtración inherente como la adicional, juegan un papel importante, como se expuso en la sección 1.3.3.1.

1.3.5. FORMACIÓN DE LA IMAGEN ESPACIAL O AÉREA

Como se explicó en la sección 1.1.3 cuando la materia es expuesta a radiación X, algunos fotones no interactúan con la materia traspasándola. El conjunto de rayos que traspasan la materia, forman una distribución de diversas intensidades de rayos X en el espacio, una imagen, a la que se denomina espacial o aérea.

La relación entre las intensidades de los rayos X en la imagen, se definen como contraste.

La formación de la imagen está entonces directamente relacionada con la absorción que hace la materia a los rayos X, así como de la cantidad y calidad de estos.

1.3.5.1. FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN DE RAYOS X

El grado de absorción de rayos X depende de diversos factores, los principales son:

- a) **ESPESOR DEL MATERIAL ABSORBENTE.** Existe una relación directamente proporcional entre el espesor del material y la absorción de rayos X que este realiza. Un objeto grueso absorbe más radiación que un fragmento delgado del mismo material. Por ejemplo, 6 cm^3 de agua absorben más rayos X que 1 cm^3 .
- b) **DENSIDAD DEL MATERIAL ABSORBENTE.** Cuando los materiales difieren en densidad (masa por unidad de volumen), el más denso absorbe más radiación que el menos denso. Por ejemplo 1 cm^3 de agua absorbe más rayos X que 1 cm^3 de vapor, puesto que 1 cm^3 de vapor pesa menos que 1 de agua.
- c) **NÚMERO ATÓMICO DEL MATERIAL ABSORBENTE.** La absorción depende del número atómico y de la energía de los rayos X incidentes. La relación entre el número atómico y la absorción es directamente proporcional, para fotones de rayos X de la misma energía. Es decir que a mayor número atómico, mayor absorción.
- d) **CALIDAD DEL HAZ.** Según lo indicado en la sección 1.3.3, el haz de alta calidad tiene mayor capacidad de penetración, y por tanto menor posibilidad de ser absorbido. Es por eso, que la calidad del haz es determinante en el grado de absorción de los fotones de rayos X por

la materia irradiada. Cuando se emplean haces de baja calidad, los rayos X tienen una longitud de onda mayor y son absorbidos fácilmente.

- e) **CANTIDAD DE RADIACIÓN.** La cantidad de fotones presentes en el haz, también afectan el grado de absorción del objeto irradiado, ya que a mayor número de fotones, mayor probabilidad de ser absorbidos. Aunque este punto está íntimamente ligado a la calidad de estos.

1.3.5.2. ABSORCIÓN DIFERENCIAL EN EL CUERPO HUMANO

Al considerar las aplicaciones médicas de los rayos X, debe tomarse en cuenta que el cuerpo humano es una estructura compleja, no solamente de diferentes espesores sino compuesta de diferentes sustancias, las cuales absorben los rayos X en diversos grados. Es decir, el hueso absorbe más rayos X que el tejido blando; éste, más que el aire (de los pulmones por ejemplo). Además, los tejidos enfermos absorben los rayos X de manera diferente que los huesos y los tejidos blandos normales. La edad del paciente también influye: los huesos de los ancianos tienen menos calcio y absorben menos rayos X que los huesos de los jóvenes.

En la figura 5 se muestran estas variaciones de absorción. Los rayos X emergen de una parte del cuerpo que consiste en un tejido óseo rodeado por tejido blando. Debido a su mayor número atómico y a su densidad, el hueso es más absorbente que el tejido blando que lo rodea y la intensidad del haz de rayos X a través del hueso es menor que la intensidad del haz a través de los demás tejidos.

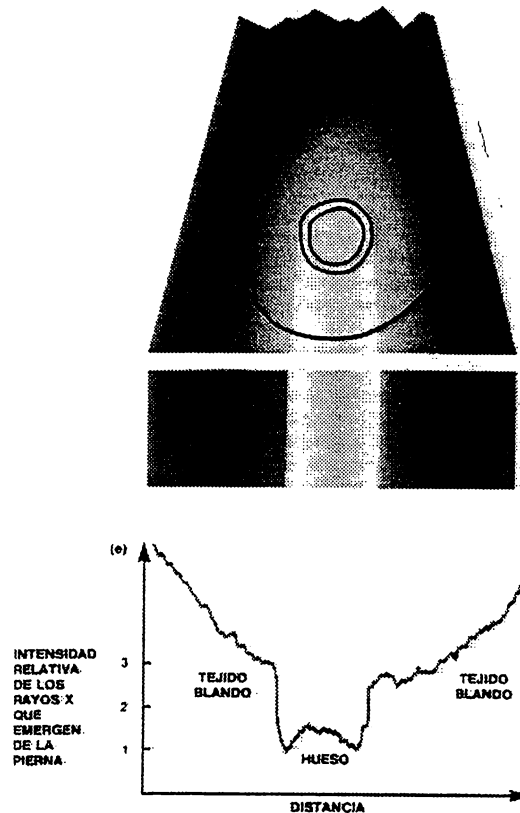


Figura5: Diagrama de intensidades relativas de rayos X que emergen de una pierna. La intensidad de los rayos X que emergen del tejido blando, es aproximadamente tres veces que el que sale del hueso.

1.3.5.4. FACTORES DE EXPOSICIÓN QUE AFECTAN LA IMAGEN AÉREA

De acuerdo a lo expuesto en la sección 1.3.5.1, la calidad y cantidad de radiación influyen en el grado de absorción, y por tanto en la imagen aérea. La calidad y cantidad se ven afectadas por factores de exposición utilizados (kVp, mA, tiempo y distancia). En esta sección se explica la incidencia directa de estos factores en la formación de la imagen aérea.

a) MILIAMPERAJE.

Como se vió en la sección 1.3.4., al aumentarse el miliamperaje se aumenta también la intensidad (cantidad) de los rayos X, y viceversa (figura 6). Por tanto, en la medida en que aumenta el miliamperaje o la intensidad de la radiación que emerge del foco, todas las intensidades correspondientes al patrón que emerge del cuerpo también aumentan; en otras palabras: las diversas intensidades de rayos X siguen guardando la misma relación entre sí. Por ejemplo, en la figura 6 consideremos que inicialmente se miden 3 unidades de intensidad de rayos X que emergen sólo del tejido blando, y una unidad que emerge del hueso. Después consideremos que el miliamperaje que fluye a través del tubo de rayos X se duplica, con lo cual también se duplica la producción de los rayos X. Esto duplica las intensidades que emergen sólo del tejido blando (con

lo cual se obtienen 6 unidades), así como la que emerge del hueso (2 unidades); se mantiene, pues, una relación 3:1 en el contraste del sujeto, que es la misma que existía antes de duplicar el miliamperaje. Es decir, la intensidad que emerge solo del tejido blando siempre será el triple de la intensidad que emerge del hueso, ya sea que el miliamperaje aumente o que disminuya.

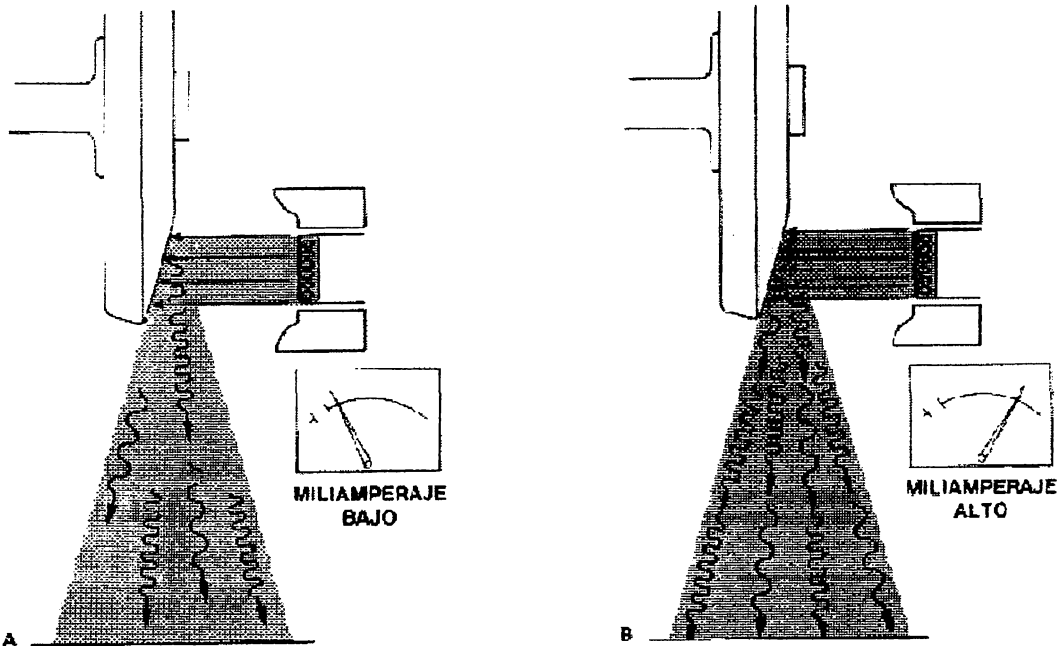


Figura 6: La cantidad de rayos X que emerge del tubo, es proporcional a la cantidad de corriente que por él pasa.

b) DISTANCIA.

A medida que disminuye la distancia entre el objeto y la fuente de radiación, la intensidad de los rayos X respecto al objeto aumenta (ver sección 1.3.4); y al contrario, disminuye al aumentar la distancia.

El cambio de distancia en la intensidad general de la imagen es muy similar al que produce el cambio en miliamperaje. En otras palabras, el contraste no se altera por los cambios en la distancia.

c) KILOVOLTAJE Y FORMA DE ONDA DE TENSIÓN.

Se ha señalado que debido a las diferencias en la forma de onda de tensión, el efecto de cambiar de un generador monofásico a uno trifásico es similar al de aumentar el kilovoltaje, y viceversa. Así pues, el efecto que tienen los cambios de la forma de onda de tensión en el contraste de la imagen y en la intensidad, energía y poder de penetración de los rayos X, es similar al efecto de los cambios en el kilovoltaje señalados anteriormente, que son: cambio en el poder de penetración

(calidad) de los rayos X, y en la intensidad total del haz (cantidad). Estos cambios alteran el contraste de la imagen aérea.

En la figura 7, se ilustra el efecto que el incremento del poder de penetración y de la intensidad tienen en la imagen aérea de rayos X. Supóngase que las figuras 7a y 7b muestran, respectivamente, las intensidades producidas con 50 Kv y con 70 Kv, ambas con el mismo miliamperaje constante.

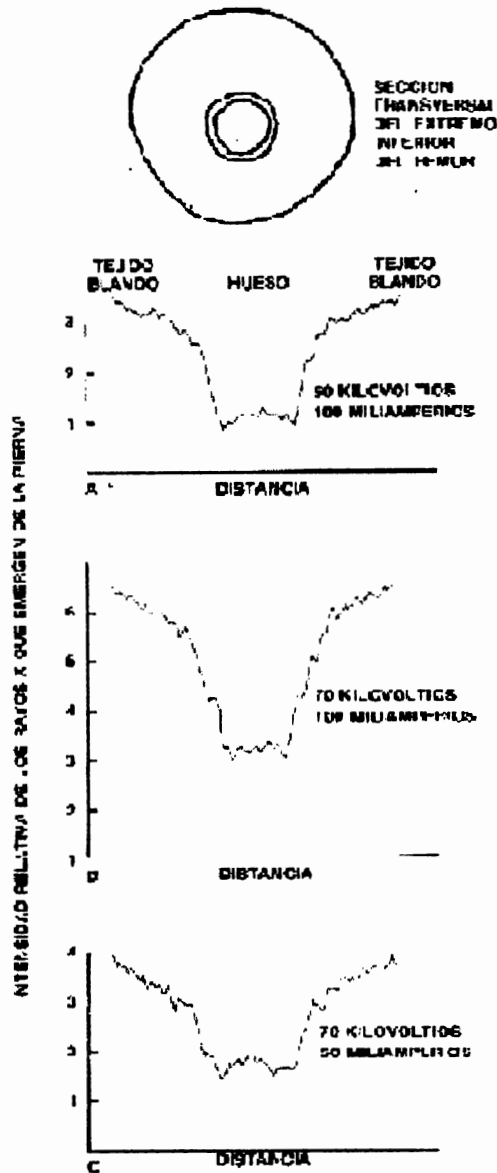


Figura 7: Las gráficas muestran las diferencias en la imagen aérea de una pierna, resultado de los cambios en el kilovoltaje y mA. Si se compara la distribución de intensidades de un haz de 50 kV (a), con la de un haz de 70 kV (b), al aumentar el kV aumentan también la intensidad y el poder de penetración; mientras que disminuye el contraste de la imagen. La comparación de la gráfica que se obtiene al reducir el miliamperaje de 100 (b) a 50 mA (c) muestra que la intensidad de los rayos X se ha reducido a la mitad, pero las intensidades correspondientes guardan la misma relación.

La intensidad de los rayos X que penetran el tejido blando es el doble en la figura 7b (70 Kv) que en la figura 7a (50 kV); la relación es de 6 contra 3. Sin embargo, el contraste en esa misma figura es menor que en la figura 7a ($6/3 = 2$ en 7b; $3/1 = 3$ en 7a).

Si se redujera el miliamperaje del haz de 70 kV a la mitad, la intensidad de los rayos X que emergen del tejido blando se reduciría también en la misma proporción, como se muestra en la figura 7 c, mientras que el contraste de la imagen permanecería sin variación ($3/1.5 = 2$).

d) TIEMPO

El tiempo es otro factor determinante en la formación de la imagen aérea. A mayor tiempo de exposición, mayor número de fotones atraviesan el objeto, al mismo tiempo que mayor número de fotones son absorbidos por éste.

1.3.5.4. EFECTO DE TALÓN

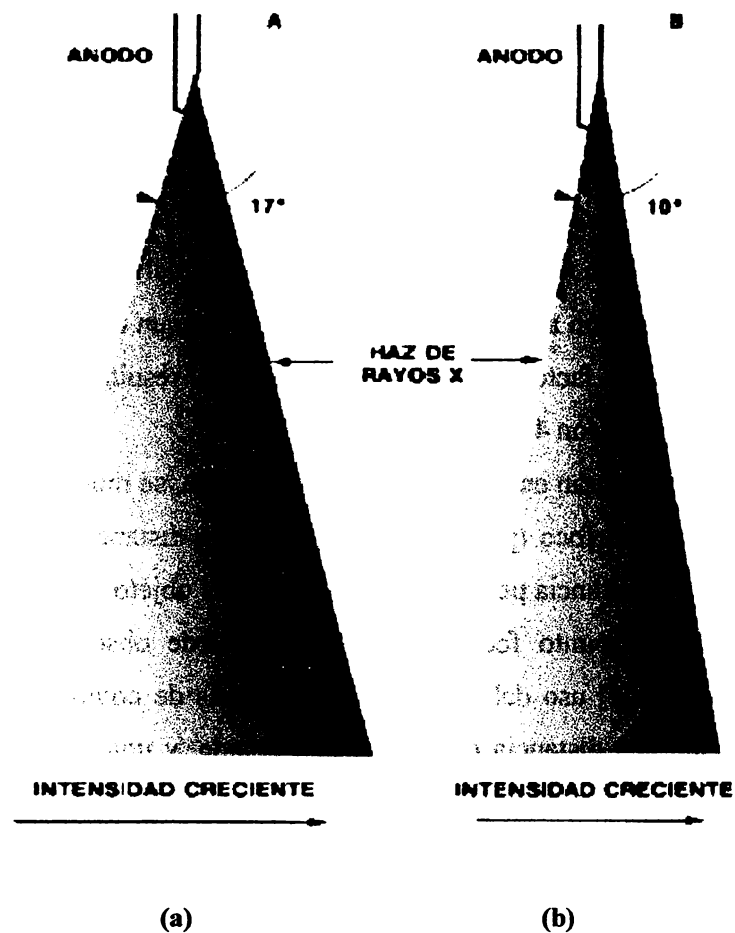


Figura 8: Figura que muestra el efecto de talón. El aumento de intensidad se da desde el ánodo hacia el cátodo.

Otro factor que debe tomarse en cuenta que afecta la calidad de la imagen es el efecto de talón. Este consiste en que existe una variación de intensidad producida por el ángulo en que los rayos X

son emitidos desde el foco. Los rayos X que se dirigen hacia la superficie del blanco en ángulos casi paralelos a éste, tienden a describir trayectorias más prolongadas y de mayor absorción sobre el material del blanco; por esta razón, tienen más probabilidades de ser obstaculizados por las irregularidades de la superficie que los rayos X que emergen en ángulos mayores con relación al blanco. En la figura 8 se ilustra cómo la intensidad del haz disminuye rápidamente a partir del rayo central (100%), hacia el extremo del ánodo en el tubo de rayos X (hasta aproximadamente 75%), y aumenta ligeramente hacia el extremo del cátodo (120% aproximadamente). Como ya señalamos, el efecto de talón aumenta en la medida en que disminuye el ángulo del ánodo (figura 8 b).

Como la intensidad del haz es más uniforme cerca del rayo central, el efecto de talón es menos notorio cuando se utiliza sólo la porción central del haz. Este sería el caso cuando la distancia entre el punto focal y el receptor de imagen es grande, o cuando se utilizan dispositivos limitadores del haz de rayos X.

1.3.5.5. GEOMETRÍA DE FORMACIÓN DE LA IMAGEN

Ya que la imagen producida por los rayos X, es en realidad “la sombra” de un objeto, a menor tamaño de la fuente de radiación (punto focal), menor distancia del objeto a la película, y mayor distancia de la fuente de radiación al objeto, se obtendrá una imagen con mayor definición. Y por el contrario, con todos estos factores invertidos, la imagen resultante es más borrosa (ver definición de borrosidad en sección 4.2) y más ampliada.

Los principales efectos se muestran en la figura 9. En la figura 9a, se muestra la falta de definición (borrosidad) producida por un foco (punto focal) grande, una distancia entre objeto y película mayor a la requerida, y una distancia pequeña entre el foco y el objeto. En la figura 9b se muestra el mismo esquema, con un punto focal más pequeño. Puede observarse como aumenta la definición de la imagen con el uso del foco pequeño, además de como influye en obtener una imagen ampliada, usando una distancia objeto película grande, y una distancia objeto fuente de radiación pequeña. En la figura 9c, además de un foco pequeño, se establece una distancia más pequeña entre la película y el objeto, y una distancia mayor entre el objeto y la fuente de radiación. Además de este efecto producido por los factores de distancia foco película, objeto película y tamaño del foco, también puede obtenerse una imagen movida de lugar, debido a la no alineación del foco, el objeto y la película. Este hecho puede visualizarse en la figura 9d. Ya que el objeto y la película se encuentran paralelos, el objeto no pierde en la película su forma original.

Otro efecto, el cual produce deformación de la imagen, es el llamado distorsión, en el cual, la película y el objeto no se encuentran en forma paralela. En este caso, no se conserva la forma del objeto. Ver figura 9e.

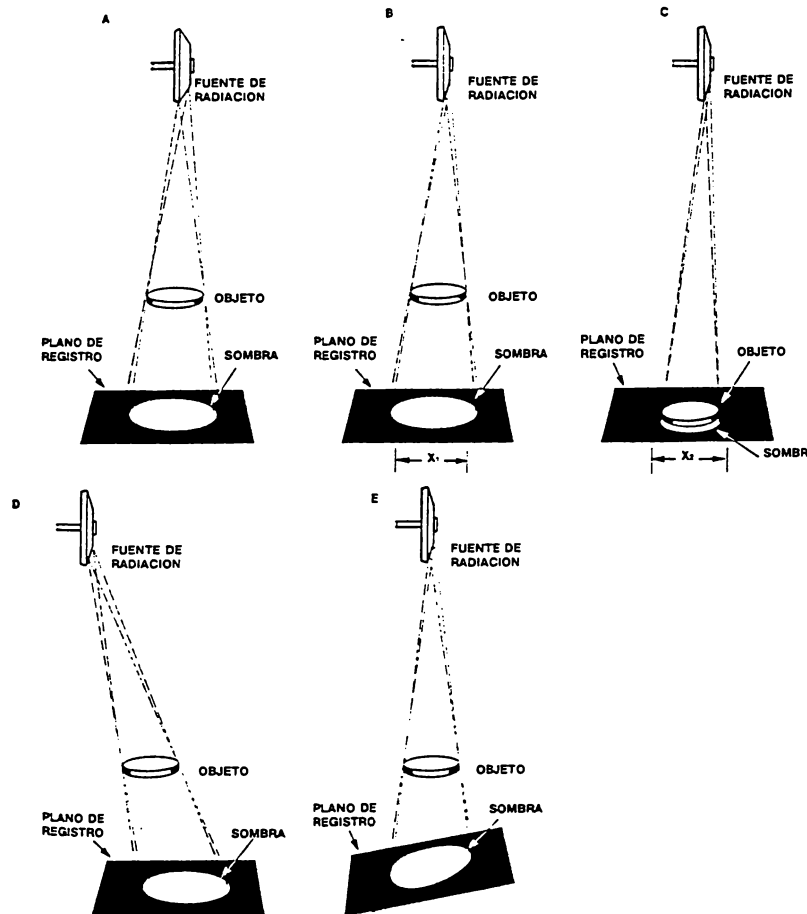


Figura 9: Geometría de la formación de la imagen. (a) Borrosidad de la imagen radiográfica, producida por un foco grande, una distancia relativamente grande entre objeto y película, y una distancia relativamente corta entre la fuente de radiación y el objeto. (b) Reducción de la borrosidad mediante un foco pequeño. (c) Mejor resultado con una fuente de radiación pequeña, una distancia mínima entre objeto y plano de registro, y una distancia grande entre fuente de radiación y objeto. Note que el tamaño es más preciso (X2) cuando el objeto se encuentra cerca del plano de registro que cuando no (X1). (d) Aunque la fuente de radiación no está sobre el centro del objeto circular, produce una sombra circular si el objeto y el plano de registro son paralelos. (e) Cuando el objeto y el plano del receptor de imagen no son paralelos, se produce una distorsión.

1.4. RADIACIÓN DISPERSA

Al conjunto de rayos X que salen del paciente y llegan a la película son conocidos como *rayos X remanentes*, y son de dos tipos: los que no interactuaron con la materia del objeto a irradiar, todos aquellos que experimentaron uno de los tres efectos descritos en la sección 1.3. De estos, el más importante en radiodiagnóstico es el Compton, que produce la radiación dispersa, la cual no contribuye a la calidad de la imagen, sino por el contrario la degrada.

1.4.1. FUENTES DE RADIACIÓN DISPERSA

Existen tres fuentes de radiación dispersa: a) el sujeto u objeto irradiado, b) otras partes que se encuentran bajo el haz de rayos, c) El tubo de rayos X.

a) EL SUJETO O LA PARTE IRRADIADA

La interacción de los rayos x con la parte irradiada, es la principal fuente de radiación dispersa.. Debido a la forma de algunas partes del cuerpo, una parte del haz de rayos X puede extenderse más allá del contorno de la parte que se examina. La intensidad de esta porción del haz es alta en relación con las áreas adyacentes, en las cuales ha sido absorbido parcialmente. De esta forma es posible que se genere radiación dispersa en la superficie de la mesa y en otras partes que sean irradiadas por el haz no atenuado. Este tipo de radiación dispersa reduce el contraste del paciente en la periferia de la parte expuesta. A esta radiación se le llama *socavación*.

b) OTRAS PARTES QUE SE ENCUENTRAN BAJO EL HAZ DE RAYOS X

Cuando el haz de rayos X llega al receptor de imagen, y luego lo atraviesa, sufre interacciones con el material que se encuentre atrás (por ejemplo la mesa radiográfica) de modo que puede producir *radiación retrógrada* que retorne hacia la imagen.

c) EL TUBO DE RAYOS X

Algunos de los electrones lanzados en el tubo de rayos X, no chocan contra el blanco, produciendo rayos X en direcciones diferentes a la del haz primario. Debido a su dirección diferente, estos rayos pueden rebasar los límites del haz primario restringido por los dispositivos limitadores del haz, con lo cual aumentan la intensidad total de la imagen radiográfica aérea. A este tipo de radiación se le llama radiación extrafocal.

1.4.2. EFECTO EN EL CONTRASTE DE LA IMAGEN

Debido a estas interacciones, el objeto se convierte en una fuente de radiación fotográficamente eficaz, pero inconveniente porque no contribuye a la formación de la imagen útil, pues produce una exposición general que se sobrepone a la imagen aérea producida por la radiación útil.

Al aumentar el número de rayos X dispersos, se disminuye la claridad de la imagen. La radiografía pierde contraste y aumenta el velo. Las estructuras visualizadas tienen un aspecto borroso.

1.4.3. FACTORES QUE AFECTAN LA RADIACIÓN DISPERSA

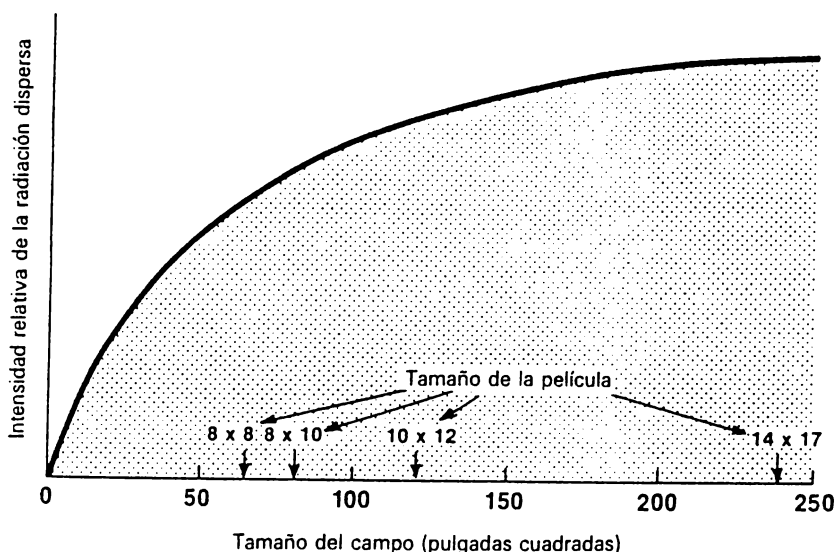


Figura 10: Esta gráfica representa la operación a 70 kVp en un paciente con 20 cm de espesor. La intensidad relativa de la radiación dispersa aumenta al aumentar el tamaño del campo.

a) KILOVOLTAJE.

A medida que aumenta la energía de los rayos X (la cual aumenta con el kilovoltaje), aumenta también el número relativo de rayos X que tienen interacción Compton; y el número de interacciones fotoeléctricas disminuye. La cantidad de interacciones fotoeléctricas es importante debido a que entre mayor es esta cantidad, mayor es la dosis recibida por el paciente.

Por tanto a medida que se disminuye el kilovoltaje se reduce la radiación dispersa, pero se aumenta la dosis que se aplica al paciente.

b) TAMAÑO DEL CAMPO.

Otro factor con efecto sobre el nivel de radiación dispersa es el tamaño del campo. Por lo general, *conforme aumenta el tamaño del campo para una determinada radiografía, también aumenta el nivel de radiación dispersa*. Los cambios de tamaño son más importantes cuando el campo de rayos X es pequeño, que cuando es grande. (Ver figura 10)

c) GROSOR DEL PACIENTE.

La radiación dispersa aumenta, a medida aumenta el grosor de las partes a radiografiar. Por ejemplo, una radiografía de una extremidad, será mejor que una de pelvis o tórax, usando los mismos factores de exposición. Al aumentar el grosor del paciente, un número mayor de rayos X experimentan dispersión, la intensidad relativa de radiación dispersa aumenta (Ver figura 11).

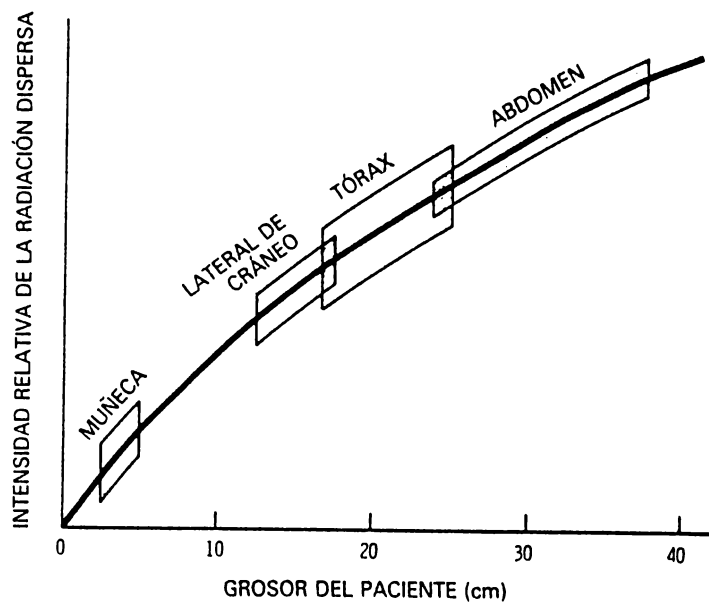


Figura 11: La intensidad relativa de la radiación dispersa aumenta con el grosor de la parte irradiada.

1.4.4. REDUCCIÓN DE LA RADIACIÓN DISPERSA

Además de poder regular los factores que afectan a la radiación dispersa expuestos anteriormente, existen otros métodos para disminuir la radiación dispersa, los restrictores de haz, y las rejillas.

1.4.4.1. RESTRICTORES DE HAZ.

Es necesario limitar el haz de forma que cubra solamente la región de interés diagnóstico. Existen principalmente tres dispositivos que permiten hacerlo: Los diafragmas de apertura o de ranura, los conos y cilindros, y los dispositivos limitadores de apertura variable.

a) DIAFRAGMA DE APERTURA: Este es el más simple de los dispositivos restrictores del haz. Está constituido por una lámina de plomo con una abertura, ya sea circular, rectangular o cuadrada. Estos son diseñados para un tamaño de película particular. Generalmente se usan en conjunto con conos o cilindros (Ver figura 12a).

b) CONOS Y CILINDROS: Estos son fabricados de metal u otro material, y recubiertos con plomo. Generalmente pueden ser de diversos tipos y tamaños; dependiendo de esto, proporcionan campos circulares o rectangulares (Ver figura 12b).

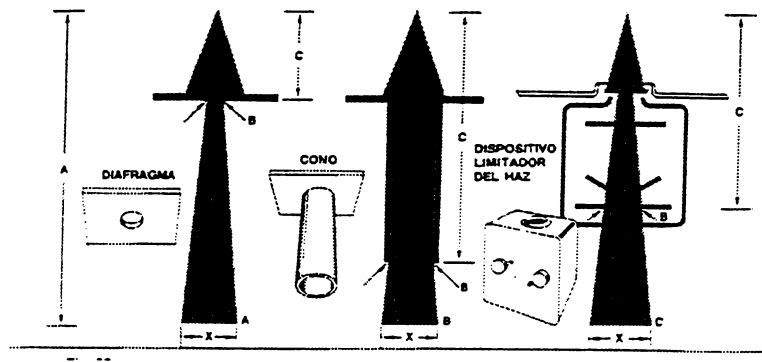


Figura 12: Dispositivos limitadores del haz. (a) Diafragma colocado cerca de la fuente de radiación. (b) Cono acoplado a un diafragma. (c) Dispositivo limitador del haz, de abertura variable con varios obturadores. El diafragma más cercano a la ventana del tubo está colocado en ese sitio para reducir la radiación extrafocal.

c) DISPOSITIVOS LIMITADORES DE ABERTURA VARIABLE: En la actualidad son los más comúnmente utilizados en radiodiagnóstico. Contienen en su interior placas de plomo que pueden ajustarse para modificar el tamaño del haz. Pueden ser automáticos, de modo que modifican el tamaño del haz dependiendo de el tamaño del receptor de imagen. Estos además cuentan con una fuente de luz y un espejo, que permiten visualizar el tamaño del haz de rayos X proyectado a través del haz de luz. (Ver figura 13).

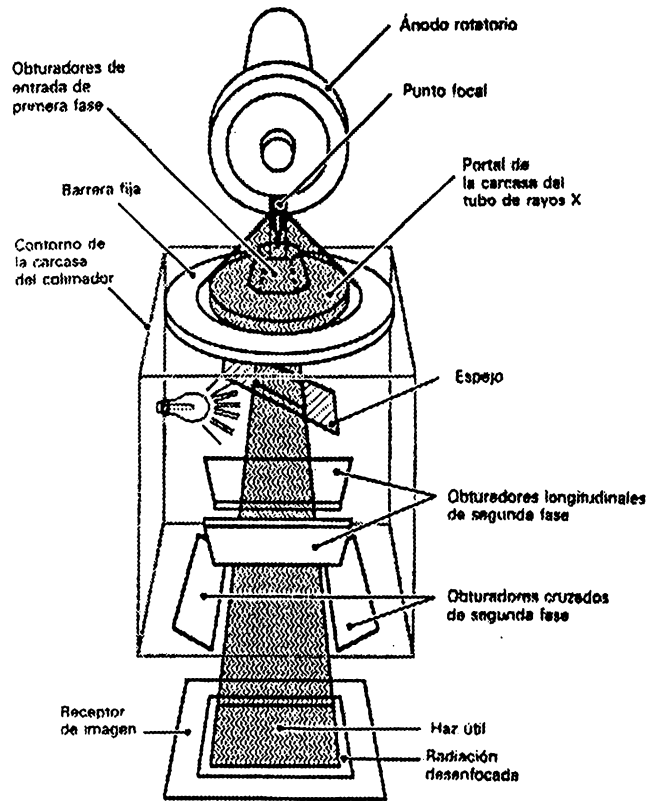


Figura 13: Diagrama detallado de un limitador de haz de apertura variable, comúnmente utilizado en los equipos de rayos X.

1.4.4.2. LA REJILLA

Es un dispositivo compuesto por laminillas de material radioopaco, entre las cuales se inserta material radiotransparente. Está diseñada para transmitir sólo los rayos propagados en línea recta desde la fuente al receptor de imagen.

De esta forma, los rayos X que salen del paciente y chocan con el material radioopaco de la rejilla, son absorbidos y no alcanzan la película (Ver figura 14). Según pruebas de laboratorio, una rejilla bien diseñada, puede atenuar entre un 80 y un 90% de la radiación dispersa. [2]

a) CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA REJILLA.

Existen tres datos importantes en una rejilla: El espesor del material de la rejilla, el espesor del material intermedio y la altura de la rejilla. Realizando una operación matemática, es posible conocer una de las características más importantes de una rejilla, su *relación*. Esta es igual al cociente de la altura entre el espesor del material intermedio. Entre mayor es la *relación de la*

rejilla, mayor es su capacidad para eliminar la radiación dispersa, y por tanto para obtener una mejor imagen. La desventaja es que a mayor índice de rejilla, mayor exposición para el paciente. Otros índices que caracterizan a la rejilla son, el *índice de rejilla*, el cual es la relación entre el espesor del material de la rejilla y el espesor de el material radiotransparente, y la *frecuencia de la rejilla*, que es el número de rejillas por pulgada o centímetro. En todos los casos, entre mejor es la atenuación de la radiación dispersa, mayor es la radiación recibida por el paciente.

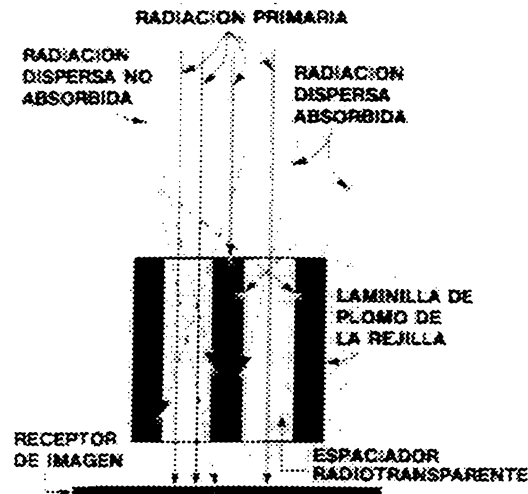


Figura 14: Sección transversal de una rejilla. Una parte de la radiación dispersa es absorbida, mientras que la radiación primaria llega al receptor de imagen.

b) MEDIDA DEL RENDIMIENTO DE LA REJILLA.

Existen tres factores que evalúan el rendimiento de la rejilla: *Factor de mejora de contraste*, *Factor Bucky* y *la Selectividad*.

El *factor de mejora de contraste* se define como el contraste de la radiografía tomada con rejilla, dividido entre el contraste de la radiografía tomada sin rejilla. Generalmente, el factor de mejora de contraste es mayor en rejillas de alta frecuencia. Este factor de mejora es también influido por otros aspectos como lo es la cantidad de plomo.

Al utilizar rejilla, la densidad radiográfica disminuye, para lo cual es necesario elevar los factores de exposición. *El factor Bucky* indica el incremento necesario en los factores de exposición para obtener la misma densidad radiográfica cuando se utiliza rejilla, que cuando no se utiliza. Se define como el cociente entre la radiación remanente incidente y la radiación remanente transmitida. El factor Bucky se relaciona en forma directamente proporcional con la relación de la

rejilla; es decir que a mayor relación de rejilla, mayor factor Bucky y por lo tanto, mayor dosis para el paciente. El factor Bucky también es influenciado por el Kilovoltaje utilizado.

La selectividad es una medida de la cantidad de radiación primaria transmitida y de la secundaria atenuada. Esta dada por el cociente: Radiación primaria transmitida a través de la rejilla, entre la radiación dispersa transmitida a través de la rejilla.

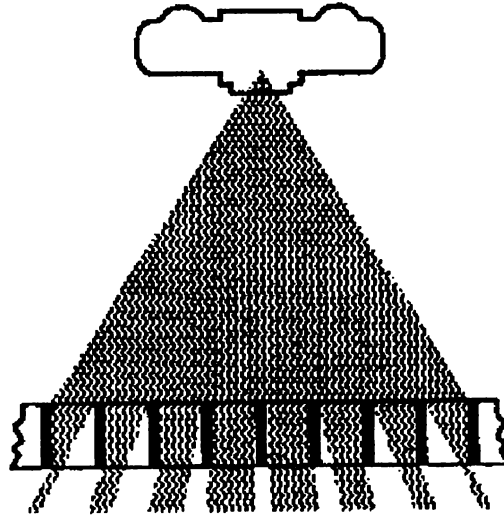


Figura 15: Una rejilla del tipo no enfocada, dificulta el paso de la radiación primaria hacia el receptor de imagen.

C) TIPOS DE REJILLAS:

- **Rejilla Lineal.** Es el tipo de rejilla más sencillo, consiste en tiras de material radioopaco (generalmente plomo) colocadas en forma paralela. Su principal desventaja es que tiende a cortar los rayos X primarios, de modo que no llegan al dispositivo de imagen. A este fenómeno se le llama corte de rejilla (ver figura 15).
- **Rejilla Cruzada.** Esta consiste en dos rejillas lineales superpuestas, de modo que la dirección de las tiras de una sea perpendicular a la de la otra. Esta permite eliminar la radiación dispersa no solo en una dirección como lo hace la rejilla lineal.
- **Rejilla Enfocada.** En esta, las tiras de plomo están inclinadas de forma que quedan sobre los radios de un círculo imaginario. Cuando esta es utilizada, el centro de ese círculo debe coincidir con el punto focal del tubo de rayos X.
- **Rejillas Móviles.** Estas tratan de eliminar el inconveniente de las rejillas que se encuentran fijas (producir líneas en las radiografías), moviéndose durante la exposición. Estas rejillas móviles generalmente son enfocadas. A este mecanismo de movimiento se le llama comúnmente “diafragma Potter Bucky” o “diafragma Bucky”.

1.5 REGISTRO DE LA IMAGEN

Una vez se ha formado *la imagen espacial o aérea*, es necesario convertirla en una imagen visible. Para esto es necesario utilizar receptores de imagen.

Existen diversos receptores de imagen, estos pueden ser: *películas* en las cuales el haz incide directamente, combinaciones *pantalla-película*, materiales metálicos que interactúan con los rayos X para producir electrones que interactúen con las películas o las pantallas, placas de selenio con carga (xeroradiografía), hojas de Selenio con carga (radiografía electrónica o ionografía), o cámaras de ionización o semiconductores (tomografía computarizada). Si la imagen espacial se registra en una película radiográfica, se le llama *imagen latente*.

1.5.1. LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA

1.5.1.1 ESTRUCTURA

La película radiográfica consta de dos partes: La base y la emulsión (Ver figura 16). Actualmente las películas tienen doble emulsión. Entre la emulsión y la base se encuentra una capa adhesiva para asegurar que la emulsión se adhiera a la base. La emulsión se encuentra protegida por una capa protectora de gelatina denominada superrecubrimiento, que la protege de acciones mecánicas y físicas.

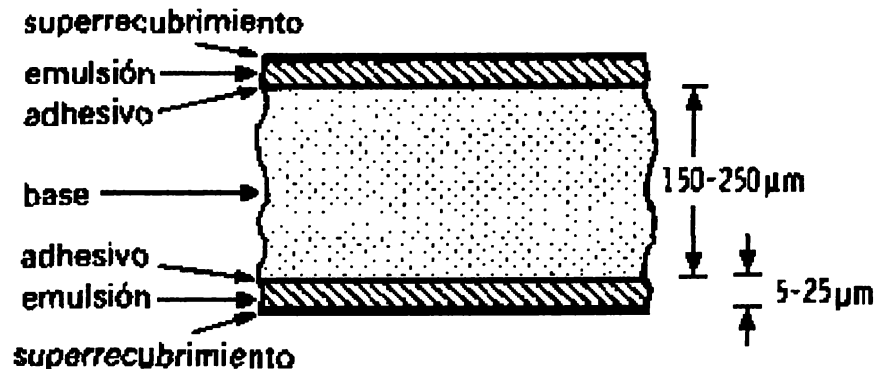


Figura 16: Vista de perfil de un corte de una película radiográfica.

a) LA BASE

Su función es la de proporcionar una estructura rígida sobre la que se pueda depositar la capa de emulsión. Posee un colorante azul que ayuda al radiólogo a forzar menos la vista.

b) LA EMULSIÓN

Material con el que interactúan los rayos X. Está compuesta por una mezcla homogénea de gelatina y cristales de halogenuro de plata. Estos cristales se encuentran suspendidos en la gelatina.

1.5.1.2 TIPOS DE PELÍCULA

Todas las películas están hechas para reaccionar tanto a los rayos X como a los fotones de luz, aunque haya sido hecha explícitamente para funcionar en uno de los dos modos. Según la forma de la exposición, las películas se clasifican en: *película de pantalla* y *película de exposición directa*.

a) PELÍCULAS DE PANTALLA

Estas películas son hechas especialmente para ser utilizadas con pantallas intensificadoras (Ver sección 1.3.4), dependiendo del tipo de pantalla, son sensibles a la luz azul y ultravioleta, o a la verde.

En general existen tres características importantes en una película: contraste, rapidez y características de absorción de la luz.

Una imagen de alto *contraste* produce imágenes en blanco y negro, una de bajo contraste comprende una escala de grises. Lo que las diferencia es el tamaño de los halogenuros de plata, así como su distribución. Una de alto contraste posee halogenuros de plata pequeños y de tamaño uniforme. Las de bajo contraste son de grano mayor y tamaños variados.

La *velocidad* de la película, depende de su sensibilidad, a mayor sensibilidad, mayor rapidez. En general, las emulsiones de grano grueso son más sensibles que las de grano fino.

La respuesta espectral es la otra característica importante. Esta debe ser igual a la emitida por la pantalla. Las más comunes son las películas sensibles al azul y las sensibles al verde.

b) PELÍCULAS SIN PANTALLA

También llamadas películas para exposición directa, se utilizan para interactuar directamente con los rayos X. Estas, en comparación con las películas con pantalla son de menor uso en medicina, debido a que se necesita una exposición de 50 a 100 veces mayor que con pantalla.

Estas se usan sobre todo en exámenes en los cuales se necesita mayor nitidez, y que son de poco riesgo (en cuanto a la radiación que recibe el paciente), como las de extremidades.

Este tipo de películas tienen una emulsión mucho más gruesa, y con una concentración de halogenuros de plata mayor que la con pantalla. Generalmente este tipo de películas debe revelarse mediante proceso manual, ya que es muy gruesa para utilizar procesadora automática.

1.5.1.3 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA

Cada capa de emulsión de la película contiene una infinidad de haluros de plata sensibles. La película radiográfica es sensible a muchos elementos: luz, rayos X, rayos Gamma, algunos gases, vapores, el calor, la humedad y la presión, incluso el paso del tiempo. Estos factores producen artefactos que causan imágenes de baja calidad. Por esto deben considerarse aspectos de almacenamiento y manejo de esta (ver también sección 2.1.4 y anexo 14).

a) ALMACENAMIENTO

a.1) Calor y humedad. La temperatura y humedad elevadas afectan la película. El calor reduce el contraste y aumenta el velo de la radiografía. *La película nunca debe almacenarse a temperaturas superiores a 20 °C.* Si la temperatura de almacenamiento es mayor, los daños se incrementarán en forma proporcional al aumento de la temperatura. Por otro lado, una humedad de almacenamiento mayor al 60%, también reduce el contraste y aumenta el oscurecimiento. Una humedad menor al 40 % tampoco es favorable a la preservación de la película, ya que favorece a la electricidad estática. Estos datos dependen para cada marca de película de las características dadas por el fabricante; los datos presentados han sido tomados de la referencia [2].

a.2) Luz. La película radiográfica debe ser manipulada y almacenada en la oscuridad, ya que cualquier exposición a la luz de la emulsión produce velo total, un artefacto obvio (exposición a luz brillante), o aumento del velo (exposición a luz difusa). Este problema generalmente se soluciona con el uso de un armario a prueba de luz para guardar la película no expuesta pero abierta, un cuarto oscuro sellado y con una luz de seguridad de nivel apropiado. Se debe tomar en cuenta, *si se trabaja con películas sensibles al azul o ultravioleta, la luz de seguridad debe contar con un filtro ámbar; si la película es sensible al verde, debe utilizarse un filtro rojo* [2]. Esta relación se muestra en la figura 17. El cuarto oscuro no necesariamente debe estar pintado con colores oscuros, incluso se recomienda utilizar colores claros [1]. Lo importante es la luz de

seguridad. Además debe incluirse un sistema de control que no permita la apertura de la puerta del armario mientras la luz normal se encuentra encendida en el cuarto oscuro, o su puerta esté abierta.

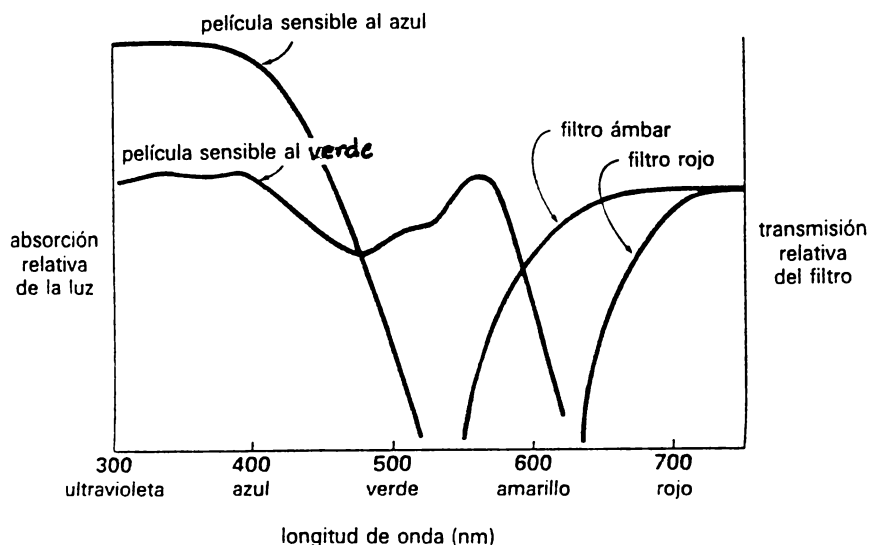


Figura 17: Gráfica de longitudes de onda de las películas y los filtros. Las películas radiográficas son sensibles al azul o sensibles al verde, y requieren luces de seguridad con filtros ámbar o rojo respectivamente.

a.3) Radiación. Cualquier radiación ionizante que no sea para formar la imagen, contribuye a disminuir la calidad de imagen, reduciendo el contraste y aumentando el nivel de velo. Cualquier material radiactivo utilizado en medicina nuclear no debe guardarse junto con las películas, ya que aunque sus recipientes aseguran la seguridad de las personas, permiten la radiación de baja intensidad, suficiente para velar la película. Los cuartos oscuros suelen estar en lugares adyacentes al cuarto de rayos X, y por esto forrados de plomo, aunque esto no siempre es necesario. Algunas veces solo basta con forrar las alacenas y el armario donde se guarda la película.

La película radiográfica es más afectada por la radiación que las personas. *El nivel de radiación que puede velar una película sin revelar es de 0.2 mR (52pC/Kg) [2].* Por esto la protección de plomo debe calcularse para que los niveles de radiación que puedan alcanzar a la película virgen sean menor o iguales al valor indicado. Para esto se debe tener en cuenta el tiempo esperado de almacenamiento de la película.

a.4) Tiempo de almacenamiento. Para esto es muy importante tomar en cuenta la *fecha de caducidad de la película*, la cual está indicada en el paquete o caja. Es recomendable almacenar las películas en forma vertical, ya que la superposición de muchas de estas puede producir daño en ellas. La forma de almacenamiento debe facilitar el reciclaje, de modo que pueda utilizarse

siempre primero la más antigua. *Cuarenta y cinco días es un tiempo razonable para el almacenamiento de la película radiográfica* [2].

b) MANEJO

En el manejo de la película debe tomarse principalmente en consideración, no realizar ningún movimiento con la película que produzca fricción, ya sea al sacarla del almacenaje, al cargar el recipiente de exposición, o al descargarla para ser revelada. El movimiento de fricción podría producir ya sea electricidad estática, la cual atrae el polvo y contribuye a la formación de artefactos, o a producir raspaduras y deterioro general de la película.

Existen tres tipos de recipientes que contienen la película durante su exposición: los chasis o cassettes, los portapelículas y los sobres a prueba de luz. El chasis contiene generalmente dos pantallas intensificadoras en su interior, entre las cuales se inserta la película (Ver sección 1.5.2), el portapelículas es una bolsa de plástico o cartón o carpeta que contiene un sobre a prueba de luz, dentro de la cual se introduce la película. También existen sobres a prueba de luz llamados “*ready packs*”, que contienen una hoja de película envuelta en una cubierta de papel interfoliada.

1.5.2. LA PANTALLA INTENSIFICADORA

Es un dispositivo que convierte el haz de rayos X en luz visible, la cual forma la *imagen latente* sobre la película. Fueron diseñadas para hacer más eficiente el proceso radiográfico.

1.5.2.1 ESTRUCTURA

Están formadas de la siguiente manera (Ver figura 18):

a) CAPA PROTECTORA

Sirve para proteger la pantalla frente a la abrasión y al trato inadecuado. Proporciona una superficie apta para ser limpiada. Es completamente transparente.

b) FÓSFORO

O elemento fosforescente, es la capa activa de la pantalla intensificadora, la cual emite luz al ser estimulada por los rayos X. Anteriormente el material utilizado era el tungstenato de Calcio, actualmente el más utilizado son las tierras raras.

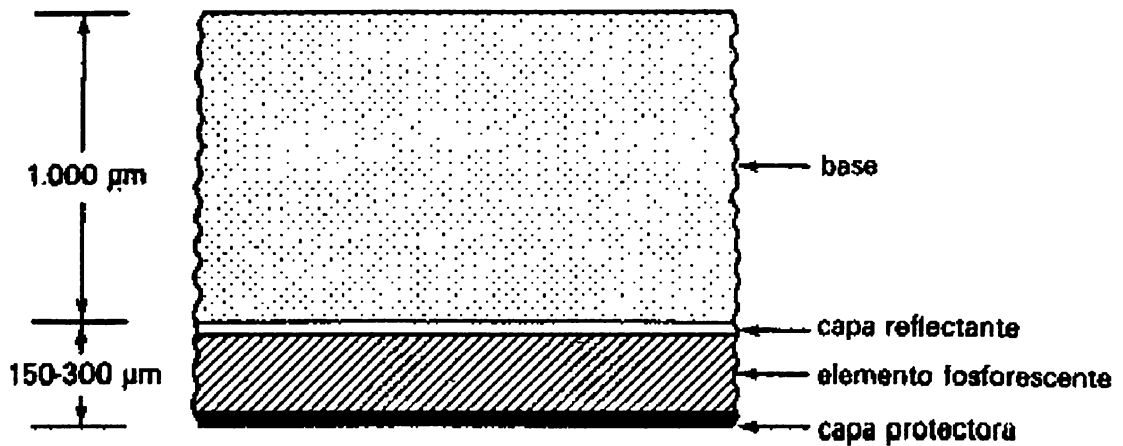


Figura 18: Corte transversal de una pantalla intensificadora amplificada, mostrando su estructura.

c) CAPA REFLECTANTE

Se encuentra entre el elemento fosforescente y la base. Dependiendo de la conveniencia del fabricante, ésta puede ser absorbente o reflectante. El uso de la reflectante es el siguiente: cuando los rayos X interactúan con el elemento fosforescente, se emite luz con la misma intensidad en todas las direcciones, en dirección a la película radiográfica se emite menos de la mitad de la luz. La capa reflectante aumenta la eficiencia de la pantalla, ya que duplica el número de fotones que alcanzan la película (Esto se puede ver en la figura 19). Si según el fabricante la radiación que llega a la pantalla sin ser reflejada es suficiente, y al reflejarla produce ruido, coloca una capa absorbente.

d) LA BASE

Sirve como soporte mecánico para el elemento fosforescente. Está construida a partir de cartón de alta calidad o poliéster.

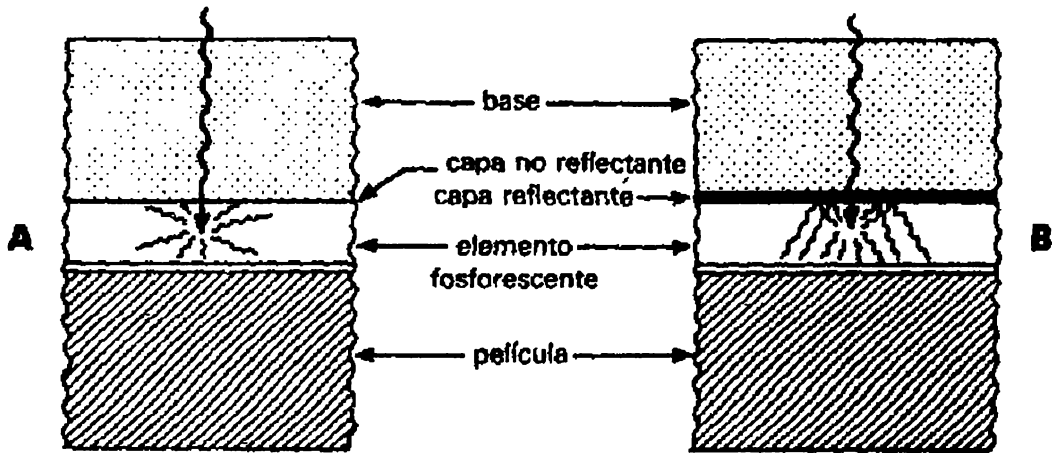


Figura 19: Incidencia de un fotón en un conjunto pantalla película. (a) Pantalla sin capa reflectante; (b) Pantalla con capa reflectante. Las pantallas sin capa reflectante no son tan eficaces como las que tienen capa reflectante ya que alcanzan la película menos fotones de luz.

1.5.2.2 CLASES DE PANTALLAS

Las pantallas pueden clasificarse en base a su rapidez. Su clasificación no es tan definida, ya que depende también de los factores de exposición utilizados. Una pantalla rápida, es aquella que requiere de una exposición corta para producir un efecto fotográfico deseado. En general se clasifican en pantallas de velocidad lenta, o también llamadas de detalle o de alto poder de resolución, medias o universales, y rápidas o de alta sensibilidad.

1.5.2.3 COMBINACIÓN PANTALLA PELÍCULA

El resultado del uso pantalla película depende en gran parte de la combinación adecuada de estas. Las películas radiográficas y las pantallas se fabrican de manera que sean compatibles. La combinación pantalla-película utilizada para registrar la imagen debe colocarse en un dispositivo que permita su transporte y manejo, de modo que no permita la entrada de luz (Ver figura 20). A estos dispositivos se les llaman chasis o cassettes.

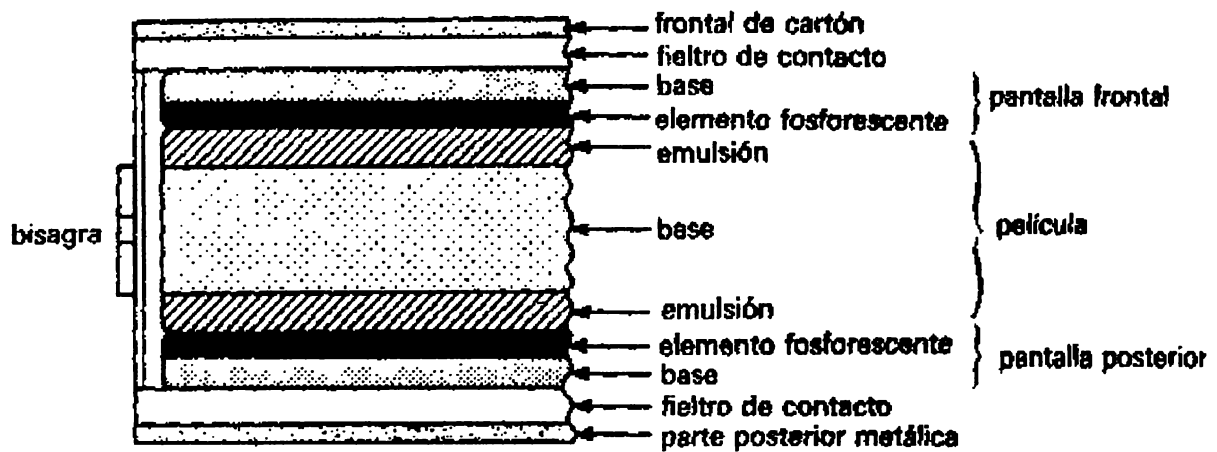


Figura 20: Corte transversal de un chasis con pantalla intensificadora y una película en su interior.

a) CHASIS O CASSETTE

El chasis es el recipiente sólido que contiene a la película y la pantalla. Está compuesta generalmente por dos pantallas intensificadoras, entre las cuales se inserta y extrae manualmente la película.

Entre cada pantalla y la película debe haber algún tipo de material que haga compresión, ya sea goma o fieltro. De modo que se mantiene a la película y la pantalla en estrecho contacto mientras el cassette está cerrado. La tapa posterior suele ser de metal pesado (generalmente plomo), para reducir el escape de radiación y evitar fenómenos de radiación dispersa (ver sección 1.4).

b) COMPARACIÓN ENTRE EXPOSICIÓN DIRECTA Y EXPOSICIÓN CON PANTALLA

El uso de pantalla y película tiene ventajas y desventajas, estas se presentan en la tabla 2.

FACTOR EVALUADO	PELÍCULA SIN PANTALLA	PELÍCULA CON PANTALLA
Aprovechamiento de los rayos X	Menor (1% aprox)	Mayor (30% aprox)
Tiempo de exposición	Mayor	Menor
Dosis recibida por el paciente	Mayor	Menor
Borrosidad de la imagen	Menor	Mayor

Tabla 2: Ventajas y desventajas del uso de película con pantalla y sin pantalla.

c) COMBINACIÓN ESPECTRAL PELÍCULA-PANTALLA

La calidad de imagen obtenida por la combinación de la pantalla con la película, depende de la correcta combinación de una pantalla que emita luz a una frecuencia que corresponda a la de la respuesta de la película. A esto se le llama correspondencia en el espectro. Cuando la correspondencia en el espectro no es la adecuada, disminuye la rapidez del receptor de imagen, y por tanto es necesario someter al paciente a una mayor dosis de radiación.

Una pantalla de tungstenato de Calcio emite luz en la región del azul al violeta. Es por eso que se recomienda utilizar con películas convencionales (sensibles al azul y al violeta). Las pantallas de tierras raras³, deben combinarse con películas sensibles al verde.

Las pantallas de tungstenato de Calcio convierten el 5% de la energía absorbida en luz visible. Algunas de las pantallas de tierras raras tienen una eficiencia de conversión del 15-20%. Es por esto que una combinación adecuada pantalla-película de tierra rara permite utilizar menores dosis que las combinaciones de película-pantalla de tungstenato de Calcio.

1.5.2.4 CUIDADOS DE LA PANTALLA

Las pantallas necesitan cuidado, ya que cualquier suciedad o material extraño puede entorpecer el diagnóstico, produciendo una sombra que interferirá en la imagen, o deteriorando el contacto con la película, de modo que la imagen se volverá borrosa. El polvillo y otro material extraño pueden raspar las pantallas.

Debe tenerse cuidado de mantener seca la superficie de las pantallas, y de evitar manchas e impurezas que la estropearán definitivamente. Por eso cuando los chasis no se usan, deben mantenerse cerrados para evitar la acumulación de polvo u otras impurezas. También debe evitar rasparse las pantallas al introducir las películas, es decir que estas deben colocarse primero un extremo y luego el otro, no deslizarlas.

Existen sustancias hechas para limpiar las pantallas, debe recurrirse a las indicaciones del fabricante para evitar utilizar sustancias o productos limpiadores no aptos para algunas pantallas.

1.5.2.5. CONTACTO PANTALLA/PELÍCULA

³ Elementos metálicos que tienen un número atómico que oscila entre 57 y 71, ambos incluidos.

Generalmente, las pantallas sufren deterioro el cual ya no permite que la pantalla tenga un contacto completo con la película. Es común que se formen bolsas de aire entre la pantalla y la película, las que después por la presión de la pantalla van desapareciendo un tiempo después de haber sido cargadas. Este es sólo uno de los casos de contacto deficiente entre la película y la pantalla.

Un contacto deficiente produce un efecto negativo en la imagen radiográfica. Si existe un espacio de aire entre la pantalla y la película, la luz que sale de la pantalla tiene que recorrer más distancia para alcanzar la película (ver figura 21). Como toda radiación electromagnética, la luz tiende a difundirse a través de su recorrido, con lo cual crea borrosidad en la imagen.

El contacto deficiente puede deberse a:

- a) Aire encerrado entre la pantalla y la película.
- b) Materiales extraños sobre la pantalla.
- c) Chasis y seguros deteriorados.
- d) Pantallas montadas en forma incorrecta.

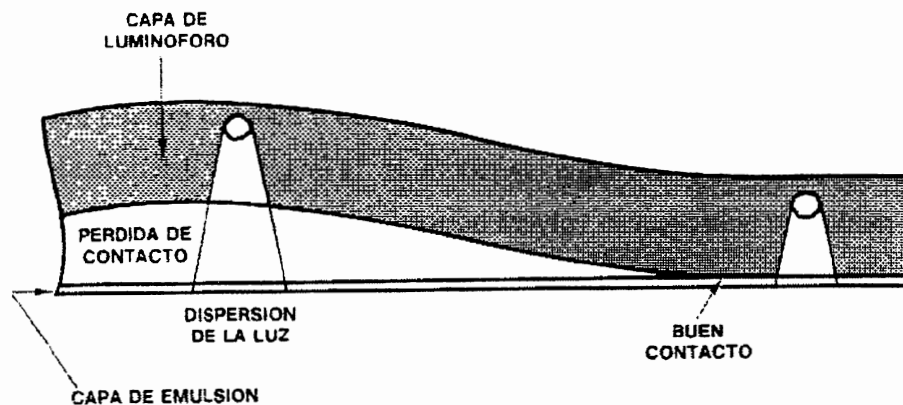


Figura 21: Efecto del mal contacto pantalla película

1.6. REVELADO DE LA IMAGEN LATENTE

La *imagen latente* no es visible al ojo humano, por lo cual se debe realizar un proceso para hacerla visible. Este proceso al utilizar películas radiográficas como receptores de imagen, se le llama *proceso de revelado*.

El proceso de revelado, es tan importante como la exposición, ya que puede afectar de manera definitiva la calidad de la imagen resultante.

1.6.1 ETAPAS DEL PROCESO

Este proceso puede ser manual o automático, pero ambas poseen las mismas etapas:

- a) Humectación. La película radiográfica es tratada con un agente que permite la penetración de los químicos utilizados en el proceso. El agente humectante utilizado es el agua.
- b) Revelado. La imagen latente es convertida en imagen visible. El agente que actúa es llamado *revelador*.
- c) Enjuague. Se eliminan los residuos del revelado, ya que este podría anular en parte el efecto del fijado (literal e).
- d) Baño detenedor. Detiene el proceso de revelado. Generalmente el ingrediente activo es el ácido acético.
- e) Fijado. Los halogenuros de plata de la emulsión no expuestos a la radiación son eliminados. Además se refuerza la estructura de la película. El agente que realiza esta función es llamado fijador.
- f) Lavado. Todos los químicos remanentes son removidos de la película, de modo que la radiografía permanezca inerte a la luz o actividad química. Generalmente el agente que actúa en el lavado es el agua.
- g) Secado. La película es secada para poder ser utilizada en el diagnóstico del paciente.

1.6.2 COMPONENTES DEL REVELADOR

El revelador está formado por los siguientes componentes:

Solventes. El principal solvente es el agua, ya que disuelve e ioniza los compuestos químicos del revelador. En el caso de reveladores concentrados, se requiere un segundo solvente para mantener a los químicos en solución.

Agentes Reveladores. El revelador generalmente presenta como agente principal la Hidroquinona, la Fenidona y el Metol como agentes secundarios. Su función es convertir los gránulos de haluro de plata que han sido expuestos a la radiación, en plata metálica.

Activadores. Proporcionan mayor potencia al revelador, controlando el PH en el proceso. Los más utilizados son el *carbonato de sodio* y el *hidróxido de sodio* (conocido como lejía).

Conservadores. Retrasan la oxidación de la solución alcalina del revelador (cuando esta se oxida, pierde su poder revelador), preservando de esta manera la solución transparente. Esta es necesaria debido a la acción oxidante del aire, el cual se combina con los compuestos químicos cuando estos son manipulados, mezclados y almacenados. El conservador más utilizado es el *Sulfito de sodio*.

Restringentes. Restringen la acción del revelador a los cristales de halogenuros de plata que han sido expuestos. Generalmente se utilizan el *bromuro* y el *yoduro de potasio*, los cuales minimizan la formación de velo.

Endurecedores. Endurecen la película de modo que impiden que se hinche excesivamente la gelatina y evitan que la película se dañe al pasar por los rodillos.

Reforzadores. Utilizados para hacer que el revelador recupere su fuerza original, además mantienen el nivel de líquido en el tanque. Compensan la disminución de la actividad química del revelador después de su uso.

1.6.3 COMPONENTES DEL FIJADOR

Solvente. Disuelve los ingredientes del fijador, se difunde en la emulsión con lo cual lleva el agente fijador a ésta.

Agente fijador. Disuelve y elimina de la emulsión los haluros de plata no revelados. Los más utilizados son el *Sulfito de Sodio* e *hiposulfito de Amonio*.

Conservador. Este evita la descomposición del fijador. Generalmente se usa el sulfito de sodio.

Endurecedor. Impide que la gelatina de la emulsión se hinche excesivamente, o que se ablande en el agua de lavado o durante el secado con aire caliente. Además permite que el proceso de secado sea más corto.

Acidificador. Para acelerar el proceso de fijado, y anular cualquier efecto de remanentes del revelador.

Amortiguador. Mantiene el PH adecuado para el proceso de fijado (ácido), de modo que no varíe por cualquier remanente de revelador.

2. EQUIPOS RADIOGRÁFICOS Y PROCESADORAS AUTOMÁTICAS

En el primer capítulo se expusieron principios generales de la producción de los rayos X y la formación de la imagen. En el presente capítulo, se expondrán de forma general, aspectos relacionados con los equipos utilizados, que son nuestro objeto de estudio, es decir los equipos de rayos X radiográficos estacionarios y las procesadoras automáticas. Estos aspectos están dirigidos siempre a la calidad de imagen obtenida.

2.1 EQUIPOS DE RAYOS X

2.1.1 TIPOS DE EQUIPOS

Los equipos de rayos X utilizados en diagnóstico se pueden clasificar de diferentes formas, las principales son:

2.1.1.1 Por la forma en que se muestra la imagen. Se clasifican en:

- a) Radiográficos: Son aquellos equipos los cuales poseen como salida una película radiográfica.
- b) Fluoroscópicos: Son aquellos que presentan como salida un monitor, en el cual es posible visualizar la imagen al mismo tiempo que se está obteniendo.

2.1.1.2 Por su instalación:

- a) Estacionarios o fijos: Son aquellos que van instalados en la sala de rayos X, ya sea en el cielo (cielíticos) o al piso. Estos pueden ser radiográficos y fluoroscópicos.
- b) Móviles. Son aquellos que poseen rodos para su transporte. Una de sus modalidades son los brazos en C. Estos equipos son utilizados generalmente en el quirófano, sala de emergencia, encamados, etc.
- c) Tomográficos. Aquellos que se basan en el principio de la tomografía, es decir de tomar varios ángulos para obtener imágenes en forma de rebanadas, frecuentemente del plano transversal.

2.1.1.3 Por la parte irradiada:

- a) Dentales. Como su nombre lo dice, son aquellos diseñados para tomar radiografías de la parte maxilofacial.
- b) Torácico. Aquellos utilizados para obtener imágenes del tórax, para el diagnóstico de enfermedades pulmonares, procedimientos de angiografía en las visceras, etc.
- c) Mamográfico. Utilizados para obtener imágenes de las mamas, tanto para el sexo femenino como masculino.
- d) Diagnóstico General. Diseñados para utilizarse en la obtención de imágenes de tórax, sistema óseo, de columna, de cráneo. Son los más utilizados en Salud Pública debido a su amplio campo de acción.

2.1.2 COMPONENTES DE UN EQUIPO DE RAYOS X

Todo equipo de rayos X consta de tres partes principales: Un tubo de rayos X, un panel de control, y un transformador de alta tensión. Ver diagrama de bloques en figura 22.

2.1.2.1 EL TUBO DE RAYOS X.

O también llamado emisor de rayos X, está formado por:

- a) Una ampolleta de vidrio al vacío que contiene uno o dos filamentos y un ánodo, que puede ser fijo o rotatorio.
- b) Una cubierta plomada con receptáculos para la conexión de las secciones de alta tensión y calefacción del filamento, así como conexión para el estator del ánodo, cuando este sea rotatorio. [4]

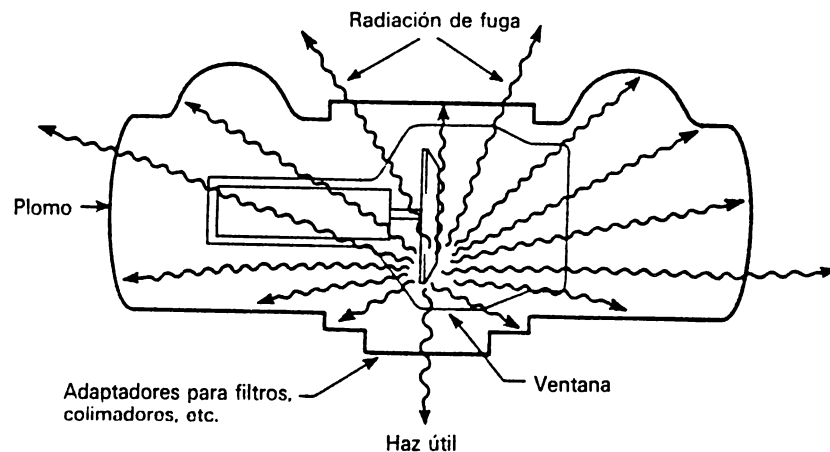


Figura 23: La carcasa protectora reduce la intensidad de la radiación de fuga a menos de 100 mR/h a 1 mt.

La ampollita de vidrio constituye el corazón del tubo de rayos X, y contiene en su interior un ánodo y un cátodo, los cuales permiten acelerar los electrones para la producción de los rayos X. Ya que radían desde su fuente en líneas rectas y en todas direcciones, el tubo de rayos X está encerrado en recipientes de metal que detienen la mayor parte de la radiación, de modo que sólo pueden salir a través de una abertura o ventana, los cuales forman el haz útil o primario de rayos X (Ver figura 23).

El resto del haz de rayos X que sale a través del tubo es llamada *radiación de fuga*, la cual no debe ser mayor a 100 mR/h a 1 metro [2]

Debido a la alta generación de calor (ver sección 1.2.1), entre el tubo y la cubierta se encuentra aceite, el cual actúa como aislante eléctrico y como disipador térmico. Algunas cubiertas contienen un ventilador, para contribuir a la disipación de calor.

El cátodo está formado por un filamento y una copa de enfoque. El filamento se calienta cuando una corriente eléctrica pasa por él, entonces son liberados en la superficie del filamento electrones (emisión termoiónica), los cuales son acelerados por la alta diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo.

Algunos cátodos poseen doble punto focal, es decir dos tamaños de puntos focales. El más pequeño de estos (entre 0.1 y 0.5 mm) se utiliza para obtener imágenes de alta resolución, el grande (entre 1 y 1.5 mm) cuando se utilizan técnicas que producen gran cantidad de calor en el tubo. El tamaño del punto focal está asociado con el tamaño del filamento, es decir que para un punto focal pequeño se utiliza el filamento pequeño, y viceversa para el punto focal grande.

El ánodo recibe los electrones emitidos por el cátodo y los conduce a través del tubo hasta los cables conectores y, de esta forma hasta la sección de alta tensión. Además brinda soporte mecánico al blanco.

“El blanco es el área del ánodo donde chocan los electrones procedentes del cátodo” [2]. En los ánodos fijos, éste generalmente está hecho de un metal de aleación de tungsteno, embebido en el ánodo de cobre (Ver figura 24a). En los ánodos rotatorios, todo el disco es el blanco (figura 24b).

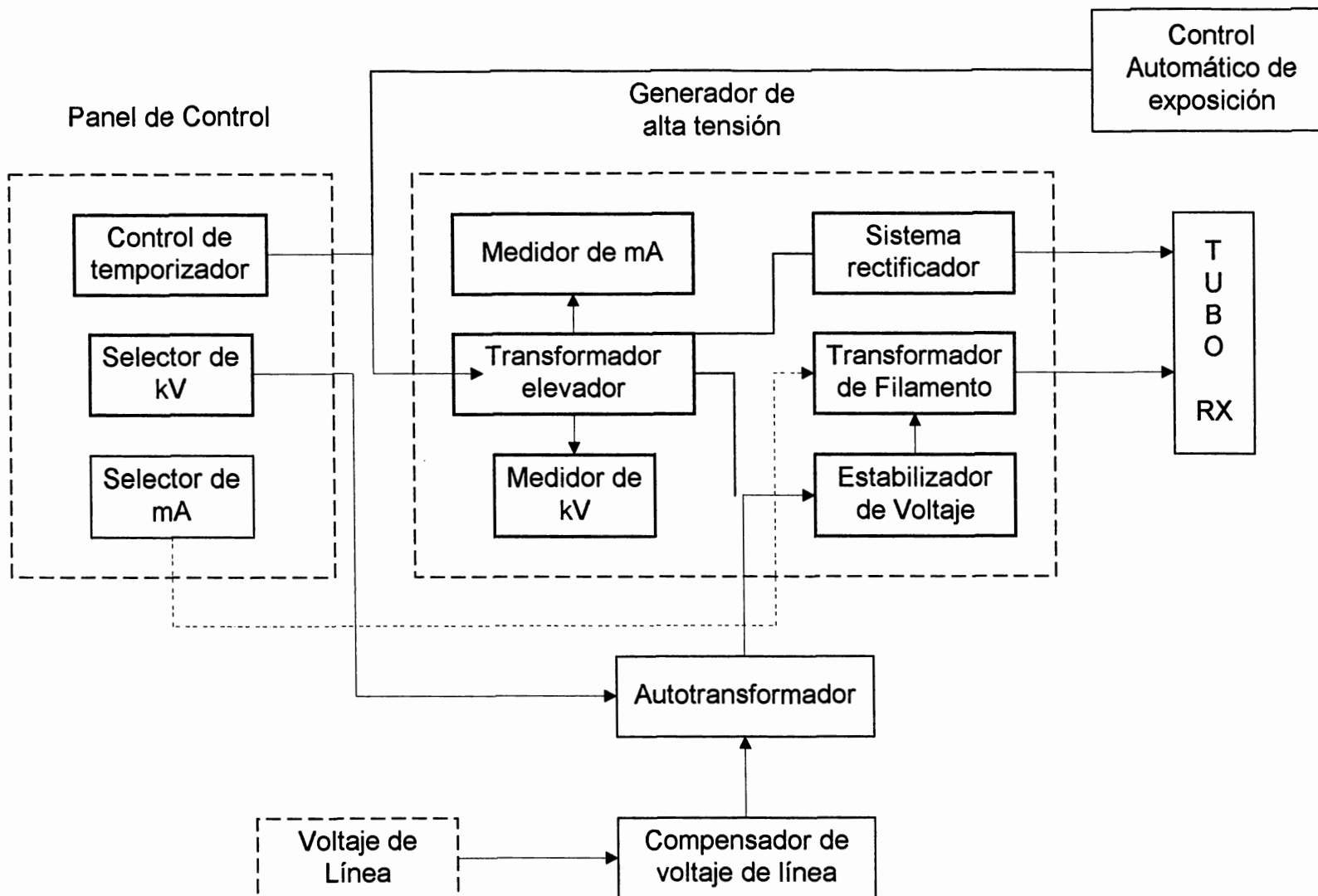


Figura 22: Diagrama de bloques de un equipo típico de rayos X.

2.1.2.2 EL PANEL DE CONTROL

Dispositivo que le permite al operador controlar los factores de exposición, tales como compensación de línea, tensión de pico utilizada, corriente del tubo y tiempo de exposición. Algunos permiten la visualización de la tensión pico y la corriente.

Este consta de las siguientes partes:

- Compensador de línea. Permite aumentar o disminuir el voltaje suministrado al generador de alta tensión por medio de la modificación de las conexiones de entrada de un autotransformador (ver figura 22), el cual alimenta al sistema de alta tensión. Es necesario debido a las altas y bajas que suceden en la línea de alimentación.
- Selector de kilovoltaje, mediante el cual se selecciona a opción del operador, la tensión pico a utilizar. Generalmente esta selección se realiza a través de la modificación de las conexiones de salida de los tap del autotransformador mencionado en el literal anterior.
- Selector de mA: Permite seleccionar la corriente de exposición a utilizar. Esto lo hace a través del control del transformador de filamento.

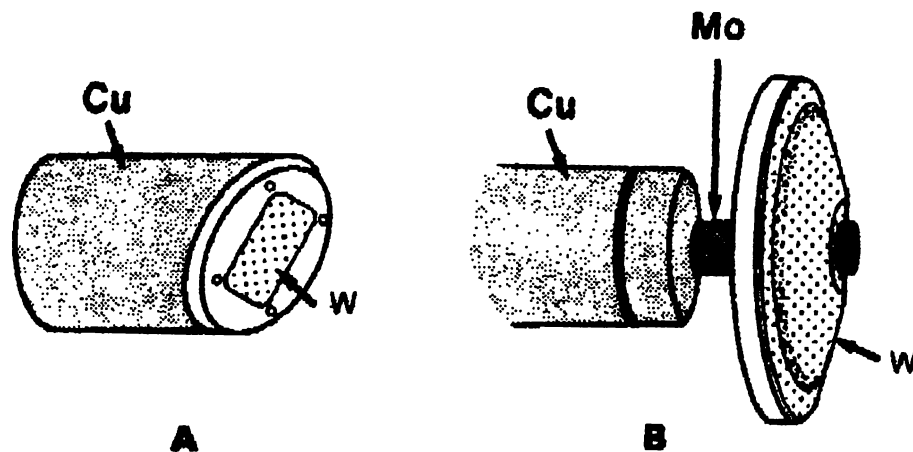


Figura 24: (a) En un tubo de ánodo estacionario, el blanco está embudado en el ánodo; (b) En un tubo de ánodo rotatorio, el blanco se encuentra en el disco rotatorio.

- d) Conmutador de focos. Permite seleccionar ya sea de manera automática o manual, el foco del tubo de rayos X a utilizar. Si es manual, se encuentra en el panel de control un conmutador asociado a un circuito de protección, que evita la sobrecarga del tubo seleccionado. Si es automático, existe un circuito que toma en cuenta el kilovoltaje y mAs utilizados para seleccionar el foco que permita utilizar esta técnica; si no existe un foco de este tipo, el circuito bloquea el disparo.
- e) Selector de tiempo de exposición. Permite seleccionar el tiempo de exposición a utilizar, controlando el temporizador que se encuentra en el generador de alta tensión
- f) Instrumentos de medición. Permiten visualizar algunos parámetros de exposición como el kilovoltaje y la corriente, señal que recibe de los medidores ubicados en el generador de alta tensión.

2.1.2.3 EL TRANSFORMADOR DE ALTA TENSIÓN.

También llamado *generador de alta tensión*, tiene como función básica suministrar energía en cantidad suficiente para producir radiaciones X durante un período de tiempo establecido.

Está compuesto por:

- a) Un transformador reductor (transformador de filamento) usado para producir voltaje de la fuente de línea al rango entre 6 y 12 voltios, que son utilizados para energizar los filamentos del tubo de rayos X. Ya que las variaciones pequeñas de voltaje en el filamento producen cambios sensitivos en la corriente, posee un estabilizador de voltaje.
- b) Un transformador elevador para elevar el voltaje de línea a un rango entre 15 y 150 mil voltios, los cuales son utilizados para acelerar los electrones del cátodo al ánodo en el tubo de rayos X, para poder producir radiación (Ver sección 1.2). Este transformador elevador puede ser de diferentes tipos, según el tipo de entrada y salida, con respecto al número de fases. Estos se muestran en la tabla No. 2.
- c) Un sistema rectificador. Una vez el voltaje ha sido elevado, y presentado en formas de onda de uno o varias fases, este debe ser rectificado para obtener un potencial directo (no alterno) entre el ánodo y el cátodo del tubo. En la actualidad, algunos generadores de alta tensión presentan como salida un voltaje rectificado rizado, con una frecuencia por lo general hasta de 10,000 Hz. Una de las ventajas de este tipo de generadores, llamados de alta frecuencia, es su tamaño (pueden llegar a ser 1/3 del tamaño de un generador trifásico de doce pulsos o aún más pequeños si son de baja potencia), pues este permite algunas veces colocarlos dentro de la

carcasa del tubo de rayos X, con lo cual ya no son necesarios los cables de alto voltaje; o también bajo la mesa radiográfica, obteniéndose en ambos casos un ahorro de espacio. La segunda ventaja es la exactitud del kilovoltaje, y por tanto mejor calidad del haz que pueden ofrecer en comparación con el resto de los generadores de tipo pulsante.

No.	ENTRADA	SALIDA
1	Monofásica	Monofásica
2	Trifásica	Trifásica
3	Trifásica	Hexafásica (6 pulsaciones)
4	Trifásica	Haxafásica (12 pulsaciones)
5	Trifásica	Mayor de 12 pulsaciones ⁴

Tabla 2. Tipos de entradas y salidas más comunes en un transformador elevador de tensión de un equipo de rayos X.

- d) Circuito de medición y protección. Permite medir el kilovoltaje seleccionado y la corriente del tubo. La inclusión de este medidor de voltaje y corriente de tubo, y su unión cercana con la alta tensión, hace necesario incorporar circuitos de protección, los cuales evitan la electrocución del operador. Generalmente está constituido por un fusible de gas raro. También existe un circuito de protección para el equipo, el cual inhibe la exposición cuando los factores de exposición seleccionados puedan producir daños al equipo.
- e) Caja o recipiente que contiene aceite dieléctrico y receptáculos de conexión de alta tensión. Este es parte del sistema de seguridad del generador de alta tensión, ya que el aceite dieléctrico evita que se produzcan arcos eléctricos, como podría suceder si este estuviera directamente en el aire.

2.1.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El Mantenimiento preventivo es un procedimiento periódico para minimizar el riesgo de fallo y asegurar la continua operación de los equipos, logrando de esta manera extender su vida útil. Esto incluye limpieza, lubricación, ajuste, y reemplazo de ciertas partes vulnerables, aumentando la seguridad del equipo y reduciendo la probabilidad de fallas mayores; pero no se excluye el

⁴ Incluye los generadores de alta frecuencia y de potencial constante

mantenimiento que a diario debe realizar el operador del equipo (ej.: limpieza de electrodos en el desfibrilador, procedimientos de autocalibración en equipos computarizados, etc.).[6]

Organismos como la OPS, y ECRI, recomiendan que el mantenimiento preventivo debe realizarse en forma conjunta con el control de calidad del equipo.

El procedimiento básico de mantenimiento preventivo aplicado a un equipo de rayos X incluye los siguientes aspectos:

- Limpieza exterior e interior.
- Lubricación según las instrucciones del fabricante.
- Reemplazo de pequeñas partes de corta duración, si es necesario.
- Calibración del sistema para asegurar el funcionamiento de acuerdo a las especificaciones del fabricante, a intervalos recomendados por el fabricante o deducidos según la experiencia. Esto incluye actividades como ajuste de frenos, sistemas de fijado, y soportes para asegurar el funcionamiento adecuado.

[6]

En los anexos 1 y 2, se presentan rutinas de mantenimiento preventivo en forma más detallada, las cuales han sido tomadas de las referencias [6] y [7] respectivamente.

2.1.4 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Las condiciones de instalación de un equipo de rayos X, son determinantes en la calidad de las imágenes obtenidas, ya que afectan tanto el proceso de exposición y revelado, como el funcionamiento adecuado de los equipos.

En el diseño de las instalaciones radiológicas se deben tomar en cuenta tanto factores que promuevan la calidad, como los que promuevan la protección. En la presente sección se tomarán en cuenta sólo aquellas dirigidas a la calidad.

Las condiciones importantes del diseño de la instalación que pueden incidir en la calidad son:

- a) Factibilidad para realizar los procedimientos. Lo cual incluye comodidad del paciente, comunicación entre paciente y operador, libre circulación a través de los pasillos y libre movilidad para realizar los procedimientos.

- b) Condiciones que afectan al equipo. Entre las cuales podemos mencionar: cantidad adecuada de equipos con respecto a la demanda, de modo que estos no se vean sobrecargados en su operación, y por tanto acorte su vida útil, o produzca un funcionamiento del equipo no deseado; condiciones ambientales que permitan la preservación del equipo, condiciones de instalación que cuenten con suficiente espacio para no ser maltratados o dañados por el paso continuo o inadecuado de las personas; instalaciones eléctricas adecuadas para su funcionamiento; entre otras.

Estas condiciones se ven afectadas por tres factores que se exponen a continuación:

2.1.4.1 INSTALACIÓN DE PLANTA FÍSICA

A. NÚMERO DE SALAS DE RAYOS X

El número de salas de rayos X y su relación con la demanda, es muy importante tanto para el mejor funcionamiento de los equipos, como para la mejor realización de los procedimientos de obtención de imágenes radiográficas, con el objetivo de una mejor calidad de la imagen obtenida. Existen algunas sugerencias en cuanto al número de salas de rayos X, expuestas por la referencia [2].

En *forma general* puede decirse que cada sala de rayos X puede atender 5,000 exámenes por año, lo cual suponiendo un trabajo de 365 días por año, significa aproximadamente 14 exámenes por día por sala. Por tanto el cálculo de el número de salas de rayos X necesarias será de :

$$\frac{\text{\# de exámenes por año}}{5,000} = \text{\# de salas de rayos X necesarias}$$

Cuando se trata de *hospitales especializados*, la mayor parte de los exámenes de rayos X son destinados a los pacientes ingresados, entonces es más conveniente tomar en cuenta el tamaño del hospital (# de camas), la relación será:

$$\frac{\text{\# de camas}}{50} = \text{\# de salas rayos X necesarias}$$

Ambas reglas son generales, y debe buscarse adaptarlas a cada situación específica, en las cuales debe tomarse en cuenta la raza, población, densidad e ingresos medios de la comunidad a la que se

brinda servicio en el hospital. Otra regla general dice que *el número de exámenes diarios que pueden realizarse en una sala de radiodiagnóstico con fines generales es de 20*. [2]

Cuando el factor predominante son los pacientes ambulatorios, generalmente cuando se trata el caso de bajos ingresos económicos y alta densidad poblacional (como es el caso de la mayor parte de los hospitales nacionales del área metropolitana), se recomienda estimar el porcentaje de pacientes ambulatorios remitidos para exámenes de rayos X, y el número promedio de exámenes por paciente.

$$\frac{(\# \text{ de pacientes ambulatorios por día})(\# \text{ exámenes/paciente})}{20 \text{ exámenes por día /sala}} = \# \text{ salas de R-X necesarias}$$

Cuando el predominante en los exámenes son los pacientes ingresados, además de tomar en cuenta el número de camas, se recomienda tomar en cuenta el porcentaje de ocupación, duración aproximada de la estancia por paciente y el número de exámenes por paciente.

$$\frac{(\# \text{ camas}) (\text{Porcentaje de ocupación})(\# \text{ exámenes /paciente})}{(\# \text{ de días de estancia})(20 \text{ exámenes por día /sala})} = \# \text{ salas de R-X necesarias}$$

B. ESPACIO FÍSICO

El espacio físico, es otro factor determinante en la calidad de la imagen obtenida, ya que un espacio físico apropiado permite tanto al operador como al paciente la libre circulación y realización de los procedimientos con comodidad; además un espacio físico amplio permite una mayor concentración de parte del personal en sus labores, y una *disminución de la radiación dispersa, obteniéndose una menor radiación del paciente*. [2]

Cuando un servicio de radiología consta de una o dos salas, es recomendable que estén contiguas al cuarto oscuro [8], para que el material a revelar pueda ser transportado sin salir a un pasillo.

El equipo de radiodiagnóstico se ubica uno en cada sala, el transformador de alta tensión se recomienda instalar en un cuarto separado, si es necesario, para protegerlo del posible daño que pueda causársele por encontrarse en áreas de paso. Además se protege de esta forma de sustancias que puedan ser derramadas sobre él por descuido de operadores.

El espacio que se especifica cómo mínimo por cada sala de radiografía-fluoroscopia general, es de 4.88 x 5.49 mts (16 x 18 pies). El área total del departamento de radiología no debe ser menor a 139.54 mts². (1,500 pies²) por cada sala de examen de rayos X. El espacio físico donde se instala el panel de control no debe ser menor a 2.32 mts² (25 pies²) [2].

El pasillo debe tener un ancho ≥ 2.44 mts para pacientes ambulatorios, y más de 3.66 mts. para pacientes en camilla o silla de ruedas. [2]

La altura del techo se especifica en la sección 2.1.4.1 literal D.

Existen otras consideraciones como las instalaciones que debe poseer cada departamento de rayos X, así como el espacio y accesorios que cada una de estas involucra, las cuales escapan al propósito de este documento. Para profundizar en el tema ver las referencias [2] y [8].

C. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales también son un factor importante, tanto para la comodidad del operador y del técnico radiólogo, como para la preservación del equipo. Las principales son la temperatura, la ventilación y la iluminación.

La temperatura de la sala de rayos X debe mantenerse en valores ni demasiado fríos, ni demasiado calientes para el personal y los pacientes. Pero es también importante seguir las recomendaciones del fabricante, acerca de la temperatura necesaria para el equipo de rayos X, debido a su alta disipación de calor a través del tubo (ver sección 1.2.1); el cumplimiento de esta condición es importante para la conservación de la vida útil del equipo, principalmente en la conservación del tamaño del punto focal, el cual se va deteriorando con el uso y la exposición al calor. La temperatura recomendada es entre 22 y 25 °C.

En cuanto a la ventilación para las salas de exámenes, la renovación del aire debe ser de al menos 3 veces por hora, mientras el local se esté utilizando. En las salas donde se utilicen anestésicos (emergencias), la ventilación debe ser de 6 volúmenes de aire por hora.

Referente a la iluminación, esta debe ser bien planeada de modo que las partes móviles de los equipos no produzcan sombras en las zonas de trabajo o de visualización. Se puede utilizar iluminación directa o indirecta. El nivel de iluminación media debe ser de *100 luxes aproximadamente*. Todos estos datos han sido tomados de la referencia [9].

D. PISO, PAREDES Y TECHO

Debido a las necesidades cambiantes de los departamentos de radiología, se recomiendan instalaciones físicas que permitan cambios en las instalaciones eléctricas cuando estos sean necesarios.

Se recomienda que el piso sea con características removibles (piso móvil o falso), capaz de soportar la carga de cada componente del equipo, estos se muestran en la tabla 3.

ELEMENTO	AREA	CARGA (kg)
Mesa de Radiodiagnóstico	3 – 6 m ²	1,150 (máx)
Generador Alta Tensión	1 – 2 m ²	500 – 2,000/m ²
Panel de Control	1 – 2 m ²	100 – 200

Tabla 3: Cargas y áreas recomendadas para los componentes del equipo de rayos X

Este piso móvil o falso se compone de losas movibles y autotransportables, puestas sobre una estructura que puede ser de diversos materiales y formas, permitiendo un acceso integral al subsuelo o sub piso. De esta forma, no es necesario saber las características exactas del equipo radiológico a implantar. Esta es una inversión inicial alta, pero que permite evitar inversiones posteriores y más elevadas cuando se necesite cambiar de equipo, lo cual, repercutiría en rediseño del departamento, y posible paro de labores durante varios meses. Si el suelo flotante no es posible, se recomiendan otras variantes. Para un mayor detalle, vea la referencia [9].

El uso de estas variables, permiten que las instalaciones eléctricas no interfieran con la circulación de las personas. El acabado del piso debe ser de fácil mantenimiento (limpieza), se recomienda el vinilo.

Las paredes intermedias también se recomiendan desmontables, y de superficies de fácil mantenimiento.

Ya que existen en la actualidad una serie de equipos con soportes en el techo, este debe poseer un sistema de rieles incrustados en el concreto (plafón), o rieles sujetos al techo. Estos rieles atraviesan la sala en forma paralela, cada 900 mm, y deben poseer una resistencia capaz de sostener los equipos de rayos X, según el peso dado por el fabricante. Esto es necesario en toda sala de rayos X, pues no es posible asegurar que nunca se utilizará este tipo de equipos en esta sala. La altura recomendada son 3.10 mts a partir de los rieles, sean estos incrustados en el concreto o sujetos a él.

2.1.4.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica, debe cumplir con lo estipulado en el NEC, artículo 517. Además se hacen en este documento las siguientes recomendaciones, tomadas de la referencia [9].

Se recomienda una alimentación eléctrica de red trifásica que incluye neutro y tierra, acorde al equipo a instalar, así como de los voltajes disponibles en la localidad. La entrada de la instalación,

será una caja de empalme ubicada a 1.50 mt. del suelo, controlada por un contactor de 125 A (en el caso de radiodiagnóstico especializado de 250 A). Estos contactores deben ubicarse en un armario eléctrico ubicado en el servicio de radiología y de fácil acceso.

También se recomienda la conexión a tierra de todas las masas conductoras. Para el radiodiagnóstico general, se recomienda una resistencia aparente a tierra aproximada entre 0.1 y 0.05 ohmios por hilo de fase.

2.1.4.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO

El cuidado en la instalación del equipo es de suma importancia, ya que estos equipos son de gran precisión, y por tanto para poder funcionar adecuadamente, deben ser instalados con gran precisión y cuidado.

Se recomienda el revisar todos los componentes de éste, en el momento de desempacarlos para verificar que estos estén completos y sin averías. El trato que deben tener cada una de las partes de estos equipos es sumamente cuidadoso.

Todo el proceso de instalación mecánica del equipo es sumamente importante, ya que una pequeña desalineación entre el tubo y la mesa, o con respecto a la columna, produciría imágenes que involucrarían posibles diagnósticos erróneos de parte de los médicos.

Para mayor profundidad del tema ver referencia [10].

2.2 EQUIPOS DE PROCESADO DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS

En un principio, todos los procesos de revelado eran hechos en forma manual. En 1956 aparecieron los primeros equipos de revelado; gracias a estos se ha mejorado la calidad en el proceso, ya que las posibilidades de error humano son disminuidas. En la actualidad se utilizan ambos métodos, el manual y el automático. En el presente documento sólo se expondrá el revelado automático.

En la figura 25 se muestra el corte interior de una procesadora automática, tomado de [11].

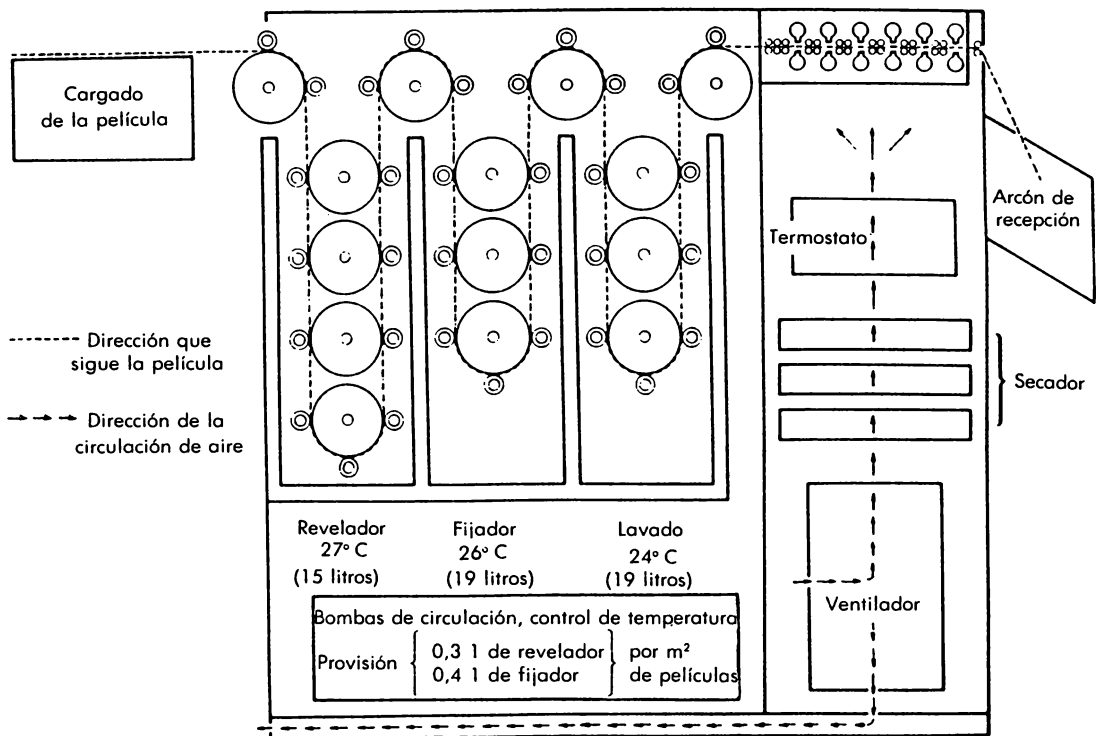


Figura 25: Esquema de un procesador automático de películas.

2.2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA

El proceso de revelado, ya sea manual o automático, presenta cuatro etapas básicas: El revelado, el fijado, el lavado y el secado (Ver sección 1.7). Para poder ejecutar estas etapas y brindar la calidad de revelado necesaria, se necesita de un conjunto de sistemas, los cuales son: sistema de transporte, sistema de rellenado, sistema de circulación, sistema de control de temperatura y sistema de secado (Ver figuras 26, 27 y 28). El procesador cuenta con una serie de tanques, uno contiene al revelador, otro al fijador y otro es el tanque de lavado, el cual contiene generalmente agua.

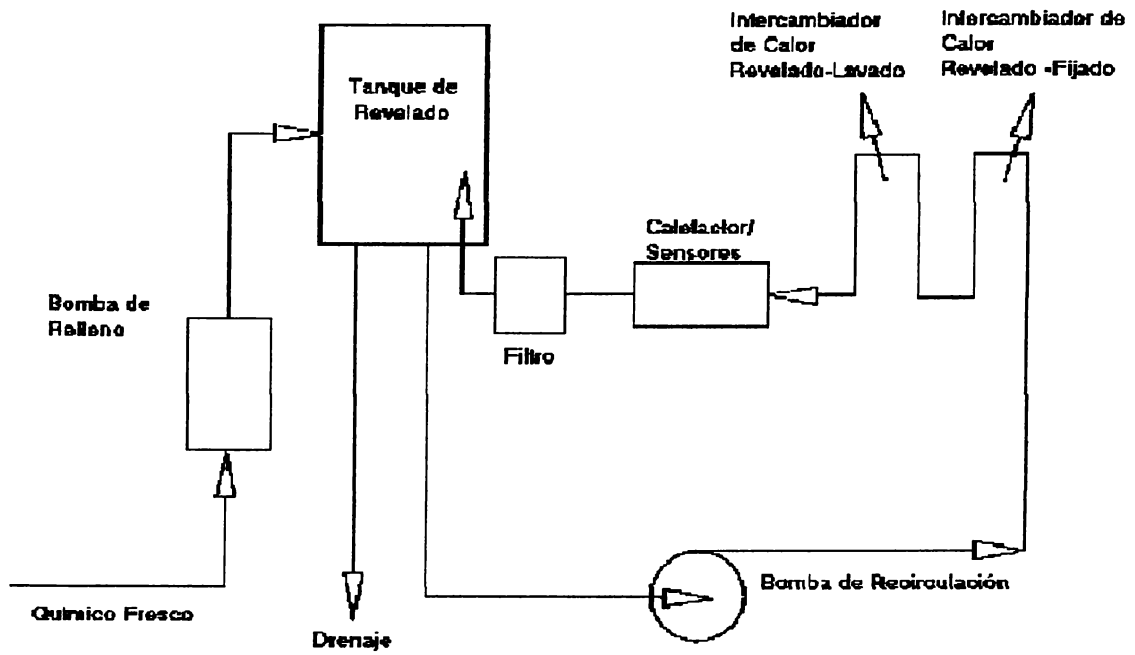


Figura 26: Diagrama de bloques del sistema revelador.

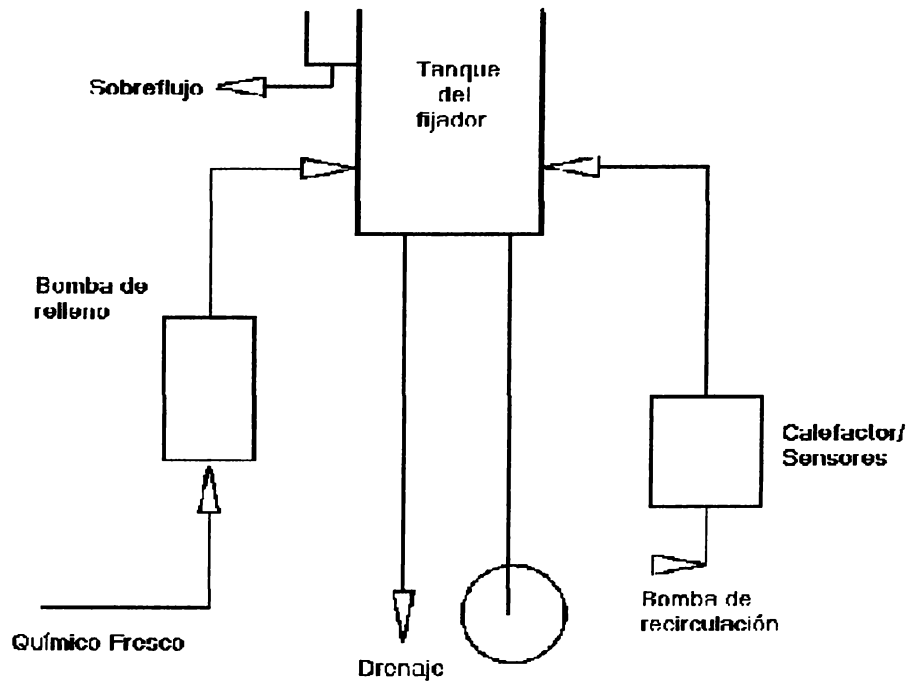


Figura 27: Diagrama de bloques del sistema fijador.

2.2.1.1. SISTEMA DE RELLENADO

O también llamado de renovación, es la fuente de químicos frescos, pueden provenir de tanques de relleno o de un mezclador de químicos [12]. Está presente en la etapa de revelado (sistema de relleno de revelador) y en la de fijado (sistema de relleno de fijador).

Está formado por una bomba, la cual mueve los químicos frescos del suministro de relleno al tanque del químico (revelador o fijador) y debería ser ajustable para permitir la selección de diferentes tasas de relleno.

Este sistema es necesario, ya que durante el revelado de una película, parte de los líquidos de revelado sufren deterioro o se ven disminuidos. El revelador por ejemplo, puede ser absorbido por la emulsión y transportado al fijador. El fijador además de ser absorbido en parte por la película, y en parte es transportado al tanque de lavado. Si no existiera una renovación de estas sustancias, el nivel de estas descendería, además que su actividad química se vería atenuada con cada revelado.

El relleno del revelador es generalmente de 60 a 600 ml/min; y el del fijador entre 80 y 800 ml/min. Esto depende de las condiciones específicas del procesador, así como de su uso.

2.2.1.2. SISTEMA DE CIRCULACIÓN

Mantiene los químicos en constante movimiento, lo cual permite que la solución mantenga una temperatura homogénea, y una mezcla continua con los químicos nuevos (de relleno). Además permite una agitación en el proceso de revelado y de fijado, acción de suma importancia para el proceso.

El sistema de circulación está compuesto por una bomba, la cual hace pasar el químico por intercambiadores de calor, sensores de temperatura y calentadores (ambos parte del sistema de control de temperatura que se expone a continuación), y por un filtro. Este filtro remueve del revelador las partículas desprendidas por la película, para mantener la calidad de imagen. *Se recomienda cambiarlo mensualmente o después de procesar 5,000 películas.* [12]

2.2.1.3. CONTROL DE TEMPERATURA

La temperatura de los tres líquidos empleados, revelador, fijador y agua debe ser controlada con exactitud. El sistema de control de temperatura hace uso de intercambiadores de calor, sensores de temperatura y dispositivos calefactores.

a) INTERCAMBIADORES DE CALOR

Para el revelador, como se mencionó en el sistema de circulación, se utilizan intercambiadores de calor. El intercambiador de calor lavado-revelado, ayuda a mantener la temperatura del revelador. Este intercambiador es necesario, ya que el calor irradiado por el sistema de secado, incrementa la temperatura alrededor del tanque del revelador, con lo cual se incrementa la temperatura del químico; el intercambiador de calor permite liberar calor a través del líquido de circulación. Generalmente el intercambiador es un tubo de acero inoxidable de pared delgada, colocado en la parte inferior del tanque de lavado.

El intercambiador de calor revelado-fijado hace uso del revelador para calentar la solución de fijado a la temperatura mínima requerida por ésta.

Generalmente consiste en un tubo de acero inoxidable de pared delgada en la parte inferior del tanque de fijado. Este no es necesario, si se cuenta con un calentador para el fijador.

b) DISPOSITIVOS DE CALEFACCIÓN Y SENSORES DE TEMPERATURA

Después del intercambiador de calor, el químico pasa por sensores de temperatura y por dispositivos de calefacción.

Los sensores, los cuales pueden ser un termostato o un termistor, monitorean la temperatura del revelador, y controlan a los dispositivos de calefacción, los cuales generalmente tienen una potencia entre 500 y 1,500 W. Esto depende del tiempo de calentamiento deseado y la tasa de relleno utilizado.

La solución reveladora es generalmente mantenida a una temperatura entre los 32.2 y los 37.8 °C (90 y 100 °F), con un margen de ± 0.3 °C (± 0.5 °F).

La solución de fijado, es mantenida entre 29.4 y 35 °C (85 – 95 °F).

También se utilizan otros sensores para vigilar la existencia de un nivel de líquido determinado o su presencia, así como los excesos de temperatura.

2.2.1.4. SISTEMA DE DRENAJE

Este sistema está compuesto por dos partes: Un sistema colector de sobrenivel (sobreflujo), y una válvula de drenaje. El sistema colector de sobre nivel, permite evacuar el líquido en exceso debido a la acción del sistema de relleno. La válvula de drenaje es utilizada para extraer todo el líquido, generalmente cuando se va a realizar una limpieza del tanque. Estos dos componentes pueden estar separados o juntos.

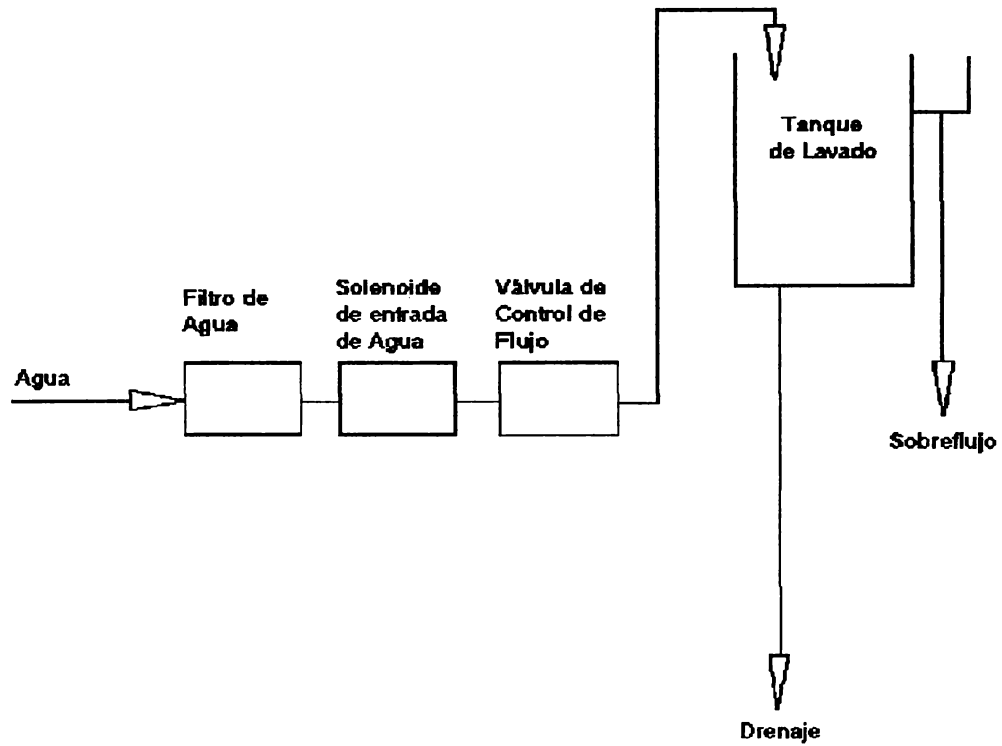


Figura 28: Diagrama de bloques de un sistema de lavado.

2.2.1.5. SISTEMA DE LAVADO

Este tiene a sus vez los siguientes subsistemas (Ver figura 28):

Entrada de agua. Aquí se encuentra ubicado un filtro, el cual se encarga de remover partículas del agua, con lo cual se prevé un depósito de material extraño (suciedad) en las películas. Generalmente este filtro tiene una porosidad de 50 micrones; *su reemplazo se recomienda entre 1 y 3 meses.* [12]

Solenoide de entrada.. Controla el flujo del agua interrumpiéndolo o activándolo, según sea necesario. Se interrumpe cuando el equipo se encuentra en períodos de espera “Standby”, excepto cuando se necesita de enfriamiento.

Válvula de control de flujo. Regula el flujo del agua cuando ocurren fluctuaciones en la presión del suministro. El flujo típico está entre 0.25 y 1.5 galones (0.95 a 5.7 litros) por minuto.

2.2.1.6. SISTEMA DE SECADO

Consiste en sistemas de control del movimiento del aire, así como de la regulación de su temperatura.

Movimiento del aire. Un soplador (generalmente un ventilador), mueve el aire caliente a la superficie de la película, con una capacidad entre 3 y 9 metros cúbicos (100 y 300 pies cúbicos) por minuto.

Los tubos de aire proveen una turbulencia en el aire para acelerar la evaporación de la humedad en la superficie de la película. Entre mayor sea el flujo del aire, mayor velocidad se obtendrá en el secado.

A medida que se la película va siendo secada, el nivel de humedad de aire se incrementa. Para controlarlo se permite una salida de aire, para que la humedad sea mantenida entre 25 y 100 %.

Control de temperatura. Los calentadores mantienen el aire entre 37.8 y 71.2 °C (100 y 160 °F). Su potencia generalmente oscila entre los 1,500 a 3,000 Watts. El sensor de temperatura es un termostato o un termistor. Los dispositivos de seguridad son generalmente uno sensor de sobre temperatura y un interruptor de sobreflujo, el cual hace pasar aire por el calentador antes que el calentador sea encendido.

2.2.1.7. SISTEMA DE TRANSPORTE

El sistema de transporte mueve la película a través de las secciones de revelado, fijado, lavado y secado de el procesador. Además mantiene la película durante el tiempo requerido para que se realice cada fase del proceso y entrega la radiografía lista para que pueda ser observada.

En la mayoría de las procesadoras la película es transportada a través del sistema de rodillos, éste será el sistema tratado en este documento.

Además de su función de transporte, este sistema también realiza otras funciones importantes, como lo es la agitación vigorosa y uniforme de las soluciones, realizada por los rodillos. Esta es realizada a alrededor de la superficie de las hojas de película, lo cual contribuye notablemente a la uniformidad del proceso. Otra función es la de exprimir la película al final de cada etapa, con lo cual se elimina gran parte de las soluciones que impregnan la película, reduciendo así la contaminación de las soluciones, y prolongando la vida del fijador y contribuyendo a la acción del lavado.

El sistema de transporte está compuesto por rodillos, bastidores de transporte y motor. El sistema comienza en la bandeja de alimentación, donde se colocan las películas que serán reveladas. En

este punto, los rodillos enganchan la película, un microinterruptor sensa la entrada de las películas, con lo cual se controla la velocidad de relleno de los líquidos. “La velocidad de transporte de la película no puede variar en más de un $\pm 2\%$ del tiempo especificado por el fabricante.” [2]

a) SUBSISTEMA DE RODILLOS

Está formado por dos tipos: *rodillos de transporte* y *rodillos para el cambio de giro*. Los rodillos de transporte tienen generalmente un diámetro de 2,54 cm y sirven para conducir la película en su trayectoria. Se colocan unos sobre otros o al tresbolillo (Ver figura 29). Los rodillos para el cambio de giro, son a su vez de dos tipos: planetarios y principales. El rodillo principal generalmente tiene un diámetro de 7.6 cm de diámetro (Ver figura 30), el cual está rodeado por rodillos planetarios y por guías de metal o plástico. Este conjunto de rodillos cambian el giro de la película en 180°.

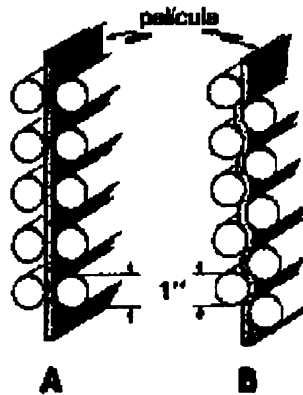


Figura 29: (a) Rodillos de transporte en posición opuesta; (b) Rodillos de transporte al tresbolillo.

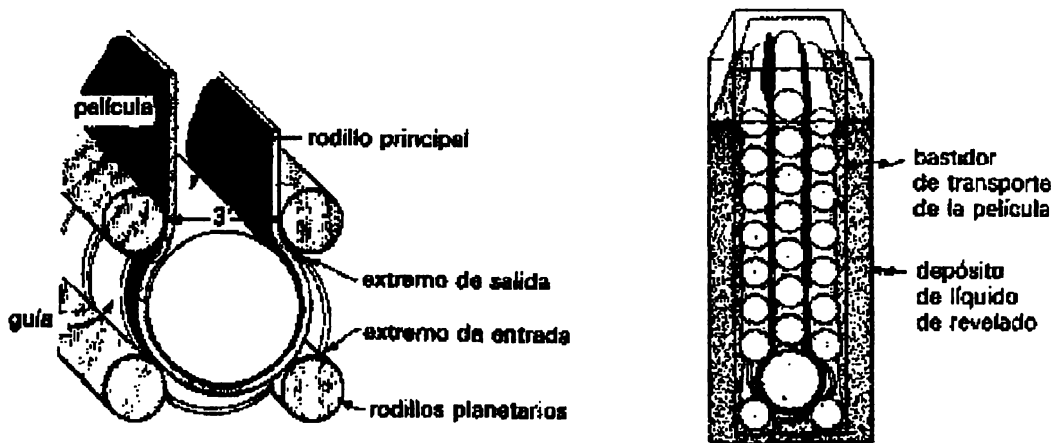


Figura 30: (a) Conjunto formado por el rodillo principal, rodillos secundarios y guías, empleado en los equipos de revelado automático para cambiar la dirección de la película; (b) Bastidor de transporte.

b) SUBCONJUNTO DE BASTIDORES DE TRANSPORTE

Contienen en su interior el subconjunto de rodillos descrito anteriormente (Ver figura 30b). Estos se desmontan con facilidad para permitir la limpieza del equipo de revelado. El conjunto de giro descrito anteriormente, compuesto por los rodillos de giro y las guías, se encuentran en la parte inferior del bastidor. Cuando la película sale de un bastidor, hacia otro, es guiada por bastidores de cruce. Este bastidor es más pequeño que el de transporte, y está formado por rodillos y guías.

c) SUBCONJUNTO DE TRACCIÓN

Formado por un motor, el cual le da al sistema de transporte el movimiento que necesita. Este motor le transmite el movimiento a un sistema reductor de velocidad, el cual transmite el movimiento al bastidor de transporte. El subsistema de rodillos es movido mediante un sistema de piñones y cadenas, o una polea y una correa.

2.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Al igual que en los equipos de rayos X radiográficos estacionarios, en las procesadoras automáticas la OPS recomienda que estén de la mano el mantenimiento preventivo y el control de calidad. Cada fabricante especifica rutinas y procedimientos de mantenimiento preventivo para cada uno de los modelos, pero en general todas conllevan los pasos descritos en la sección 2.1.3. En el anexo 3 se presenta una rutina que es aplicable a varias marcas, esta fue tomada de la referencia [7].

2.2.3 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Al igual que en los equipos de rayos X, las condiciones de instalación de una procesadora automática, son determinantes para obtener imágenes de buena calidad, ya que afectan el proceso de revelado, y el funcionamiento adecuado del equipo. La presente sección está dirigida a aquellos parámetros de calidad.

Los factores a tomar en cuenta son los mismos expuestos para equipos de rayos X en la sección 2.1.4.

2.2.3.1 INSTALACIÓN DE PLANTA FÍSICA

A. NÚMERO DE CUARTOS OSCUROS

El número de cuartos oscuros está directamente relacionado con el número de salas como de la distribución de estas. Lo mejor es que exista un cuarto oscuro por sala de rayos X, aunque éste también puede brindar servicio a la sala de rayos X que se encuentre al lado del pasillo. La existencia de un sólo cuarto oscuro facilita el control de calidad, ya que las películas son procesadas bajo las mismas condiciones (Ver figura 31).

B. ESPACIO FÍSICO

El tamaño del cuarto oscuro ha sido objeto de estudio, ya que el técnico radiólogo pasa mucho tiempo en su interior. En la mayoría de los casos, se recomienda un rectángulo de 3.5 a 4 m por 3 mts.

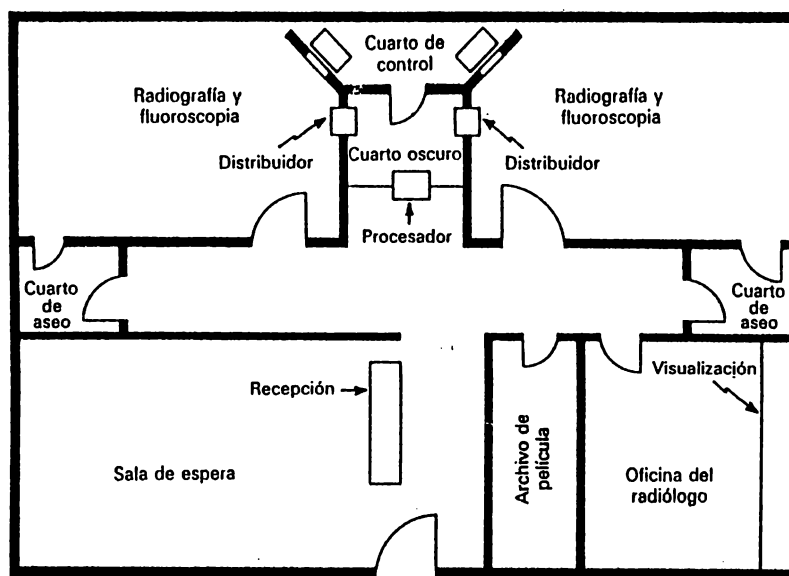


Figura 31: Plano típico de un servicio de radiología con dos salas.

C. CONDICIONES AMBIENTALES

El calor producido por la procesadora automática, además del hecho de realizar el trabajo con la puerta cerrada, produce rápidamente un ambiente caluroso, y con concentraciones de gas carbónico liberados por la película en proceso.

Para esto se recomienda una temperatura de 20°C, en un ambiente seco [8]. La temperatura debe ser tal que las concentraciones de gas carbónico no afecten la salud del operario.

D. PISO, PAREDES Y TECHO

Al igual que las salas de rayos X, las necesidades cambiantes del departamento de radiología también afectan al cuarto oscuro, por lo que se recomienda un piso de tipo móvil como el descrito en la sección 2.1.4.1 literal D.

Las paredes deben tener un transfer que comunique con la o las salas ubicadas a su alrededor, si estas están comunicadas por medio del pasillo, debe haber también un transfer en la pared que comunica al cuarto oscuro con el pasillo.

El piso y las paredes deben ser de fácil mantenimiento y limpieza.

Además debe poseer una entrada de agua, la cual debe ser filtrada y suavizada, con un flujo medio de 10 – 12 lts/min, a 38°C, y a una presión entre 3 y 4 Kg; un resumidero cerca del lugar donde se instalará la procesadora.

Es necesaria también una evacuación de aire mediante ductos de 5 cm de diámetro[9].

2.2.3.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En el cuarto oscuro se recomienda ubicar una llegada eléctrica cerca de la procesadora de 7-10 KVA a 220 V (aunque actualmente ya existen en el mercado las procesadoras monofásicas), comandada con controles desde la cámara oscura y otra desde el exterior (cámara clara).

Además es necesario ubicar tomas eléctricos para lámparas de seguridad y revelado manual.

Debe existir un sistema de seguridad que no permita el acceso al cuarto desde afuera, mientras se estén realizando procesos en la oscuridad. Esto se puede hacer mediante un sistema de doble puerta, interruptores de seguridad, indicadores de proceso de revelado encima de la puerta de entrada al cuarto oscuro, o una combinación de estos.

El interruptor de luz se recomienda ubicarse a 1.6 mts del suelo, para evitar el ser encendido accidentalmente. [8]

2.2.3.3 INSTALACIÓN DEL EQUIPO

La instalación del equipo debe realizarse con mucho cuidado, tomando en cuenta las consideraciones hechas por el fabricante, y siguiendo al pie de la letra sus instrucciones.

Se debe poner especial cuidado en el manejo de los rodillos, los cuales son muy sensibles a las fricciones, y el daño de estos, interfiere directamente con la calidad de la imagen obtenida.

3. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Existen en radiología de diagnóstico, una serie de conceptos y de unidades de radiación, referentes a la protección radiológica. En el presente documento, sólo se tratarán aquellos conceptos y temas que se estiman necesarios para comprender el aspecto de control de calidad de los equipos de rayos X estacionarios, y procesadoras automáticas.

3.1 UNIDADES RADIOLÓGICAS Y CONCEPTOS AFINES

Los efectos biológicos producidos por la radiación, están estrechamente vinculados a la interacción de las partículas o fotones con átomos o moléculas de tejido vivo. Al hablar de interacción, se habla consecuentemente de entrega de energía. Dependiendo de la entrega de energía, así es la ionización del tejido, y dependiendo del grado de ionización, así es el grado del daño biológico que puede esperarse.

Las unidades radiológicas han sido creadas para cuantificar y limitar la cantidad de radiación a utilizar en las diferentes actividades. Desde 1974, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas en Radiación (ICRU), ha impulsado el uso de unidades radiológicas coherentes con el sistema internacional (SI). A pesar de esto ha permitido el uso especial de algunas unidades, las cuales no son coherentes con el sistema internacional, pero pueden ser utilizadas. Estas son: El Röntgen, Rad y Rem.

La protección radiológica va encaminada a proteger al ser humano, de los efectos de *la radiación ionizante*, la cual es definida por la ICRU como: “Partículas cargadas (por ejemplo, electrones positivos o negativos, protones u otros iones pesados) y/o partículas no cargadas (por ejemplo, fotones o neutrones) capaces de causar ionización por medio de procesos secundarios o primarios” [15]

3.1.1 EL RÖNTGEN Y LA DOSIS DE EXPOSICIÓN

Se define exposición, como $\Delta q/\Delta m$, donde Δq es la suma de cargas eléctricas de todos los iones del mismo signo producidos en el aire cuando todos los electrones liberados por los fotones en un

volumen de aire, cuya masa es Δm , son completamente detenidos en el aire. [3] La unidad de medición de la exposición es el Röntgen.

RÖNTGEN: “Es la cantidad de radiación X o gamma tal que la emisión corpuscular asociada, por 0.001293 g de aire produce, en el aire, iones que transportan una unidad electrostática de electricidad de cada signo”. [13]

Este es la unidad de medición de la exposición; no es una unidad de radiación en el sentido estricto, ya que no determina ni la energía del haz, ni el número de fotones que este contiene. Lo que expresa es el efecto de la radiación en 1 cm^3 de aire en condiciones normales de presión y temperatura. Los equipos de medición, normalmente vienen calibrados a 760 mm Hg , y $22 \text{ }^\circ\text{C}$. [3]

En el sistema internacional (SI), la unidad correspondiente al röntgen es el Coulombio por kilogramo. *Un Röntgen es igual a $2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.*

La medición en Röntgens puede relacionarse con la dosis o energía absorbida, que es la más importante para medir el efecto biológico. Esta unidad sólo es utilizada para rayos X y gamma. Como se verá más adelante, esta unidad juega un papel importante en el control de calidad de los equipos de rayos X.

3.1.2 EL RAD (Radiation Absorbed Dose) Y LA DOSIS ABSORBIDA

Ya que, el daño biológico depende de la energía absorbida y del medio donde ocurre la interacción, se creó el Rad. Esta unidad, a diferencia del Röntgen, también incluye radiaciones de partículas alfa y beta, los neutrones y protones además de los rayos X y los gamma, las cuales también constituyen radiaciones ionizantes. Ya que las radiaciones han de medirse en función de la energía absorbida por el medio irradiado, se consideró necesario introducir una unidad que dependiera únicamente de la cantidad de energía absorbida por unidad de masa, y no de la energía o tipo de radiación, ni de la naturaleza del absorbente. Por esto se creó el concepto de dosis absorbida, la cual se define como “la cantidad de energía transmitida a la materia por las partículas ionizantes, por unidad de masa de la sustancia irradiada, en el lugar que interesa. Su unidad es el Rad, que vale 100 Ergios por gramo.” [13]

La unidad del SI correspondiente a la dosis absorbida es el gray (Gy). *Un rad es igual a 0.01 Grays.*

3.1.3 EL REM (Röntgen –Equivalent-Men) Y LA DOSIS EQUIVALENTE (H)

Además de la energía absorbida, el efecto biológico también depende de el tipo y las características de la radiación incidente. Cantidades iguales de energía absorbida, por incidencia de radiaciones diferentes, pueden producir efectos biológicos distintos. Para medir el grado de eficacia con que actúa la radiación, se utiliza el concepto de EBR (eficacia biológica relativa), la cual se define como:

$$\text{EBR} = \frac{\text{Dosis de rayos X de 250 KV necesaria para producir un cierto efecto biológico}}{\text{Dosis de una radiación dada necesaria para producir el mismo efecto biológico}}$$

Para tomar en cuenta tanto la dosis absorbida, como el factor EBR, se creó la unidad “Rem”. Que se define como la dosis de cualquier radiación ionizante que, administrada al hombre o a un mamífero, es biológicamente equivalente a la dosis de un rad de radiación X o gamma.

Por tanto la dosis EBR en rems = Dosis en rads x EBR

Debido al uso del término EBR tanto en radiobiología, como en protección radiológica, la ICRU recomendó se utilizara en el área de protección radiológica el término de “factor de calidad” (Q), como sustituto. La relación queda de la siguiente forma:

$$H = D.Q.N$$

Donde: D es la dosis absorbida

Q el factor de calidad

N el producto de cualesquiera otros factores modificantes, tales como factores de distribución

En la tabla 4 se muestran algunos tipos de radiación, con el factor de calidad medio asociado.

TIPO DE RADIACIÓN	Q (Valor normalizado)
X o gamma	1
Beta	1
Protón	10
Alfa	10
Neutrón rápido	10
Neutrón lento	5

Tabla 4: Valores de EBR normalizados para diferentes tipos de radiaciones

La unidad correspondiente al Rem en el SI es el Sievert (Sv). *Un Rem es igual a 0.01 Sv.*

3.2. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN.

EFECTO	TIPO DE INSTRUMENTO	DETECTOR
Eléctrico	1. Cámara de Ionización 2. Contador Proporcional 3. Contador Geiger 4. Estado sólido	1. Gas 2. Gas 3. Gas 4. Semiconductor
Químico	1. Película 2. Dosímetro químico	1. Emulsión fotográfica 2. Sólido o líquido
Luz	1. Contador de centelleo 2. Contador Cerenkov	1. Cristal o líquido 2. Cristal o líquido
Termoluminiscente	Dosímetro termoluminiscente	Cristal
Calor	Calorímetro	Sólido o líquido

Tabla 5: Efectos de la radiación utilizados en la detección y medición de esta. [14]

Ya que los seres humanos no cuentan con un medidor de radiación, es necesario utilizar métodos que cuantifiquen la cantidad de radiación a la que se ven expuestos. Para esto se han diseñado muchos tipos de instrumentos ya sea de medición, o simplemente de detección. El requerimiento básico de cualquier instrumento de medición de radiación, es que el detector del instrumento interactúe con la radiación, de tal forma que la magnitud de la respuesta del instrumento, sea

proporcional al efecto de la radiación o a la radiación propiamente bajo medición. Algunos de los efectos físicos y químicos de la radiación, los cuales son aplicados para su detección y medición para propósitos de física biológica se muestran en la tabla 5.

Para intereses del presente documento, se explicará a continuación el funcionamiento del equipo utilizado para medir la dosis de exposición en los procedimientos de control de calidad presentados en el capítulo 5.

3.2.1 CÁMARA DE IONIZACIÓN

Es el método más directo para medir la dosis de exposición. Su principio de funcionamiento es el siguiente: Cuando se coloca una pequeña cavidad, como una cámara de ionización pequeña, en un medio absorbente homogéneo de grandes dimensiones, sometido a una irradiación uniforme, el flujo de electrones secundarios dentro de la cavidad es idéntico al flujo de electrones que existía en el medio antes de introducir la cavidad. Si el gas de relleno de la cámara es el aire, y si las paredes están compuestas por sustancias de número atómico próximo al aire, la pérdida de energía por gramo de aire dentro de la cámara será esencialmente igual a la pérdida de energía por gramo de aire en el punto en que está situada la cámara.

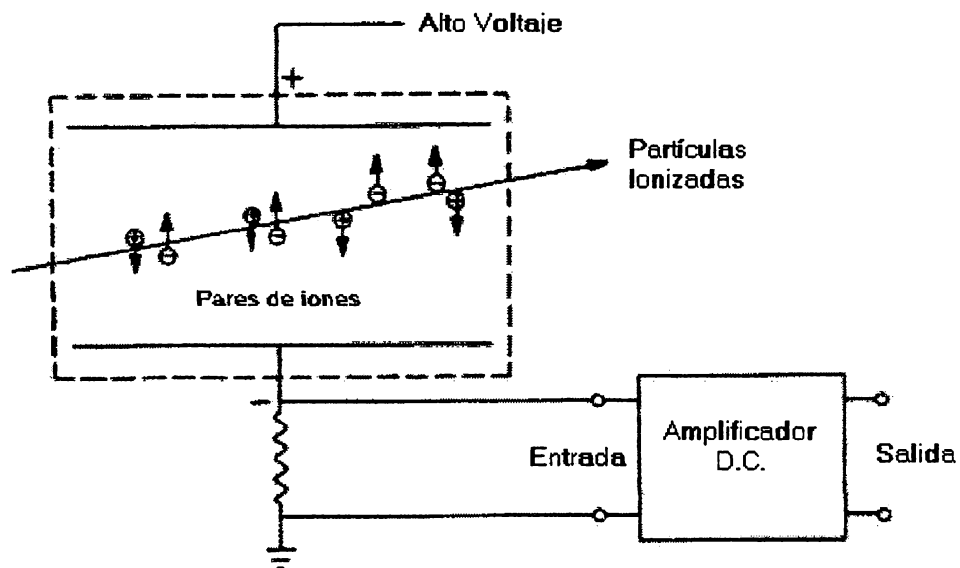


Figura 32: Diagrama de los componentes básicos de una cámara de ionización. El amplificador DC representa una parte del electrómetro.

Entonces, idealmente una cámara de ionización consiste en una cámara de volumen conocido y de paredes equivalentes al aire, cuyas superficies interiores se hacen conductoras de la electricidad. Dentro de la cámara, y aislado de las paredes, se encuentra un conductor central al que se aplica un potencial positivo. Los iones formados en la cámara como consecuencia del paso de la radiación producen en el electrodo central un cambio de potencial, que se mide con ayuda de un sistema de medición de cargas o de intensidad de corriente (generalmente denominado electrómetro), que da directamente una lectura en Roentgenes por unidad de tiempo. Ver figura 32.

Este instrumento es utilizado tanto en los instrumentos portátiles de inspección radiológica, como en los instrumentos fijos.

Los otros dos métodos más utilizados para la medición de la radiación X son el contador proporcional, el cual funciona en forma muy similar a la cámara de ionización, y los detectores fotográficos utilizados generalmente para la medición de la exposición personal (dosímetros personales).

3.3 CALIBRACIÓN Y REVISIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA

La mayor parte de los instrumentos de vigilancia radiológica necesitan ser calibrados cada cierto tiempo con los siguientes propósitos:

- a) Asegurar el correcto funcionamiento del instrumento;
- b) Tener la certeza que las mediciones efectuadas con el instrumento son seguras y exactas en todos los intervalos, y para todas las energías en que se espera que el instrumento brinde una respuesta que no dependa de la energía;
- c) Tener la certeza que el instrumento funciona con seguridad en el intervalo de intensidades de dosis especificado y que se comprenden perfectamente bien aquellas características que son función de la dirección;
- d) Confirmar el comportamiento del instrumento en las condiciones ambientales extremas en que se haya certificado que ha de funcionar satisfactoriamente. [13]

Idealmente, un instrumento de inspección de detección de radiación debería ser calibrado en un campo de radiación idéntico al campo que será monitoreado. Al ser calibrado de esta forma, puede ser utilizado para monitorear las dosis de exposición. En la práctica, uno debe confiar en la independencia energética del medidor. Sin embargo la mayoría de los instrumentos, son precisos únicamente en un rango limitado de energía. Es importante conocer la energía de respuesta y las correcciones que deberían ser hechas para fuentes que difieren de la fuente de calibración.

El OIEA recomienda además de una calibración periódica (usualmente anual) de los medidores de inspección, que se realice también una rutina de revisión. Los medidores de inspección deberían ser revisados para detectar señales de malfuncionamiento a una frecuencia diaria o como esta sea requerida. En los equipos se debe revisar antes de el uso diario, aspectos tales como condición de batería, condición de prueba, lecturas de radiación de fondo, respuesta a la radiación de una fuente revisada, y revisión de varias escalas de operación. El OIEA recomienda que si uno de estos parámetros falla, o parece que brinda lecturas inexactas, no se debe utilizar el instrumento hasta que sea debidamente revisado y recalibrado. [18]

Para calibrar un instrumento existen principalmente dos opciones:

- a) Acudir al fabricante del equipo. Generalmente los fabricantes de los equipos ofrecen servicios de calibración de los mismos, con lo cual aseguran el correcto funcionamiento del equipo, dentro de los rangos para que fue diseñado.
- b) Acudir a los laboratorios de calibración establecidos por el OIEA. El OIEA ha establecido una serie de laboratorios de calibración denominados “laboratorios secundarios de calibración dosimétrica” (LSCDs) los cuales están diseminados en varios países alrededor del mundo.

4. CONTROL DE CALIDAD

En el presente capítulo, se hace una exposición acerca de lo que son los programas de control y garantía de la calidad, para después tratar el tema sobre calidad de imagen, los aspectos y fenómenos que la afectan. Luego se hace un análisis, en el que se retoman los conceptos y procesos expuestos en los capítulos anteriores, para establecer a partir de esta información, de que forma el funcionamiento del equipo, y las condiciones de instalación pueden afectar la calidad de imagen. Finalmente se exponen procedimientos utilizados en control de calidad.

4.1. PROGRAMAS DE CONTROL Y GARANTÍA DE LA CALIDAD

En el campo de la medicina en general, se están desarrollando programas que aseguren la calidad de los cuidados que se brindan al paciente. Estos programas se están dividiendo en la actualidad en dos secciones grandes, aquella que compete a las personas, y la que compete a los equipos.

La que compete a las personas se denominan *Programas de Garantía de la Calidad* (Quality Assurance Programs). En el campo de radiodiagnóstico, estos programas tratan aspectos como la forma en que se realizan ciertos procedimientos como la asignación de citas, la recepción de pacientes, la instrucción de los mismos, la estandarización de técnicas radiográficas para exámenes específicos, etc.

La que compete a los equipos se denomina *Control de calidad* (Quality Control). Su finalidad es garantizar que se obtendrán las mejores imágenes posibles, como producto del buen funcionamiento del equipo. Un programa de control de calidad consta generalmente de los siguientes pasos: pruebas de aceptación, reevaluación del funcionamiento rutinario y corrección de errores.

La OMS establece que el control de calidad es una parte de el programa de garantía de calidad, y lo define como “Conjunto de operaciones (programación, coordinación, aplicación) destinadas a mantener o mejorar la calidad” [19]. Comprende la vigilancia, evaluación y el mantenimiento que pueden ser definidas, medidas y controladas.

La ejecución de éste, es responsabilidad en última instancia de la gerencia de la instalación, aunque hayan sido recomendados por organismos internacionales, o sean de carácter obligatorio.

4.2. CALIDAD DE IMAGEN

La calidad de imagen que pueda tener una radiografía, es de gran importancia en radiodiagnóstico, es por eso que el propósito de establecer un programa de control de calidad o de aseguramiento de la calidad, es obtener la mejor posible.

La calidad de imagen en radiodiagnóstico puede ser llamada también calidad radiográfica, y puede definirse como la fidelidad con que aparecen en la radiografía las estructuras anatómicas examinadas, así como la facilidad con que pueden apreciarse los detalles en esta. La calidad de imagen es fruto de la interacción de muchos factores, los cuales no es fácil evaluar, por lo que se han determinado ciertos parámetros o características determinantes en la calidad de la imagen.

Las características que serán tomadas en cuenta para calificar una imagen en el presente documento, son las siguientes:

- Contraste
- Definición
- Granularidad/granulosidad

El contraste de una imagen puede definirse como la *diferencia de densidad* que existe entre un objeto y el fondo de la imagen. Entre mayor es el contraste de la imagen, la imagen es de mejor calidad.

La definición se puede definir como el hecho que una imagen presente los bordes de los objetos en forma clara, en vez de borrosos.

La granulosidad es una propiedad subjetiva de la imagen, y se debe a la apariencia visual de las irregularidades de densidad de un área expuesta uniformemente. Las irregularidades de la densidad podrían ser medidas con instrumentos, en este caso la propiedad medida es llamada granularidad.

4.2.1. CONTRASTE DE LA PELÍCULA

El contraste de la imagen está determinado entre otros factores, por el contraste que exista entre las estructuras a radiografiar, y el contraste debido a la película. Para analizar el contraste de la película analizaremos la curva de esta.

La relación que existe entre la intensidad de la exposición de la película y la densidad óptica resultante después del revelado se denomina curva característica, curva sensitométrica, o también

denominada curva H y D en honor de los primeros científicos que la descubrieron. Esta se muestra en la figura 33.

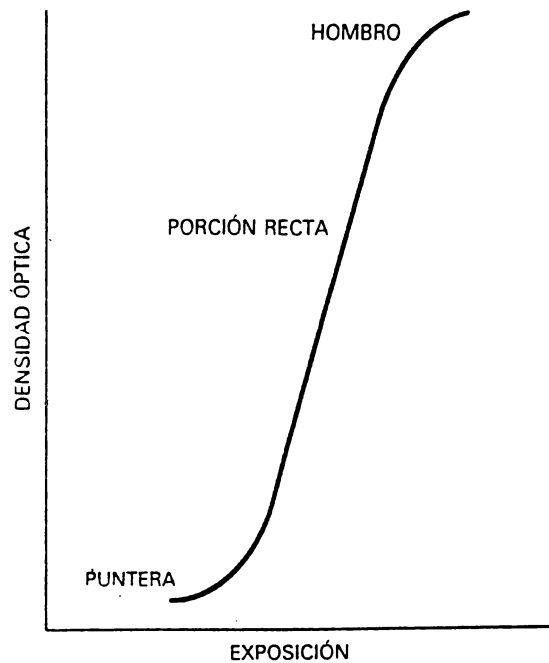


Figura 33: La curva característica de una película radiográfica es la relación gráfica entre densidad óptica y exposición.

La curva tiene tres partes principales, estas son: la puntera, la porción recta y el hombro.

Para la puntera y el hombro, cambios grandes en exposición, originan pequeños cambios en densidad. En la porción recta de la curva, los cambios en densidad mantienen una relación proporcional con pendiente constante, con los cambios en exposición. Esta es la porción de la curva que debe ser utilizada para obtener imágenes de calidad, ya que es controlable la magnitud del contraste producido. En las regiones de puntera y hombro, el contraste además de no ser proporcionalmente constante, es menor en todo sentido al de la porción recta.

La pendiente de la curva (la cual es determinada en la parte recta, generalmente entre densidades de 0.5 y 2.5) es igual al contraste de la película. Para esto el eje X se especifica en unidades del logaritmo de la exposición y el eje Y en unidades de densidad óptica. Una película con pendiente de 3, tendrá un mayor contraste que una de pendiente igual a 1. Para calcular numericamente este valor se puede utilizar el método del gradiente medio, el cual está determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Gradiente Medio} = \frac{\text{DO2} - \text{DO1}}{\text{ERL2} - \text{ERL1}}$$

Donde:

DO2, es la densidad óptica de 2 más la densidad producida por la base y el velo.

DO1, es la densidad óptica de 0.25 más base y velo.

ERL2 y ERL1, son las exposiciones relativas logarítmicas correspondientes a DO2 y DO1.

La densidad producida por la base, es aquella inherente a la película, y es producto del colorante que la base de la película tiene, y que no permite que la película tenga una densidad de 0.

La densidad producida por el velo, es aquella que es producida por las condiciones de manejo y almacenamiento de la película, no deseables.

4.2.2. BORROSIDAD RADIOGRÁFICA

El contraste y la definición radiográfica se ven afectados por un fenómeno llamado borrosidad radiográfica, el cual puede deberse a las siguientes causas:

4.2.2.1. BORROSIDAD GEOMÉTRICA. (U_g)

Su origen puede ser analizado en la figura 34. La borrosidad (U_g) está dada por la siguiente relación de triángulos semejantes:

$$U_g = (s.b)/a$$

4.2.2.2. BORROSIDAD DE LA PELÍCULA. (U_f)

La borrosidad de la película es otro factor que contribuye a la borrosidad total. Para pruebas realizadas en películas industriales, se demostró que para una energía menor de 33 keV, por cada quantum se impresiona un haluro de plata. Para una energía menor o igual a 1000 kilovoltios (el rango de diagnóstico está entre 40 y 150 kV) se cubren aproximadamente 80 haluros de plata por quantum. La borrosidad que causa es de 0.2 mm. Ver referencia [20]

4.2.2.3. BORROSIDAD DE LA PANTALLA

La pantalla intensificadora utilizada en la mayoría de los exámenes de diagnóstico, está compuesta por gránulos (como se expuso en la sección 1.5.2.1) lo cual también incide en la borrosidad de la imagen.

4.2.2.4. BORROSIDAD POR MOVIMIENTO

El movimiento ya sea del paciente, del sistema de rayos X, o del sistema que sostiene la película, contribuyen a la borrosidad de la imagen.

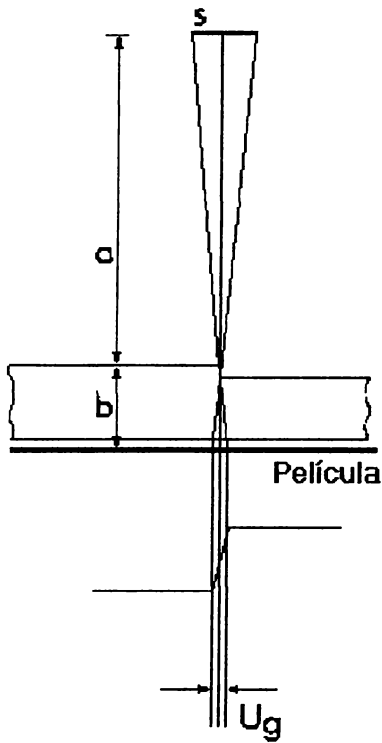


Figura 34: Borrosidad geométrica y de la película. Relación de triángulos semejantes que produce la borrosidad geométrica (U_g).

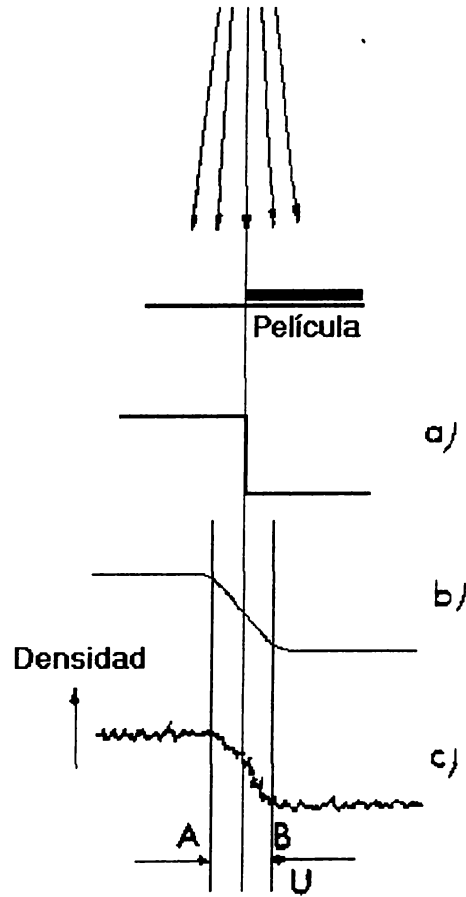


Figura 35: (a) Cambio de densidad en forma ideal, (b) Curva de cambio de densidad, (c) Efecto de la borrosidad real en el cambio de densidad.

4.2.2.5. BORROSIDAD POR LA CALIDAD Y CANTIDAD DEL HAZ

La calidad y cantidad del haz de rayos X también tiene un impacto en la borrosidad de la imagen. Entre mayor es la filtración, mayor es la calidad, y por tanto menor número de fotones de baja energía, con lo que se logra menor borrosidad. Una mayor cantidad de fotones en el haz, permite una menor borrosidad.

Todos estos factores influyen como ya se explicó en la borrosidad total de la imagen, esta relación no es una suma algebraica simple, sólo se puede decir que está relacionada con la suma de cubos y cuadrados, en la que la borrosidad de mayor magnitud, es la que tiene un papel predominante.

La borrosidad tiene algunos efectos, estos son:

- a) Incrementa el ancho de la imagen en la película comparado con el ancho real. El ancho en la imagen será el ancho verdadero más la borrosidad.
- b) Cuando el objeto es más pequeño que la fuente de radiación se produce una reducción del contraste de la imagen. Esta relación se expresa matemáticamente así:

$$C = (C_o \cdot W) / U$$

Donde C es el contraste final

C_o es el contraste original sin borrosidad

W es el ancho de la imagen

U es la borrosidad en mm

El efecto de la borrosidad en el contraste de la imagen y su amplitud de una tira de ancho W puede visualizarse en la figura 36.

4.2.3. GRANULOSIDAD

Otro factor que afecta la calidad o capacidad de distinguir pequeños detalles en una imagen, es la apariencia granular de esta. Todas las emulsiones fotográficas tienen una composición granular, como se vió en la sección 1.5.1. La granulosis limita el detalle fino de la imagen, haciéndolo menos distinguible.

A pesar que las partículas de plata después de reveladas pueden llegar a medir entre 1 a 2 μm , lo cual es muy pequeño para poder ser visualizado directamente, ya que se necesita una magnificación de x 100, o una magnificación de x3, para poder ser visualizados en forma panorámica, estas partículas de plata tienen una distribución aleatoria y por tanto existe una fluctuación estadística en el promedio de número de granos por unidad de área. Una desviación estándar específica, producto de una fluctuación de el promedio de estos granos, es lo que causa la sensación visual de granulosis.

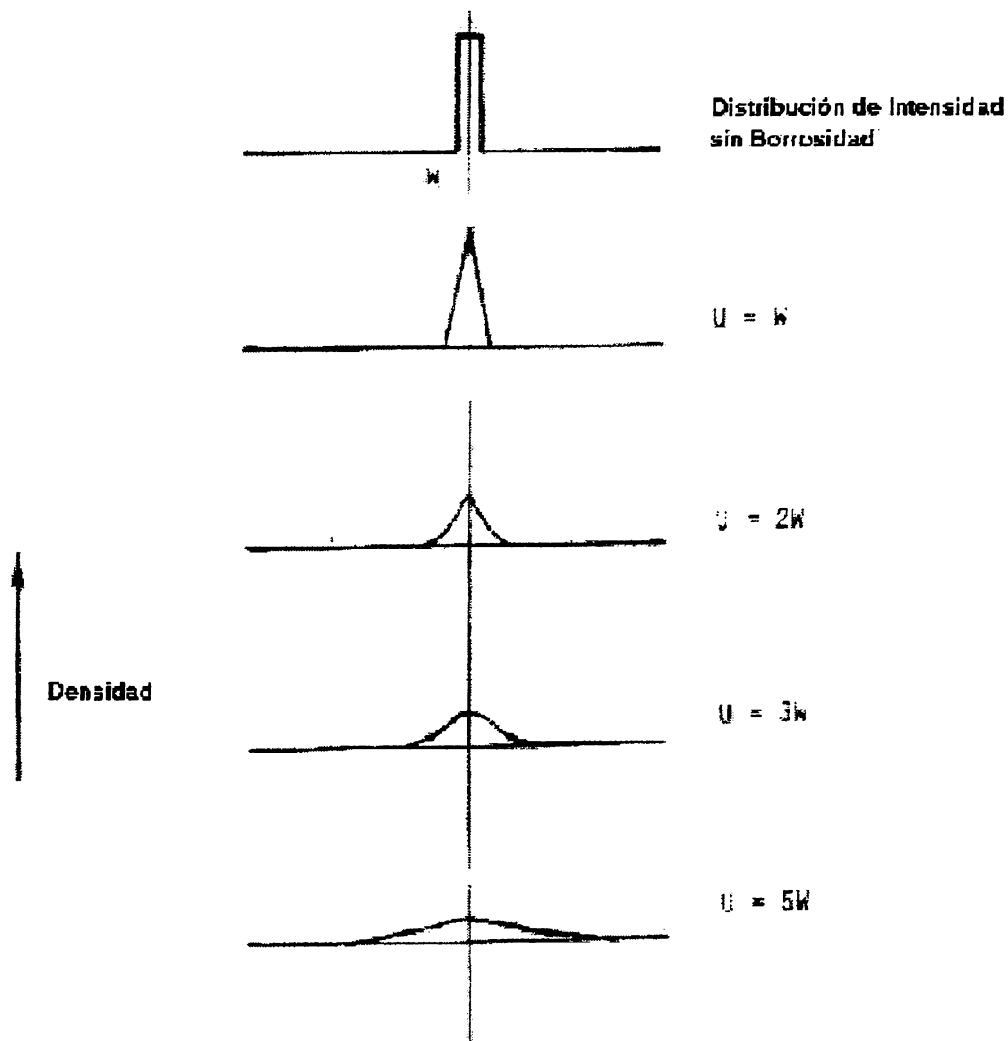


Figura 36: Efecto de borrosidad (U) en el contraste (densidad) de la imagen y el ancho de la imagen, de una tira de ancho W .

El ojo humano es capaz de distinguir un detalle entre 0.1 y 0.2 mm de espesor, con un área que cubre aproximadamente 300 partículas de plata. [20]

La granularidad se puede definir como la medición objetiva de la irregularidad de la densidad de la película.

4.2.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN

La evaluación de la calidad de imagen no es algo sencillo, pues es necesario tomar en cuenta aspectos subjetivos como lo son las preferencias del radiólogo, así como objetivos como puede ser la información diagnóstica que se persigue. Al centrarse en los aspectos objetivos, no existe un método que incluya todos los aspectos, es por eso que se han diseñado métodos para evaluar los aspectos en forma individual. A continuación se explican brevemente algunos de estos.

4.2.4.1. EVALUACIÓN DE LA BORROSIDAD

Un método objetivo y simple de medir la borrosidad consiste en calcular la desviación estándar de un número de lecturas utilizando un microdensitómetro en una película. [19]

4.2.4.2. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE RESOLUCIÓN

El criterio para su evaluación, es el determinar la capacidad que un material fotográfico presenta para mantener en la imagen revelada la individualidad de las líneas paralelas cuando el desplazamiento relativo de éstas es escaso. Cuanto menor sea el espacio entre las líneas que pueden distinguirse entre sí, mayor es el poder de resolución del sistema. Por experiencia, se ha demostrado que la resolución no constituye un criterio suficiente para determinar la calidad de la imagen, ya que en ocasiones conduce a categorías contradictorias. Esto es debido a que al comparar dos sistemas, el de mayor resolución puede al mismo tiempo presentar menor definición que el otro. Esto se debe a que el contraste, el nivel de densidad y la borrosidad, influyen en la definición y la resolución de maneras diferentes.

4.2.4.3. EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE MODULACIÓN

En este método, se relaciona la manera en que la radiación que forma la imagen se dispersa en el detector. Puede también decirse que es la medida de la capacidad del detector para reproducir fielmente un suministro de energía consistente en una serie de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias espaciales. A mayor FTM, menor borrosidad de la imagen debido a la dispersión de la luz.

A pesar de esto, la FTM no puede dar una idea de la calidad de la imagen, ya que no toma en cuenta otros aspectos que influyen en la imagen, como lo es el contraste.

En la actualidad se siguen buscando otros métodos de evaluación de la calidad de la imagen, pero no se ha logrado que incluyan todos los factores involucrados.

4.3. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE IMAGEN

En la presente sección, se expondrán los principales factores que se estima, inciden en la calidad de imagen, correspondientes a los equipos y las instalaciones, retomando información expuesta en las secciones anteriores.

4.3.1. FACTORES CONCERNIENTES A LOS EQUIPOS

4.3.1.1. FACTORES CONCERNIENTES A LOS EQUIPOS DE RAYOS X RADIOGRÁFICOS ESTACIONARIOS.

En los equipos radiográficos estacionarios, se consideran de principal incidencia, los siguientes factores:

a) NO COINCIDENCIA DE VALORES SELECCIONADOS CON VALORES REALES

Cuando el operador selecciona en el equipo valores de kVp, mA y tiempo, selecciona una técnica específica, la cual corresponde al tipo de radiografía que se obtendrá (pies, manos, tórax, etc.).

Cada uno de estos factores tienen diferentes repercusiones en la imagen, estas son:

a.1) kVp. Tal como se expuso en las secciones 1.3.4 y 1.4.3 el kVp influye en lo siguiente:

- En la calidad del haz, lo cual incide a su vez en los siguientes aspectos.
- A mayor homogeneidad (calidad) del haz, menor borrosidad.
- En el contraste. A mayor Kvp, se obtiene un contraste de escala más larga (mayor número de tonos de gris) es decir un menor contraste. (Ver sección 1.3.4)
- En la cantidad de radiación dispersa. A mayor kVp, mayor radiación dispersa y por tanto mayor densidad de velo.
- A mayor kVp, menor exposición al paciente; y viceversa. Ver sección 1.4.3.

Otro factor involucrado con el kilovoltaje, es la forma de onda de tensión. Una onda de tensión más continua, permitirá un haz de mayor calidad y cantidad.

a.2) mA.

- En la cantidad de radiación. A mayor mA, mayor cantidad de fotones presentes en el haz.
- En la borrosidad por cantidad de fotones. A mayor mA, menor borrosidad radiográfica.
- A mayor mA, mayor ennegrecimiento de la imagen, y viceversa. El contraste (relación) se mantiene.
- La cantidad de mA incide en que porción de la curva de la película se realice la exposición. Un mA menor que el adecuado produce densidad insuficiente y por tanto menor contraste.
- En forma general a mayor mA, mejor imagen en menor tiempo.

a.3) Tiempo.

- El tiempo tiene el mismo efecto que el mA, incide en la cantidad de radiación. A un mayor tiempo, mayor cantidad de radiación, para un mA dado.
- Este es determinante, según el tipo de película que se va a usar, las películas rápidas requerirán menor tiempo de exposición, un tiempo de exposición mayor al necesario producirá en la imagen un exceso de ennegrecimiento. El usar poco tiempo en películas lentas, producirá imágenes con ennegrecimiento insuficiente.
- Influye en la borrosidad producida por movimiento. Un tiempo de exposición pequeño producirá imágenes con menor movimiento. Tiempos pequeños deben utilizarse para pacientes en estado de inconciencia o gravedad, donde no puede esperarse que el paciente detenga su movimiento.

b) NO ALINEACIÓN DEL HAZ CON LA MESA (PERPENDICULARIDAD)

Como se muestra en la sección 1.3.2, la no alineación del haz con la mesa, es decir de una forma perpendicular, produce efectos de deformación del objeto.

c) NO COINCIDENCIA DEL CAMPO SELECCIONADO CON EL REAL

Si el campo seleccionado a través del colimador no coincide con el verdadero brindado por el equipo de rayos X, algunas estructuras que se encuentran en la orilla del campo seleccionado que es necesario visualizar en la imagen, podrían no aparecer en la imagen obtenida. Esto implica otra exposición, o el aumentar el campo a modo de cubrir esa estructura y otras que se

encuentren a su alrededor. Esto provoca una *mayor cantidad de radiación dispersa*, y por tanto mayor exposición para el paciente, además de una *pérdida de contraste y aumento de borrosidad* en la imagen.

d) **TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL**

Como se expuso en la sección 1.3.2, el tamaño del punto focal, es determinante en la borrosidad o definición de una imagen. El fenómeno llamado deformación geométrica, no sólo es debido al tamaño del punto focal, sino también a la distancia foco película y objeto película, como se explico en la sección mencionada. Otro factor relacionado con el foco que puede influir en la imagen, es la radiación fuera de foco (extrafocal), producida cuando los electrones del tubo chocan en otras partes que no son el punto focal. Estos son disminuidas a través de sistemas de colimación, como se explicó en la sección 1.4.

e) **USO DE REJILLA**

- El uso de la rejilla, puede disminuir la radiación dispersa (Ver sección 1.4.4), y con esto menor borrosidad para la imagen. Un uso incorrecto de esta puede producir líneas no deseadas.
- El uso de rejilla puede compensar la pérdida de contraste originado por alto kVp.

f) **FILTRACIÓN**

La filtración, expuesta en la sección 1.3.1, determina la “calidad” y “cantidad de radiación” presentes en el haz de rayos X. La filtración es utilizada para hacer el haz más homogéneo. A mayor homogeneidad, menor borrosidad.

g) **DISTANCIA FOCO PELÍCULA**

Una distancia foco película incorrecta, incide en el efecto de ampliación de la imagen.

h) **EFEECTO DE TALÓN**

Este efecto produce mayor borrosidad y menor resolución en la imagen en el lado correspondiente al ánodo, y lo contrario en el cátodo. El efecto de talón está relacionado también con el tamaño del punto focal, a menores ángulos de ánodo (foco más pequeño y mayor cantidad de disipación térmica) mayor efecto de talón.

i) **SEGURIDAD MECÁNICA**

Vista desde el punto de vista de fijeza del equipo en el momento de la exposición, es determinante, ya que un movimiento del sistema debido a movimiento de otros componentes como el bucky, inciden en la borrosidad de la imagen.

4.3.1.2. FACTORES CONCERNIENTES A LAS PROCESADORAS AUTOMÁTICAS

- a) El tiempo. La no concordancia del tiempo fijado y el obtenido, incide directamente en el contraste de la película y el nivel de velo. A mayor o menor tiempo, se da una disminución del contraste, el velo aumenta con el tiempo.
- b) La temperatura. La Temperatura de los químicos influye en igual manera en el contraste y el nivel de velo que el tiempo.
- c) Tasa de relleno. La tasa de relleno incide en el nivel de actividad que estos tengan. Una tasa de relleno baja, produce menor nivel de revelado, lo cual es similar a un tiempo de revelado menor. Un fijador demasiado usado, produce películas que pueden degradarse fácilmente durante su archivamiento.
- d) Sistema de transporte de las películas. Un sistema de transporte deteriorado puede producir daños en la superficie de la película (ralladuras), lo cual influye en la calidad final de la imagen.

4.3.2. FACTORES CONCERNIENTES A LAS INSTALACIONES

4.3.2.1. SALA DE RAYOS X

- a) El número adecuado de salas es de vital importancia para obtener imágenes de buena calidad, ya que el técnico operador del equipo cuenta con espacio de tiempo suficiente para tomar la imagen en forma correcta. Una sobrepoblación causaría estrés para el operador, así como un uso excesivo del equipo, con lo cual se deterioraría más rápidamente y con esto la calidad de la imagen obtenida. (Ver sección 2.1.4.1)
- b) Condiciones de la sala. El espacio para realizar los exámenes, la no existencia de objetos en el paso, y que los equipos tampoco se encuentren en el paso, protegen a los equipos de malos tratos y golpes innecesarios. La iluminación también es indispensable para esta situación, la

ventilación permite una mejor disipación del calor del tubo, prolongando así la vida del equipo. Ver sección 2.1.4.1.

4.3.2.2. CUARTO OSCURO

- a) Número adecuado de cuartos oscuros. Este permite no saturar de trabajo los equipos, además de una mayor concentración del operador en el revelado. Ver sección 2.2.3.
- b) Protección radiológica necesaria para no interferir con las películas vírgenes que se encuentran dentro del cuarto. Las disposiciones de almacenaje y de manejo de la película se ven en la sección 1.5.1.3.
- c) Nivel de luz de seguridad e infiltraciones de luz.
- d) Condiciones de espacio físico. Entre ellas se incluyen ventilación, espacio y temperatura. Para los literales b, c y d, ver sección 1.5.1.3

4.3.3. FACTORES CONCERNIENTES A LA PANTALLA Y LA PELÍCULA

4.3.3.1. LA PELÍCULA

- a) Uso de esta en la parte recta de la curva sensitométrica.
- b) El contraste propio de la película utilizada, influirá en la imagen resultante.
- c) Densidad de velo de la película, debido a su base.
- d) La fineza de los granulos que componen la emulsión. A mayor fineza, menor rapidez y menor borrosidad.

4.3.3.2. LA PANTALLA

- a) Tamaño de los granos de luminóforo. A mayor tamaño, mayor rapidez y mayor borrosidad.
- b) Uso de material reflectante o absorbente. El uso del material reflectante aumenta la velocidad, y la borrosidad.
- c) Grosor de la capa de luminóforo. A mayor grosor, mayor borrosidad y mayor rapidez.

4.3.3.3. COMBINACIÓN PANTALLA PELÍCULA (Ver sección 1.5.2.3)

- a) Buen contacto pantalla película, mejor imagen. Ver sección 1.5.2.5.
- b) Combinación rápida, mayor ruido radiográfico.
- c) Imagen con pantalla, siempre mayor contraste que sin pantalla.
- d) Coincidencia adecuada de espectros.

4.4. PRUEBAS PARA EVALUAR LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE IMAGEN

En la sección anterior se expusieron algunos factores que afectan la calidad de la imagen, haciendo referencia a lo explicado en los capítulos 1 y 2. Partiendo de esto, es necesario el controlar estas variables. En esta sección se presentan las pruebas utilizadas para verificar el estado de los factores establecidos en la sección 4.3.

Para producir radiografías de calidad, es esencial que las variables técnicas como el kilovoltaje, miliamperaje, tiempo de exposición y tamaño del punto focal sean precisas y reproducibles. Estas variables son influenciadas por la precisión de la calibración del generador de rayos x y por el grado de uso del generador desde la calibración. Aunque existen una serie de pruebas sofisticadas (invasivas) que realizan las compañías de servicio en países industrializados, cuando el equipo es calibrado y reparado, existe un número de pruebas simples que pueden ser usadas para rutinas de aseguramiento de la calidad en equipos de rayos X. Las pruebas aquí expuestas están encaminadas a controlar, es decir vigilar o monitorear ciertos parámetros, de una forma no invasiva, tal y como lo especifica el OIEA.

4.4.1. REPRODUCTIBILIDAD DE LA EXPOSICIÓN

Para obtener imágenes de densidad constante, un sistema de rayos X debe proveer exposiciones reproducibles en cualquier combinación de las variables técnicas utilizadas. Como una regla general, puede considerarse que un generador que provee exposiciones con un *5% de reproductibilidad, está funcionando satisfactoriamente* [19]. También es importante conocer, si las exposiciones están cambiando gradualmente como un reflejo del uso o del tiempo. Por ejemplo desviaciones en la calibración del kilovoltaje o miliamperaje.

Una prueba de reproductibilidad y estabilidad sencilla, consiste en la medición de la exposición de los rayos X en una cámara de ionización, a una técnica y distancia seleccionada. La cámara de ionización debe tener un rango entre 0 y 200 mR. Luego debe seleccionarse un nivel intermedio de kilovoltaje (80 kVp) y miliamperaje (200 mA), colocando la cámara en el centro del haz a una distancia del punto focal de unos 60 cm (24 pulgadas). Debe seleccionarse también un tiempo, de modo que la exposición sea de unos 100 mR aproximadamente. Se deben realizar 5 ó 6

exposiciones. La diferencia entre la exposición más grande y la más pequeña no debe de exceder el 10%. Además la exposición en mR/mAs a 80 kVp debería estar dentro de un 20% de 14 mR/mAs para equipo monofásico de rectificado de onda completa, y 19mR/mAs para equipo trifásico de rectificación de onda completa [21].

Si la exposición es más alta que estos rangos, la filtración del equipo podría ser inadecuada o el generador necesita calibración. De la misma forma, una exposición menor que estos rangos, podría indicar calibración inadecuada o filtración excesiva, posiblemente debida a la presencia de tungsteno en la ventana del tubo de rayos X.

4.4.2. REVISIÓN DE LA FILTRACIÓN

Para determinar si la filtración es la adecuada para un haz de rayos X, debe medirse su calidad. La capacidad de penetración de un haz de rayos X, se expresa en términos del grosor de la capa de Aluminio, que es capaz de reducir la cantidad de radiación del haz a la mitad. Capa que en inglés es llamada Half Value Layer (HVL), y en español capa hemirreductora, capa de semiatenuación (CSA) o del valor medio (CVM).

La principal razón que el HVL sea el mejor método para especificar la calidad del Rayo X, es que las variaciones de penetrabilidad con los cambios en los kVp y filtración no son relaciones sencillas. Diferentes combinaciones de filtración adicional y kVp pueden resultar en el mismo HVL para el rayo X. En radiología diagnóstica, el rango de HVL es entre 1 y 5 mm Al.

La determinación del HVL de un haz de rayos X, es un método aceptado para especificar la calidad del rayo. Para un kVp dado, la medición del HVL nos proporcionará información sobre la filtración total en el haz de rayos X.

Para esto se necesita una cámara de ionización (como la expuesta en el procedimiento anterior). Esta es colocada de nuevo a 24 pulgadas de distancia, centrada en el haz, a 80 kVp, y un nivel de mAs suficiente para obtener una exposición cercana a los 175 mR. Entonces colocar una lámina de Aluminio de alta pureza (98% aproximadamente) de 2.3 mm de espesor, entre la cámara y el tubo, haciendo una segunda exposición cuando la cámara ha sido reinicializada. El cociente de la exposición con el Aluminio colocado y la exposición sin Aluminio, debe ser mayor que 0.5. Si es menor que 0.5, entonces la filtración del haz es posiblemente insuficiente y debe ser incrementada. Si la razón es mayor que 0.75, esto indica una filtración excesiva, la cual podría ser reflejo de degradación del tubo, al depositarse tungsteno en la ventana de éste. Esto implicaría una

exposición reducida; si es aún mayor de 0.75, utilizando factores altos de exposición, entonces la calibración del kilovoltaje debe ser revisada.

4.4.3. CALIBRACIÓN DEL KILOVOLTAJE

En forma ideal, el kilovoltaje seleccionado en el panel de control, debe ser el mismo que el aplicado al tubo. Esto no siempre es cierto, pero es permitido un pequeño rango de diferencia. Así mismo, el kilovoltaje debe mantenerse dentro de un rango de igualdad, mientras se cambian otros factores como el tiempo, y principalmente el mA. Para verificarlo existen dos métodos tradicionales: Un cassette de penetración o también llamado cassette de Winsconsin, y un equipo el cual nos presenta en una pantalla, el kilovoltaje medido debido a la exposición a los rayos X. Ambos son métodos no invasivos, los cuales son los recomendados por organizaciones como la OPS, y compañías especializados en control de calidad de equipos de rayos X como RMI.

4.4.4. PRECISIÓN DEL TIEMPO

Otro parámetro importante, en el cual un generador de rayos X debe poseer características de exactitud, es el tiempo, el cual también debe ser repetible. Ya que los tiempos utilizados para la obtención de una radiografía son del orden de los mSeg generalmente, es importante su precisión. Existen actualmente diversos métodos para medir el tiempo, una forma es tomar una muestra reducida de la señal de alta tensión y aplicarla a un osciloscopio con memoria, midiéndose el tiempo directamente en la forma de onda obtenida. Otra forma es utilizando un disco giratorio de velocidad constante (generalmente 360 revoluciones por segundo), el cual tiene una ranura de modo que al exponerse a la radiación utilizando una película radiográfica, aparezca un sector ennegrecido, cuyo ángulo de barrido, es proporcional al tiempo de exposición.

Además de estas dos técnicas, existe otra forma, la cual consiste en utilizar equipo de medición especial, que al ser expuesto a la radiación presenta el dato en forma digital, y presenta una mayor exactitud que las otras formas de medición, alcanzándose precisiones de hasta 0.1 mseg.

Para los propósitos del control de calidad propuestos por el OIEA, son recomendables el segundo y tercer método, ya que son métodos no invasivos.

4.4.5. PRECISIÓN DE EL MILIAMPERIO, Y RECIPROCIDAD DEL mAs.

Antiguamente no existían formas confiables para medir la cantidad de corriente que pasa por el tubo, para esto se recomendaba realizar una exposición de 1 segundo, y ver en el medidor del equipo si el mA era similar al seleccionado. Actualmente esta puede ser medida con equipo electrónico al igual que el utilizado para medir el tiempo.

La reciprocidad del miliampersegundo, significa que la misma exposición es obtenida a un valor dado de mAs, no importando la combinación de los valores específicos del tiempo y la corriente. Esto también puede ser medido con equipo electrónico de medición.

4.4.6. TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL

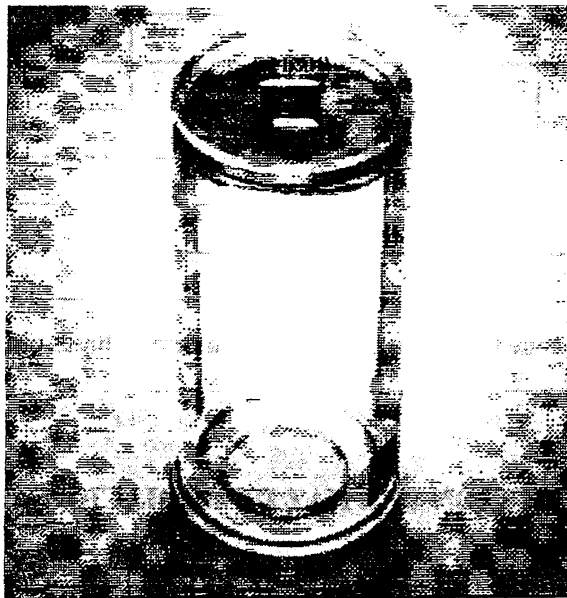


Figura 37: Dispositivo para determinar el tamaño del punto focal de un tubo de rayos X [28].

El tamaño y las características de resolución del punto focal de un tubo de rayos x podrían ser determinadas a través de métodos difíciles y que exponen al tubo a un desgaste físico, tales como la cámara de agujero o técnica de patrón de resolución. Sin embargo, estas características pueden ser verificadas con un dispositivo como el que se muestra en la figura 37. Este consiste de grupos de líneas pares (línea par significa una línea opaca a los rayos X, adyacente a una línea transparente a los mismos) de tamaño decreciente. Cada grupo contiene dos líneas pares

perpendiculares. Este dispositivo es expuesto a los rayos X, utilizando una película de grano fino (o de emulsión plana si es posible), a una distancia de 6 pulgadas con respecto a la película, y 18 “ entre el dispositivo y el tubo. Los fabricantes de estos dispositivos, brindan un patrón, similar al expuesto en la tabla 6. A través de éste, se puede determinar fácilmente el tamaño del punto focal.

Grupo de líneas pares más pequeño distinguible	Líneas pares por milímetro de grupo	Tamaño aproximado de Punto focal (mm)
1	0.84	4.3
2	1.00	3.7
3	1.19	3.1
4	1.41	2.6
5	1.68	2.2
6	2.00	1.8
7	2.38	1.5
8	2.83	1.3
9	3.36	1.1
10	4.00	0.9
11	4.76	0.8
12	5.66	0.7

Tabla 6: Relación entre tamaño de punto focal y número de líneas distinguible [27].

4.3.7. SISTEMA DE RESTRICCIÓN DEL HAZ DE RADIACIÓN

La mayoría de los colimadores de los equipos de rayos X proyectan un campo de luz sobre el paciente que coincide con el haz de rayos X, proveiendo una indicación numérica del tamaño del campo de radiación sobre la película, y marcadores luminosos que ayudan a centrar el tubo con el cassette de la película. Ya que la radiación dispersa degrada la calidad de la imagen, es esencial el tener una colimación adecuada para obtener imágenes de alta calidad. También la colimación es una influencia importante en la exposición a la radiación del paciente.

Para evaluar la operación de un colimador, existen varias formas. Una de ellas (la forma rudimentaria es utilizando 8 monedas y una cruz metálica; el campo iluminado por el colimador, es establecido a la medida de una película radiográfica (11x14 por ejemplo). Luego las monedas

son ubicadas en pares una contra otra de modo que en medio de ambas esté el límite de la colimación, la cruz se coloca en el centro del campo. Se hace una exposición sobre una película sin pantalla, de este modo se podrá verificar la no concordancia del haz.

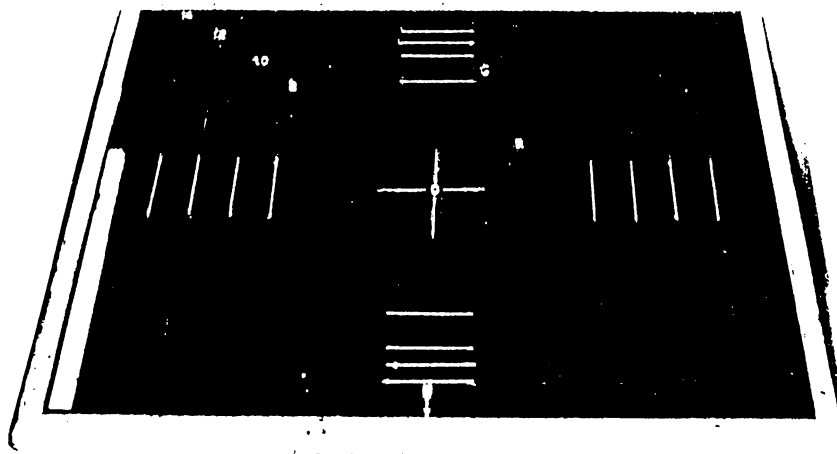


Figura 38: Cassette para la revisión de los colimadores de equipos de rayos X.

La otra forma es utilizando el dispositivo mostrado en la figura 38, el cual consiste de un cassette de 14" x 17", y tiene una serie de graduaciones que quedan impresas en la película ya que posee marcadores radioopacos. Los marcadores marcan el centro del cassette y el tamaño de campo apropiado para la película. Para la prueba del colimador, el cassette es cargado con película y el tubo de rayos x es posicionado en forma perpendicular a la mesa de rayos X y a 40 " (1 mt.) de la película. El cassette de prueba es centrado en la bandeja para el cassette y la bandeja es centrada con respecto al tubo de rayos X. El tamaño del campo de rayos X es ajustado a 11" x 14" acorde al indicador numérico en el colimador. Una tira longitudinal es colocada a través de cada lado del campo luminoso en la superficie de la mesa y la cruz es posicionada al centro del colimador sobre la mesa de rayos X. Se coloca un marcador en el cuadrante superior derecho en el campo luminoso. Con este arreglo, se realiza una exposición a 5 mAs y 60 kVp aproximadamente. Luego se debe procesar la película.

Para que un colimador presente un resultado aceptable, el tamaño del campo de radiación no debería diferir en más de $\frac{1}{4}$ " del tamaño del campo indicado en forma numérica, o del campo luminoso. Los centros del campo de radiación del cassette, y del campo de luz deberían coincidir en un rango de $\frac{1}{2}$ ". El centro de la luz deberá ser alineado a $\frac{1}{4}$ " como máximo con el centro del cassette. Un colimador que no cumpla estos criterios está fuera de ajuste y debería ser reparado.

Los colimadores deberían ser revisados al menos mensualmente en los equipos radiográficos estacionarios, y en una forma más frecuente en los móviles, debido a la forma de uso de estos.

4.4.8. INDICADOR DE DISTANCIA FOCO PELÍCULA

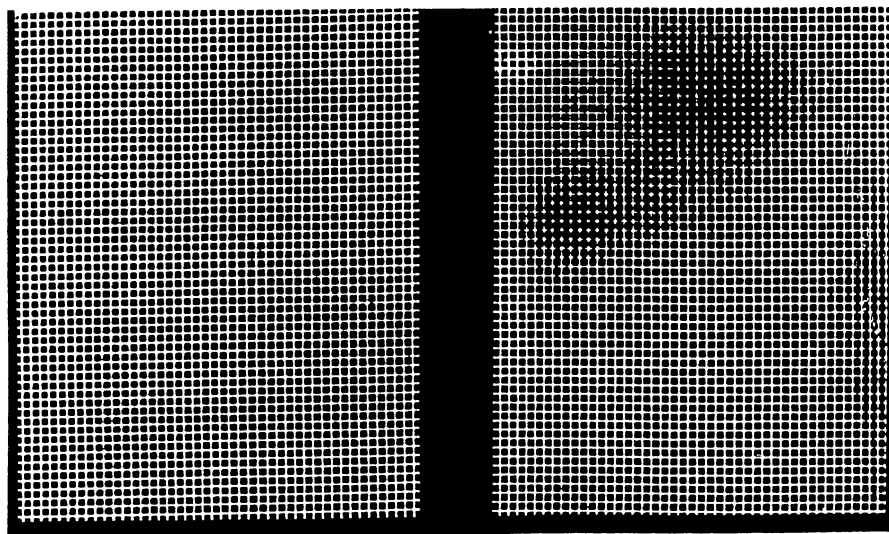
Todos los equipos radiográficos que utilizan diferentes distancias foco-película deberían tener un indicador de esta distancia. A una distancia foco-película específica, el indicador debería tener una exactitud de al menos $\frac{3}{4}$ ". Un dispositivo utilizado para revisar la distancia foco-película consiste de una placa radioopaca con dos pequeños agujeros de 7.5 cm (3"). El dispositivo de prueba es colocado a una distancia sobre la mesa (por ejemplo de 15"), y una película de exposición directa es colocada sobre la mesa. Un cassette cargado es colocado en la bandeja de cassette, y se realiza una exposición de aproximadamente 5 mAs y 60 kVp con el tubo a una distancia de 1mt (40") de la película. El cassette es removido y se realiza una segunda exposición de aproximadamente 100 mAs. Las dos películas son procesadas y la distancia entre las imágenes de los agujeros es medida en ambas películas. Si I es la distancia entre los agujeros en la película expuesta en la superficie de la mesa, e I' es la distancia entre los agujeros en la película de cassette, entonces la distancia foco película es:

$$\text{TFD} = \frac{I'b}{(I-o)}$$

Donde b es la altura de el plato de la placa de prueba sobre la mesa y o es la distancia entre agujeros en la placa de prueba.

4.4.9. CONTACTO PANTALLA PELÍCULA

Los cassettes podrían ser probados en el contacto pantalla película con una pantalla de alambre colocada entre las placas plásticas para asegurar una superficie plana. La pantalla de alambre (malla metálica) es colocada en el cassette en el lado de la superficie de la mesa. Después de una exposición de 20 a 30 mAs con un kilovoltaje entre 60 y 70 kVp, la película es procesada y examinada a una distancia de cerca de 9 pies desde el negatoscopio. Las regiones de densidad no uniforme y alambres con baja definición en la imagen son indicadores de un pobre contacto pantalla –película. En la figura 39, se muestran ejemplos de pantallas con buen y mal contacto con la película. Los cassettes que muestren mal contacto pantalla-película deben ser reemplazados.



(a)

(b)

Figura 39: Radiografías de un patrón de malla de alambre usadas para probar el buen contacto pantalla película para un cassette de rayos X. **(a)** Buen contacto pantalla película; **(b)** Mal contacto pantalla película.

4.4.10. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROCESADORA DE PELÍCULAS

Antes de iniciar un control de calidad para las procesadoras automáticas se deben verificar algunos parámetros de funcionamiento y estado, como son:

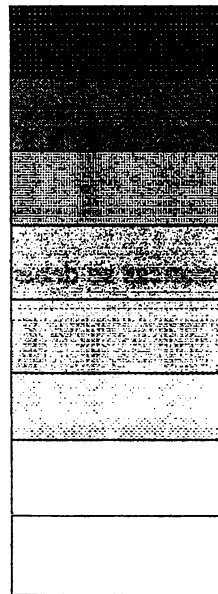
- a) El procesador debe estar limpio y contiene las soluciones químicas apropiadas las cuales son suficientemente frescas.
- b) El tiempo de inmersión de la película en varias soluciones químicas debería ser el apropiado.
- c) La presión y la temperatura del agua caliente y fría que alcanza la válvula termostática de mezcla y la presión y temperatura de salida del agua que sale de la válvula debería ser la adecuada.
- d) La temperatura de las soluciones en cada tanque de químico es la apropiada.
- e) La condición mecánica del procesador debería ser satisfactorio.

Después de cumplir estos aspectos con las recomendaciones del fabricante de los químicos y de la película, es necesario implementar un programa de vigilancia del procesador.

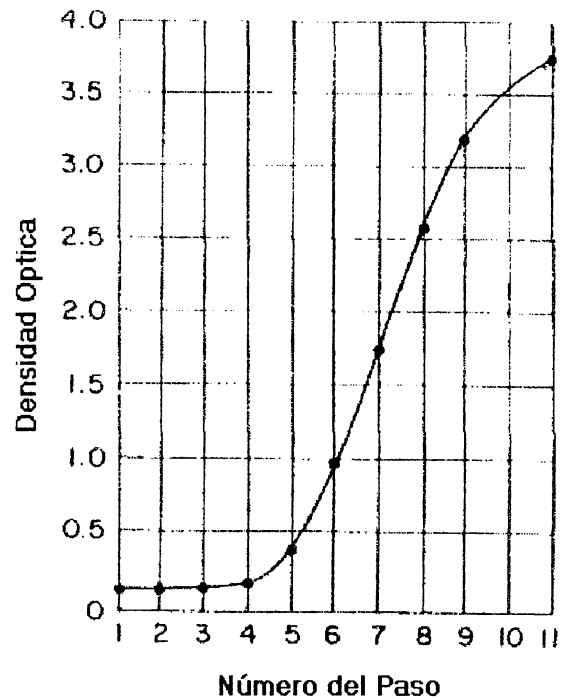
El equipo de prueba requerido para este programa es el siguiente:

Sensitómetro. Consta de una fuente estable de luz, un temporizador, un panel de difusión, una escalera de pasos óptica, y una placa a presión para proveer contacto firme de la película durante la exposición. Cuando una película es expuesta a la luz de este dispositivo, la escala óptica provee una serie de intensidades de luz, las cuales producen una imagen similar ala mostrada en la figura 40 a.

Ya que la fuente de luz estable y el temporizador realizan una exposición de la película a luz constante, cualquier variación en el grado óptico de las densidades de una película con otra, reflejan cambios en las condiciones de procesamiento o posiblemente una diferencia en la sensibilidad de la película.



(a)



(b)

Figura 40: (a) Una imagen de una escalera de pasos producida por un sensitómetro; (b) Curva característica producida por la exposición de una película de rayos X a un sensitómetro. Los índices de velocidad y el contraste son determinados a partir de las densidades de dos pasos seleccionados en la curva.

Debe realizarse en forma diaria, el exponer una película a esta prueba y debe ser examinada visualmente para detectar cambios grandes en las condiciones de procesamiento. Para un control más preciso del procesador, la comparación debe ser realizada con un densitómetro.

Densitómetro. Equipo que permite la medición de la densidad óptica de la escala de pasos de la imagen.

El observador de paro, termómetro y cilindro graduado son usados para medir el tiempo de inmersión de la película y revisar las temperaturas y tasa de rellenado de las soluciones químicas en la procesadora automática. Esas revisiones deberían ser hechas en forma rutinaria y cuando la imagen de escala de pasos indica variaciones en las condiciones de procesado. La tasa de rellenado es medida colectando revelador y fijador de relleno en el cilindro graduado por un intervalo de tiempo. La mayoría de los sistemas de relleno de las procesadoras, son basados en el tiempo para el viaje de la película de 14 x 17" a través del sistema de detección. Cuando la tasa de relleno es revisada, los niveles de las soluciones de los químicos en los tanques que contienen los químicos deben permanecer aproximadamente al mismo nivel. En muchos, pero no en todas las procesadoras, el nivel de solución en los tanques no influirá la tasa de rellenado. El tiempo de inmersión de la película en el revelador es estimado para la medición del tiempo desde que el extremo guía de una película estándar entra en el rodillo del revelador y finaliza en el momento cuando abandona el bastidor de cruce del revelador.

El termómetro debe dejarse por algunos minutos para que pueda equilibrarse con la temperatura de la solución, antes de tomar la medida de las temperaturas en los tanques que contienen los químicos. Para evitar la contaminación de soluciones, las temperaturas deben ser revisadas en el siguiente orden: revelador, fijador y enjuague.

Para reducir la influencia de variaciones en la sensibilidad de la película, se puede reservar una caja de películas exclusivamente para la vigilancia del procesador. Para obtener el dato de la línea sensitométrica de base, se selecciona una hoja de película de la caja y se exponen ambos lados en el sensitómetro. Se procesa la película y se mide la densidad óptica promedio de cada paso en la imagen de la escala para graficarse, como se muestra en la figura 40 b.

Como una rutina diaria de vigilancia del procesador se deben realizar tres mediciones de la densidad óptica. Una, es la denotada línea base de densidad de velo total, la cual debe ser hecha en una parte de la película que no ha sido expuesta a la luz. La segunda medición es obtenida en una región de la imagen de escalera de pasos, donde la densidad óptica es cercana a 1.0. Este paso es llamado índice de velocidad. La tercera medición debe ser hecha en una zona de la escalera de pasos, donde la densidad es cercana a 2.5. La diferencia de densidad de este paso y el paso de

velocidad es llamado índice de contraste. Para establecer los valores de la línea de base para esas variables, las mediciones deben realizarse en diez películas y ser promediadas. Esos valores de base de línea son los datos iniciales para una carta de control de la procesadora tal como se ilustra en la figura 41. Ya que se esperan medidas diarias para variar algo en los valores de la línea de base, los límites de tolerancia deben ser establecidos para cada valor. Las mediciones realizadas a diario no deben estar fuera de los límites de tolerancia. Los límites de tolerancia razonables no son mayor que 0.2 de densidad para el nivel de densidad de velo y ± 0.2 de variación en la velocidad y el contraste. Estos límites de tolerancia son graficados en la figura 41 como líneas de puntos en la carta de control del procesador.

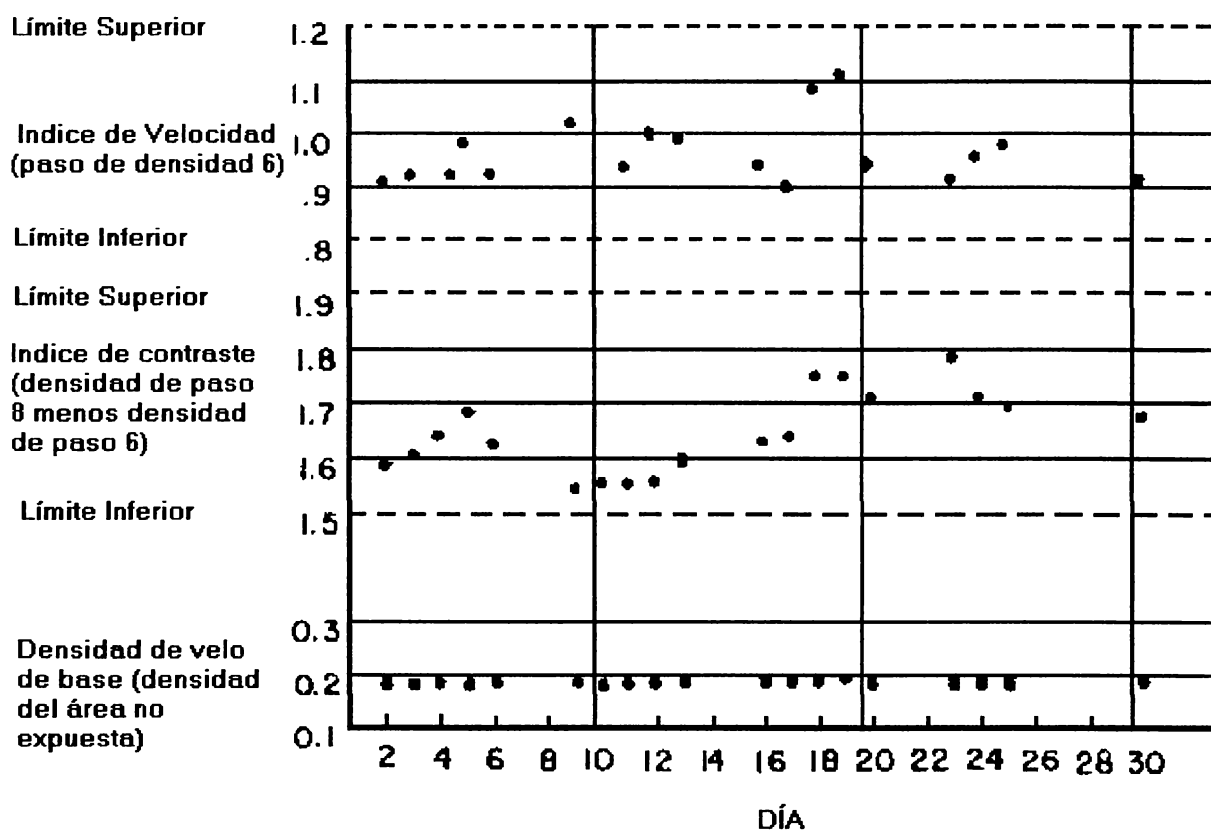


Figura 41: Carta de control sensitométrico para un programa de monitoreo de un procesador. Las líneas punteadas indican límites aceptables de variación.

Cada día debe obtenerse una imagen sensitométrica, y medir la densidad de la línea de densidad de velo, de velocidad y de contraste, para ser graficada en la carga de control. En la medida que las

mediciones se encuentren en el rango de los valores límites, se puede asumir que el procesador funciona adecuadamente. Si las mediciones caen fuera del rango de tolerancia, debería repetirse la medición en una segunda película sensitométrica. Si la segunda medición también cae fuera del rango de tolerancia, entonces se deben revisar la temperatura del procesador, tiempo de inmersión, tasa de relleno, para aislar el problema e iniciar las acciones correctivas. Por otro lado, podría ser de gran ayuda la medición de la temperatura, tiempo de inmersión y tasa de relleno en forma semanal, y registrar esos valores en la carta de control del procesador. Cualquier servicio como limpieza, cambio de químicos también debería ser registrado en la carta.

Cuando la caja de película reservada para vigilar el procesador está casi vacía, se debe seleccionar otra caja de películas y hacer la prueba sensitométrica a algunas de las películas de la nueva caja, para asegurarse que el nivel base de velo, la velocidad y el contraste tienen valores similares a los medidos en la caja anterior. Si existen diferencias, entonces se debe establecer una nueva línea de base de densidad de velo.

Otro aspecto importante en el control del procesador es la limpieza del procesador de películas. Aún en procesadores adecuadamente ventilados y operados, se dan las emanaciones químicas acumuladas y formación de depósitos químicos en los rodillos y guías cruce. Para mantener la limpieza del procesador, se debe realizar una limpieza de los bastidores de cruce en forma diaria (como se indica en la sección 2.2.2), los bastidores de los químicos, deben limpiarse semanalmente y el depósito en los tanques debería ser limpiado en cada cambio de las soluciones de los químicos, lo cual es generalmente una vez al mes. Los filtros de agua deben ser cambiados cuando la presión de agua cae a 30 psi en el lado del procesador de los filtros. El tanque de almacenamiento del relleno también debe ser limpiado periódicamente para eliminar la creación de depósitos. La limpieza de los bastidores y tanques, usualmente se realiza con un cepillo plástico y un limpiador apropiado. Durante la limpieza, es esencial que las soluciones no se derramen fuera.

4.4.11. CONDICIONES DE CUARTO OSCURO

Además de cumplir las recomendaciones de la sección 1.5.1.3, el cuarto oscuro debe cumplir con ciertas condiciones que aseguren la calidad.

El cuarto oscuro debe ser adecuadamente iluminado para prevenir velo en la película que conduzca a una reducción en el contraste de la imagen. Iluminación adecuada no significa completa

oscuridad, las paredes y techo pueden ser pintados con colores claros. Para asegurar que la luz emitida en el cuarto oscuro no velará la película, la luz de seguridad debe ser proporcionada con un filtro de luz adecuado, el cual debe ser recomendado por el fabricante de la película. También la distancia propia entre la luz de seguridad y el área de trabajo para la película debe ser la apropiada. Para la mayoría de las películas médicas, una luz de seguridad con filtro Wratten 6B con un bulbo de 7 ½ Watts a 48 pulgadas sobre la superficie de trabajo es la adecuada. Las películas sensibles al verde usadas con pantallas de ciertas tierras raras requieren de diferentes condiciones de seguridad.

La adecuada iluminación debe ser revisada con pruebas simples. Con todas las luces (incluyendo las de seguridad) apagadas en el cuarto oscuro y con los ojos adaptados para esa oscuridad (aproximadamente 10 minutos), no deben haber entradas de luz detectables en ningún lado del cuarto. Areas especialmente vulnerables para la fuga de luz incluyen el alimentador de películas en la procesadora, cortes en la pared junto a la procesadora y puertas. Cualquier fuga visible de luz debe ser corregida.

Después que se han revisado las fugas de luz, se deben revisar los niveles de iluminación en el cuarto oscuro. Aún las mejores luces de seguridad pueden velar una película si esta es usada en forma inapropiada (por ejemplo bombillos de potencia mayor, o distancias menores a las recomendadas). Los filtros de las luces de seguridad, con mucho tiempo de uso o descoloridos también pueden producir velo perceptible en las radiografías. Bajo la categoría de luces de cuarto oscuro “no seguras” son aquellas fuentes de velo tales como luces indicadores en equipo de cuarto oscuro, luz de fuga en cassettes deteriorados y luz emitida por relojes con pantalla luminosa, relojes de pulsera, y otras fuentes.

Un método de prueba de la luz de velo en la película de rayos x es para exponer una película con una cuña de pasos a los rayos X y entonces exponer la mitad de cada paso a las condiciones normales de el cuarto por un par de minutos. Al realiza esta prueba , la película debe ser tomada de una caja nueva de película y cargada en el cassette con todas las luces de seguridad y los indicadores apagados en el cuarto oscuro y todas las otras fuentes de luz, tales como las pantallas luminosas, cubiertas con material opaco. La imagen de la cuña de pasos podría ser evaluada visualmente o con un densitómetro. Para una comparación visual, no debe de haber diferencia detectable entre las mitades de la imagen de la escalera de pasos. Para una evaluación densitométrica, las mitades de la imagen no deben variar en densidad óptica en más de 0.05.

5. NORMAS SELECCIONADAS Y ENTIDADES QUE LAS FORMULAN

La normalización a nivel internacional en el área de los rayos X, está regida principalmente por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Algunas de las funciones que son dictadas por sus estatutos son las siguientes:

- Establecimiento de Estándares,
- Favorecer los intercambios de información científica,
- Incentivar y brindar soporte a la investigación y desarrollando trabajo,
- Ejecutar servicios,
- Proveer cooperación y asistencia técnica, y promover el entrenamiento.

El establecimiento de estándares se realiza en colaboración con organismos especializados en la materia específica, y son dirigidos hacia la seguridad para la protección de la salud y minimización del peligro para la vida, incluyendo algunos estándares para condiciones de trabajo.

El principal documento de seguridad contra las radiaciones es titulado “Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación”. Estas normas han sido elaboradas en conjunto con la FAO (Food and Agriculture Organization), ILO (International Labour Organization), NEA (Nuclear Energy Agency), la OPS (Organización Panamericana para la Salud) y la OMS (Organización Mundial para al Salud). Las normas están basadas en recomendaciones de la comisión internacional de protección radiológica (ICRP), y están destinadas para el uso apropiado por parte de las autoridades competentes en los estados miembros de las organizaciones que las elaboraron.

[23]

Actualmente la Unidad Nacional Reguladora y Autorizante sobre el uso de energía ionizante, la cual es la autoridad a nivel nacional en El Salvador sobre esta materia, está tomando como base estas normas básicas, las cuales son clasificadas por el OIEA como Serie seguridad, colección No.

115.

En estas normas se establece lo siguiente:

1. Uno de los requisitos de protección radiológica es establecer programas de garantía de calidad (2.29).
2. Para las exposiciones médicas, los programas de garantía de calidad deberán incluir (II.23): Mediciones de los parámetros físicos de los generadores de radiación, los dispositivos de formación de imágenes y las instalaciones de irradiación en el momento de su puesta en servicio y periódicamente en lo sucesivo; entre otros.
3. Los titulares registrados, así como los titulares licenciados, deberán establecer un amplio programa de garantía de calidad en las exposiciones médicas, teniendo en cuenta los principios establecidos por los siguientes documentos:
 - a. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Quality assurance in diagnostic Radiology, OMS, Ginebra, 1982.
 - b. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Quality Assurance in Nuclear Medicine, OMS, Ginebra, 1982.
 - c. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Quality assurance in radiotherapy, OMS, Ginebra, 1988.
 - d. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Publicación Científica No. 499, Control de calidad en Radioterapia: Aspectos clínicos y físicos, OPS, Washington, DC (1986).

[22]

El primero de estos documentos, es el que compete al tema del que trata el presente documento. Este establece que los programas de garantía de la calidad, diseñados para asegurar que el equipo radiológico pueda dar la información deseada incluyen técnicas de inspección de la calidad y procedimientos de administración de la calidad [23]. Las técnicas de inspección de la calidad se utilizaban para evaluar los componentes del sistema con la finalidad de asegurarse que el equipo funcionaba satisfactoriamente. El término técnico de inspección de la calidad ya no es utilizado con este fin, ahora es llamado control de calidad, y sigue siendo parte del programa de garantía de la calidad. En este documento se especifican las pruebas que deben realizarse a los equipos radiográficos, así como los valores permitidos. Ya que este documento fue hecho hace casi 15

años, se ha buscado otra literatura, con la finalidad de establecer niveles permisibles más actualizados.

Por sugerencia de un empleado del OIEA, se ha consultado el protocolo español de control de calidad, el cual ha sido elaborado por la Secretaria Española de Física Médica y la Sociedad Española de Protección radiológica; el cual constituye una serie de recomendaciones acerca de los procedimientos y las tolerancias permitidas en el control de calidad de radiodiagnóstico.

Además se han escogido las normas mexicanas, las cuales han sido elaboradas por la Secretaría Nacional de la Salud. La razón para incluir estas normas, es porque pertenecen a una realidad un poco más cercana a la de El Salvador, que la de Estados Unidos. Estas normas han sido de reciente publicación (Entraron en vigencia en Diciembre de 1997).

5.1. ENTIDADES PARTICIPANTES

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA)

Fue creado en 1957. Su estatuto le asigna el objetivo de procurar acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero. Una de sus funciones es establecer o adoptar en consulta y cuando proceda, en colaboración con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados interesados, normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad (inclusive normas de seguridad sobre las condiciones de trabajo) y proveer la aplicación de estas normas a sus propias operaciones, así como a las operaciones en las que se utilicen los materiales, servicios, equipo, instalaciones e información suministrados por el Organismo, o a su petición su control o dirección; y proveer a la aplicación de estas normas, a petición de las partes, a las operaciones que se efectúen en virtud de cualquier arreglo bilateral o multilateral, o a petición de un estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía atómica”.

[22]

SECRETARÍA DE SALUD (SSA)

La secretaría de salud de México es la encargada de coordinar el sistema de salud de ese país, así como de evaluar la prestación de los servicios en todo el país en esta materia. Parte de sus funciones es dictar las normas oficiales mexicanas en este rubro, así como la coordinación, y verificación de su cumplimiento. Además es la encargada de analizar las disposiciones legales en

materia de salud, y la responsable de formular propuestas de reformas o adiciones a las mismas, cuando así lo estime conveniente.

SEFM/SEPR

La Sociedad Española de Física Médica, es una asociación que agrupa a Doctores y Licenciados en Ciencias Físicas y, excepcionalmente, a otras personas o entidades cuya actividad profesional o investigadora, a juicio de la Junta de Gobierno, esté relacionada con la Física aplicada a la Medicina.

Son fines esenciales de la Sociedad:

- a. Crear y fomentar el desarrollo de la Especialidad.
- b. Creación y promoción de puestos de trabajo en el ámbito de la Especialidad en el Estado Español.
- c. Prestar ayuda a sus asociados en los problemas científicos y profesionales que puedan plantear.
- d. Fomentar y mantener la unión, conocimiento y asistencia mutua entre socios.
- e. Organizar cursos, congresos y coloquios de carácter nacional e internacional, sobre temas que cubran aspectos científicos y técnicos, relacionados con la Física Médica.
- f. Contribuir a la representación española en las asociaciones o fundaciones internacionales, relacionadas directamente con la Física Médica.
- g. Establecer grupos de trabajo para la realización de tareas sobre temas de carácter científico, profesional o docente, dentro del ámbito de la Física Médica.
- h. Cooperar con centros hospitalarios, de investigación, enseñanza u otras entidades relacionadas con la Física Médica.
- i. Divulgar por medio de publicaciones, periódicos, memorias científicas y notas técnicas, noticias referentes a aspectos diversos de la Física Médica
- j. Facilitar asesoramiento a organismos, entidades y personas que así lo requieran de la SEFM.

El Documento que ha sido utilizado en esta investigación, titulado “Protocolo Español de Control de Calidad” ha sido editado por la sociedad española de Física Médica, y la Sociedad Española de Protección Radiológica, y constituye una recomendación para los establecimientos que cuentan con radiodiagnóstico.

5.2. PROCEDIMIENTOS SUGERIDOS

Los procedimientos sugeridos a continuación, se han hecho con base en los aspectos, tolerancia de los mismos y equipos indicados por las normas mexicanas establecidas por la SSA, y las tolerancias se han complementado con las proporcionadas por la SEFM. Se comenzará con las que se refieren al cuarto oscuro y la procesadora radiográfica, ya que es por donde debe comenzar el control de calidad de los equipos e instalaciones en un departamento de radiodiagnóstico.

NOTA: En algunos equipos las especificaciones del fabricante acerca de los parámetros a evaluar en estos procedimientos, no cumplen con el criterio establecido. Cuando un equipo no cumpla con este criterio, verifique que no es debido a una limitación de fábrica en el manual de servicio del equipo (rayos X y procesadora). Si los límites del fabricante cumplen con el criterio escriba como recomendación en el formato calibración en el equipo; si no cumplen, escriba en observaciones los límites de tolerancia dados por el fabricante.

5.2.1. TEMPERATURA DE LAS SOLUCIONES QUÍMICAS

Equipo:

- Termómetro (de inmersión, de alcohol, o digital; no debe ser de mercurio)

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar (cuando aplique) solicitados. Recorra al manual de servicio del equipo cuando sea necesario.
- b) Destape la procesadora automática, cuando esta ha trabajado al menos 2 horas. Establezca esta hora como un estándar para la medición diaria, anote esta hora en la casilla respectiva.
- c) Introduzca el termómetro en el líquido revelador, manteniendo la porción sensora del primero éste un tiempo prudente hasta que vea que el valor es estable (unos 15 segundos para el termómetro digital) y anótelo en el formato correspondiente; realice el mismo procedimiento para el líquido fijador. De preferencia cierre la procesadora durante el tiempo de medición. Compáre los valores medidos con los tiempos establecidos por el fabricante, y anote esta diferencia en el formato (Vea el criterio de aceptación sugerido en tabla No. 17).

PRECAUCIÓN: El orden en que debe ser introducido el termómetro siempre debe ser revelador, fijador. Nunca en orden inverso. Además después de introducirlo en el revelador, límpielo con agua y séquelo con un trapo, a modo de eliminar los residuos del químico.

- d) Grafique estos datos en papel milimetrado o cuadriculado, y anexo al formato utilizado.
- e) Esta prueba deberá realizarse diariamente, y aproximadamente 1 hora después de un cambio de químicos. La hora recomendada es a las 11:00 AM, para las procesadoras que comienzan a funcionar desde la mañana, y 3:00 PM para los de la tarde. La fecha en que ha sido realizado el cambio de químicos debe anotarse en la casilla de observaciones.
- f) Además observe diariamente la posible presencia de manchas o marcas en forma continua en las películas expuestas y reveladas. Notifique su presencia para determinar las causas.

NOTA: El formato en uso, siempre debe encontrarse junto a la procesadora.

5.2.2. CONDICIONES DE CUARTO OSCURO (LUZ DE SEGURIDAD)

Materiales y equipo:

- Cassette
- Cronómetro
- Cuña sensitométrica o sensitómetro
- Densitómetro
- Película radiográfica
- Procesadora radiográfica

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Entre al cuarto oscuro, apague la luz normal y encienda la luz de seguridad. Tome una película virgen (no expuesta), e introdúzcala en el sensitómetro para realizar una exposición en la película con éste. Este procedimiento debe ser realizado lo más rápido posible (aproximadamente 10 segundos), de modo que se exponga la película lo menos posible a la luz de seguridad.
- c) Révelela, y mida con un densitómetro la densidad óptica de cada paso. Anote la densidad medida en el formato, en la fila correspondiente a densidad sin velo.
- d) Realice el paso a, con otra película que provenga del mismo lote (caja).

- e) Coloque la película sobre la mesa de trabajo, o en algún lugar donde esté expuesta a la luz de seguridad durante 1 minuto, a un metro de distancia de esta.
- f) Revele la película, y mida la densidad óptica de cada paso, anotándola en el formato en el espacio de densidad con velo. Compare entonces las lecturas de la primera película con la segunda. Realice una resta entre ambas, y anote el valor absoluto en la fila de diferencia. Las diferencia de las densidades debe cumplir con el criterio sugerido en la tabla No. 17.
- g) Esta prueba debe realizarse *una vez por año*, o cuando existan cambios en la luz de seguridad.
NOTA: Es de primordial importancia que la forma y el tiempo en que se hace el paso a, para ambas películas sea casi el mismo.

5.2.3. MEDICIÓN DE EXACTITUD DEL KILOVOLTAJE

Equipo a utilizar:

- Equipo para medir la exactitud del kilovoltaje. Para este caso, Victoreen 4000M+ o RMI 240A.

El procedimiento para la medición de la exactitud del kilovoltaje es el siguiente:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Coloque el instrumento de medición bajo el haz de rayos X, de modo que el haz colimado cubra sólo el área de medida del equipo.
- c) Encienda el equipo de medición y seleccione en el equipo de rayos X el menor kV especificado por el fabricante para este, y anote este valor en el formato. Verifique para el equipo de medición que los rangos de voltaje a medir estén dentro de los permitidos para éste (50 a 165 kV para el RMI y 27 a 155 kV para Victoreen), y asegúrese que se encuentre en las condiciones hacerlo (cambiar filtro en Victoreen).
- d) Seleccione en el equipo de medición el modo de operación (para el Victoreen, modo radiográfico, todos (all), filtro de acuerdo al kilovoltaje a medir; para el RMI realice dos exposiciones consecutivas, en la primera lea la forma de onda del equipo, y en la segunda seleccione kV, y registre los datos pico y efectivo). *NOTA: Antes de cada exposición, verifique que el voltaje de alimentación del equipo de rayos x es el adecuado.*

- e) Anote en el formato el kilovoltaje mostrado por el equipo de medición (promedio, efectivo y máximo para Victoreen, pico y efectivo para RMI).
- f) Incremente el kVp del equipo de rayos X en 20. Regrese al paso d, hasta que haya llegado al máximo kV para el equipo de rayos X.
- g) Determine el porcentaje de error de la siguiente forma, de modo que cumpla el requisito especificado:

$$\frac{|\text{Valor nominal} - \text{Valor medido}|}{\text{Valor nominal}}$$

Donde el valor medido corresponde al promedio de los picos medido, que en el equipo se identifica como promedio en el Victoreen, y pico en el RMI.

- h) Si no cumple con este requisito, anote en recomendaciones una calibración del equipo. Esta prueba debe realizarse por lo menos *una vez por año, y después de cualquier reparación* que pudiera alterar su valor.

5.2.4. PRUEBA DE PUNTO FOCAL

El equipo a utilizar es el siguiente:

- Cassette de exposición directa
- Dos pantallas de plomo
- Medidor de tamaño de punto focal (en este caso RMI 112B)
- Nivel
- Película radiográfica de exposición directa (en este caso película dental del tipo oclusal)
- Procesadora radiográfica automática (o manual si la automática no permite este tamaño de película)

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Escriba la distancia foco película a utilizar (para este caso 61 cm).
- c) Tomando como base el tamaño nominal de los puntos focales, busque en la tabla 7 los valores permisibles en lo largo y lo ancho (largo corresponde al eje paralelo ánodo/cátodo, ancho es el perpendicular a éste).

- d) Coloque bajo el haz de radiación, sobre la mesa radiográfica, en orden ascendente los siguientes instrumentos:
- Pantalla de plomo (para este caso incluida en la película)
 - Película radiográfica dentro del cassette (en este caso sin cassette)
 - Dispositivo de medición de punto focal

NOTA: Asegúrese que la pantalla no produzca desnivel en la película o en el dispositivo de medición. Para esto utilice de preferencia un nivel de tipo circular.

- e) Colime el haz, de modo que solo cubra el círculo del dispositivo de medición de foco en forma interna.
- f) Seleccione el foco fino, y realice una exposición a una tensión de 80 kVp y 10 mAs, utilizando la corriente de tubo que según el equipo corresponde al foco fino.
- g) Revele la imagen, luego proceda a determinar el tamaño del punto focal, según la tabla brindada por RMI []. Para el largo cuente el número de grupos en los que usted puede distinguir claramente que sus líneas internas (perpendiculares al eje ánodo cátodo) están separadas; anote en el formato este número, y utilícelo para determinar el largo, según la tabla RMI, escriba este tamaño (mm) en el formato. Para el ancho, determine el grupo en el cual aún las líneas paralelas al eje ánodo cátodo están claramente separadas. Realice el mismo procedimiento para determinar el largo. Escriba los datos correspondientes en el formato.

NOTA: Utilice un lente de aumento para visualizar en la película la separación de las líneas.

- h) A partir del valor medido, determine cual es el rango indicado por la tabla 7, y verifique que éste se encuentre dentro del rango. Si no lo está, realice otra exposición y realice el procedimiento anteriormente descrito. Si aún así no cumple, anote en sus recomendaciones el cambio del tubo.
- i) Realice este procedimiento para el foco grueso, utilizando siempre 80 kV y 10 mAs, de modo que se utilice la corriente de tubo para la cual según el equipo se utiliza este foco.

NOTAS:

Para revelar la película, si se utiliza una procesadora automática, esta debe haber sido certificada mediante control de calidad como de adecuado funcionamiento. Así mismo se debe realizar en un cuarto oscuro que cumpla con lo especificado en la prueba 5.2.1.

Ambas mediciones (punto focal pequeño y grande) pueden hacerse en la misma película. Para esto cubra con una pantalla de plomo la mitad de la película que no será expuesta en la primera medición. Luego cambie el punto focal, y cubra la mitad expuesta de la película,

descubriendo la no expuesta, y utilizando ésta para la segunda medición. Luego proceda a efectuar el paso g.

5.2.5. MEDICIÓN DE EXACTITUD DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Equipo a utilizar:

- Medidor de tiempo de exposición (en este caso RMI 240A)

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Coloque el equipo de medición, bajo el haz de rayos X, a un metro de distancia del punto focal. El haz debe ser colimado exactamente en el rectángulo marcado con una cruz sobre el equipo.
- c) Encienda el equipo de medición, y seleccione una técnica en la cual obtenga 10 mAs y 80 kVp, para poder inicializar el equipo. Realice dos exposiciones consecutivas. *PRECAUCIÓN: El uso de algunas técnicas podría dañar el tubo, cerciórese que la combinación seleccionada no lo haga, además espere un tiempo prudencial (por ejemplo 5 minutos) entre exposición y exposición.*
- d) Luego realice mediciones para otras técnicas, manteniendo fija una corriente de 100 mA y 80 kV de modo que se evalúen al menos los siguientes tiempos de exposición: 0.0166 seg (1/60 seg), 0.1 seg (1/10) y 1.0 seg (Siempre tome en cuenta la precaución descrita en el paso b). Para poder visualizarlas, presione el botón de tiempo en el equipo de medición. *NOTA: En algunos equipos, la exactitud del tiempo de exposición está dada en pulsos para tiempos pequeños, el RMI permite medir el tiempo de ambas formas.*
- e) Anote los resultados en el formato de tiempo.
- f) Verifique que la diferencia del tiempo seleccionado y el tiempo real, cumple con el criterio recomendado, mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{|\text{Valor nominal} - \text{Valor medido}|}{\text{Valor nominal}}$$

- g) Si no se cumple esta condición, escriba como recomendación calibración del equipo.

- h) Esta prueba debe ser realizada por lo menos una vez por año, y después de cualquier reparación del equipo de rayos X.

5.2.6. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO (RECIPROCIDAD DEL mAs)

Equipo a utilizar:

- Equipo de medición de dosis de exposición (en este caso Victoreen 4000 M+).
- Placa de Plomo (en este caso no es necesaria)

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Coloque la placa de plomo sobre la mesa radiográfica, y el equipo sobre la placa, entre el tubo de rayos X y la placa de plomo. La superficie superior externa del equipo de medición debe estar a una distancia de un metro del punto focal del tubo, y dentro del haz colimado del equipo de rayos X, de modo que al equipo de medición.
- c) Encienda el 4000 M+, coloque el interruptor EXP/ALL en la posición ALL, y espere aproximadamente 5 minutos para su estabilización a la temperatura del cuarto.
- a) Seleccione la posición RADIO en el interruptor RADIO/FLUORO, la posición EXP en el interruptor EXP/ALL; y en el equipo de rayos X, 80 kVp, un tiempo fijo (por ejemplo 0.1 segundos).
- b) Seleccione el menor valor de corriente en el equipo de rayos X, y realice una exposición para este miliamperaje, manteniendo los demás parámetros fijos. Anote los valores en el formato correspondiente.
- c) Incremente el valor de mA al siguiente inmediato (asegúrese que el medidor del equipo de rayos X indica que el kilovoltaje se mantiene constante). Si la escala de mA es continua, seleccione un valor que difiera del anterior en un factor menor que 2.0, y realice una exposición para este valor. Mantenga siempre los demás factores constantes.
- d) Siga realizando el paso d, hasta llegar a la máxima escala del equipo de rayos X, o hasta que este se lo permita (no se active la autoprotección del equipo). Asegúrese que el valor se encuentre en los rangos establecidos por el criterio sugerido (ver capítulo 10).

- e) Si el equipo no cumple estos valores, anote como recomendación en el formato una calibración del equipo. Esta prueba debe realizarse cuando menos una vez por año.

NOTA: Esta prueba puede hacerse tomando los datos de la constancia de rendimiento, cuando tengan que realizarse las dos.

5.2.7. CONSTANCIA DE RENDIMIENTO

Equipo a utilizar:

- Equipo de medición de dosis de exposición (en este caso Victoreen 4000 M+).
- Placa de Plomo

Procedimiento:

- a) Realice los pasos a, b y c, indicados en procedimiento 5.2.6.
- b) Seleccione la posición RADIO en el interruptor RADIO/FLUORO, la posición EXP en el interruptor EXP/ALL; y en el equipo de rayos X, 80 kVp, un tiempo fijo (por ejemplo 0.1 segundos).
- c) Seleccione el menor valor de corriente en el equipo de rayos X, y realice una exposición para este miliamperaje, manteniendo los demás parámetros fijos. Anote los valores en el formato correspondiente.
- d) Incremente el valor de mA al siguiente inmediato (asegúrese que el medidor del equipo de rayos X indica que el kilovoltaje se mantiene constante). Si la escala de mA es continua, seleccione un valor que difiera del anterior en un factor menor que 2.0, y realice una exposición para este valor. Mantenga siempre los demás factores constantes.
- e) Siga realizando el paso d, hasta llegar a la máxima escala del equipo de rayos X, o hasta que este se lo permita (no se active la autoprotección del equipo). Luego repita nueve veces más los pasos c, d y e. Todas estas mediciones deben realizarse en el lapso de una hora.

PRECAUCIÓN: El uso de algunas técnicas podría dañar el tubo, cerciórese que la combinación seleccionada no lo haga, además espere un tiempo prudencial (por ejemplo 6 minutos) entre la repetición de las diez series de exposiciones.

- f) Calcule la desviación estándar de las diez mediciones realizadas para cada valor de mA, con la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - X)^2}{N-1}} \quad N \leq 30$$

Donde: N es el número de muestras tomadas (para nuestro caso 10)

X_i es el valor de la muestra (medición realizada)

X es la media aritmética

- g) Escriba sus observaciones y recomendaciones en el formato. La desviación estándar resultante (σ) debe cumplir con el criterio sugerido en la tabla No. 17. Si esto no es así, recomiende la revisión y calibración de los sistemas de compensación en el generador de rayos X.
- h) Esta prueba debe realizarse por lo menos una vez por año.

5.2.8. COINCIDENCIA DE CENTROS Y DE CAMPO DE RADIACIÓN (SISTEMA DE RESTRICCIÓN DEL HAZ DE RADIACIÓN)

Material y Equipo:

- Cassette.
- Dispositivo para medir la coincidencia de los centros y los campos iluminado e irradiado. (En este caso, RMI 161B).
- Película radiográfica.
- Procesadora radiográfica.
- Regla o cinta métrica.

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Coloque la película radiográfica sobre la mesa radiográfica, y sobre esta coloque el dispositivo de evaluación. La distancia foco película será de un metro.

- c) Ajuste la colimación del haz de luz, con el del dispositivo de prueba, y así mismo con la película. Asegúrese que el tamaño del campo no sea menor que el tamaño de la película, y que el dispositivo de prueba esté alineado con la película.
- d) Seleccione una técnica usualmente utilizada (por ejemplo 80 kVp, 100 mAs), y realice una exposición.
- e) Revele la película, y mida la coincidencia de cada lado del campo luminoso con el de rayos X. (ver figura No. 42). La distancia medida entre cada lado del campo luminoso y el del haz de rayos X no debe ser mayor en ningún momento que lo recomendado en ES-99. Anote estas distancias en el formato.
- f) Sume cada una de las diferencias, esta debe cumplir con lo especificado en ES-99 (Tabla No. 17).
- g) Mida la distancia entre el centro del campo luminoso y el de rayos X. Verifique si es permitido por la ES-99 (Tabla No. 17)

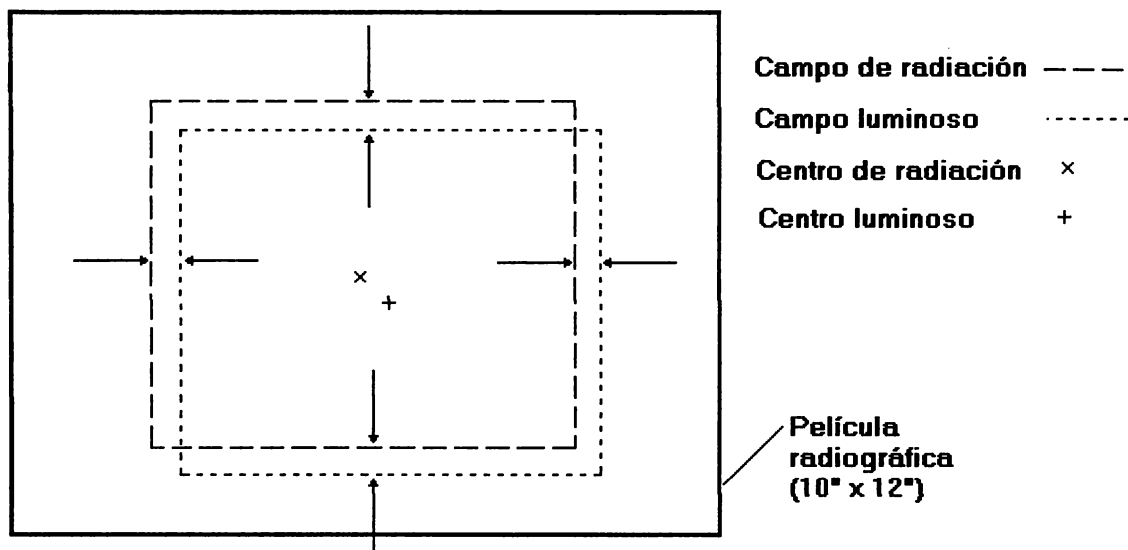


Figura No. 42: Medición de coincidencia de campos y centros de radiación y luminoso.

- h) Registre los datos y sus correspondientes observaciones y recomendaciones en el formato correspondiente. Esta prueba debe ser realizada por lo menos una vez por año, y cada vez que el sistema de limitación de haz útil sea sometido a trabajos de mantenimiento.

5.2.9. PRUEBA DE CONTACTO PANTALLA PELÍCULA

Equipo y material:

- Cassette con Pantalla del tamaño de la película radiográfica.
- Dispositivo de evaluación de contacto pantalla-película
- Película radiográfica de exposición con pantalla
- Procesadora radiográfica.

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Coloque dentro de un cassette con pantalla, la película radiográfica, y el dispositivo de evaluación, asegurándose que el dispositivo se encuentre entre el tubo y la película.
- c) Realice una exposición con factores comúnmente utilizados (por ejemplo 80 kV 100 mAs).
- d) Revele la película, y colóquela sobre un negatoscopio. Observe si existen manchas que indiquen falta de contacto.
- e) Si existen, mídalas y verifique que no tengan dimensiones mayores a las especificadas por ES-99. Si no se cumple esta condición o si el chasis presenta deterioro avanzado, este debe ser desechado. Anote en el formato correspondiente el tamaño de las cuatro manchas más significativas y su ubicación.
- f) Esta prueba debe ser realizada por lo menos una vez por año por cada chasis.

5.2.10. LA CALIDAD DEL HAZ (HVL)

Materiales y equipo:

- Cámara de ionización.
- Juego de láminas de Aluminio de pureza mayor o igual al 98%, con distintos espesores.
- Medidor de dosis de exposición.
- Placa de plomo.

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).

- b) Seleccionar en el equipo de rayos X, un Kilovoltaje de 80 kVp. El HVL es medido normalmente a este valor. El aspecto más importante es que en todas las demás mediciones se mantenga el kilovoltaje seleccionado en el primer paso.
- c) Coloque la cámara de ionización bajo el haz de radiación, y la placa de plomo debajo de la cámara para reducir la radiación dispersa proveniente de la superficie de la mesa. Ajuste el haz de radiación, de modo que cubra solamente la cámara de ionización.
- d) Seleccione una combinación de mA y tiempo. Esta debe elegirse de forma que al hacer una medición sin ningún filtro de aluminio (excepto el que el equipo trae consigo), se obtenga una medida cercana a plena escala en el equipo de medición. Se recomienda hacer dos mediciones, y luego manténgala constante al igual que el kVp.

PRECAUCIÓN: El uso de algunas técnicas podría dañar el tubo, cerciórese que la combinación seleccionada no lo haga, además espere un tiempo prudencial (por ejemplo 1 minuto) entre exposición y exposición).

- e) Coloque un filtro de aluminio de un grosor cercano al HVL esperado, como se muestra en la figura No. 43. Para esto puede sujetarse con cinta adhesiva los filtros al tubo; anote la cantidad de exposición medida en el formato, así como el grosor del filtro.

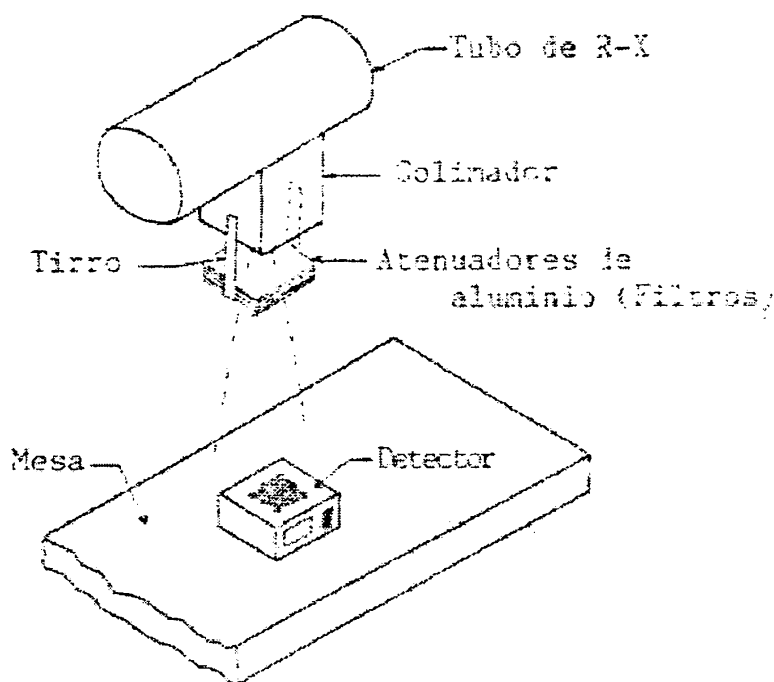


Figura No. 43: Forma de colocar los filtros para hacer la prueba del HVL.

- f) Si la cantidad de radiación medida es menor que la mitad de la registrada en el paso d, anote el valor en el formato, y reemplace este filtro por otro (o una combinación de estos) de menor grosor. Realice otra medición y haga los cambios de filtros necesarios hasta que las mediciones sean ligeramente mayores que la mitad del valor de la primera medición. Anote los valores medidos en el formato.
- g) Si la cantidad de radiación medida es mayor que la mitad de la registrada en el paso d, anote el valor en el formato, y reemplace este filtro por otro (o una combinación de estos) de mayor grosor. Realice otra medición y haga los cambios de filtros necesarios hasta que las mediciones sean ligeramente menores que la mitad del valor de la primera medición. Anote los valores medidos en el formato.
- h) Realice una o dos mediciones adicionales que se encuentren alejadas de las realizadas anteriormente, de modo que pueda con cinco o seis valores en total, trazar la curva que permita determinar el HVL. Grafique la curva en el formato correspondiente, (estos también pueden ser graficados en papel semilogaritmico o milimetrado).
- i) Verifique que el HVL para el equipo sea de al menos 2.3 mm Al. Escriba sus observaciones y mediciones en el formato correspondiente.
- j) Esta medición debe ser realizada por lo menos una vez por año, cuando el tubo ha sido reemplazado, o después de cualquier servicio de mantenimiento al tubo o al colimador.

5.2.11. ALINEACIÓN DE LA REJILLA ANTIDIFUSORA

Materiales:

- Cassette
- Densitómetro
- Nivel
- Película radiográfica (14" x 14")
- Plomada
- Procesadora radiográfica

Procedimiento:

- a) Complete el encabezado del formato, con los datos técnicos del equipo y del material a utilizar solicitados (cuando aplique).
- b) Desconecte el sistema bucky, y realice una exposición con técnica baja, de modo que puedan observarse en la película las líneas de la rejilla. Verifique que estas líneas se encuentran igualmente separadas y de igual grosor. Además cuente el número de estas y compárelo con el número de líneas por longitud especificadas en la rejilla.
- c) Verifique que la rejilla está siendo utilizada a la distancia correcta.
- d) Centre manualmente el tubo con respecto a la rejilla, tome la plomada y verifique que el eje central del haz coincida con el centro de la rejilla (usualmente la rejilla presenta una línea que indica el centro de ésta).
- e) Verifique la perpendicularidad del haz y la rejilla, coloque un nivel sobre la rejilla y observe si está completamente horizontal. Coloque el tubo en la posición completamente horizontal según el indicador de éste. Corrobore esta situación con un nivel.
- f) Una vez colocados ambos en paralelo con el procedimiento en e, conecte nuevamente el sistema bucky y realice una exposición con factores de exposición de uso cotidiano. Revele la película y con una regla y un densitómetro, mida todos los puntos determinados por una matriz imaginaria de 5x5. Escriba los valores en el formato.
- g) Los valores deben cumplir con lo especificado en la tabla No. 17. La película utilizada debe ser de al menos 14" x 14".

PARTE II: PROCESO DE INVESTIGACIÓN

6. ESTABLECIMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

El método de investigación se realizó utilizando el método científico, y como método específico el método estadístico. El método científico especifica que deben establecerse hipótesis, a partir de los problemas identificados. Debe haber una hipótesis principal la cual deriva del problema principal, y luego se originan a partir de estos los problemas e hipótesis derivadas.

Las hipótesis serán nulas (H_0) y alternativas (H_a). La hipótesis nula se establece con el propósito de ser rechazada, la alternativa es contraria (estableciendo una alternativa) a lo estipulado por la nula. Si al final de la investigación los datos apoyan la hipótesis nula, se establece que no existe suficiente evidencia para ser rechazada; si por el contrario los datos indican su rechazo, se establece que esta es rechazada.

6.1. HIPÓTESIS

El problema principal en la presente investigación es:

PROBLEMA: En El Salvador no existe un control de calidad establecido en forma sistemática para los equipos médicos, específicamente para los equipos de radiodiagnóstico y la imagen que estos brindan.

Debido a esto en El Salvador, se encuentran las siguientes condiciones (hipótesis origen):

- A. Existe una mala calidad de Imagen (Hipótesis nula)
- B. Existe una buena calidad de Imagen. (Hipótesis alternativa)

Si la calidad de la imagen es mala, esto puede deberse a los siguientes factores (hipótesis derivadas de la de origen):

1. El técnico no está utilizando la técnica apropiada.
2. El técnico no coloca al paciente de la mejor forma.
3. El paciente se mueve en el momento de la toma.
4. El equipo se encuentra en malas condiciones de funcionamiento
5. El material utilizado no se encuentra en buenas condiciones.

Acerca de las **malas condiciones de funcionamiento del equipo** (que constituye la base de la hipótesis principal para la presente investigación) podemos tener las siguientes hipótesis causales:

1. El equipo no ha sido calibrado adecuadamente.
2. El equipo no recibe mantenimiento preventivo en forma periódica y adecuada.
3. El equipo funciona en condiciones de operación no adecuadas.
4. El equipo ha sufrido modificaciones que ya no le permiten desempeñar su función con suficiente calidad.
5. El equipo ya no cumple con las especificaciones del fabricante.
6. Las especificaciones del fabricante no son las adecuadas.

Cada una de estas hipótesis está relacionada en forma directa con un problema como causa, la lista de hipótesis, con sus respectivos problemas, se especifican en la tabla No. 7.

	HIPÓTESIS	PROBLEMA
PRINCIPAL	<p>Ho: Más del 50% de los equipos de rayos X no cumplen con las normas de control de calidad.</p> <p>Ha: Más del 50 % de los equipos de rayos X cumplen con normas de control de calidad.</p>	En El Salvador no existe un control de calidad establecido en forma sistemática para los equipos médicos, específicamente para los equipos de rayos X.
DERIVADA1	<p>Ho: Los equipos no son calibrados en forma periódica ni adecuada.</p> <p>Ha: Los equipos son calibrados en forma periódica y adecuada.</p>	En el país no existen parámetros estandarizados acerca de calibraciones a los equipos.
DERIVADA2	<p>Ho: Los equipos no reciben mantenimiento preventivo en forma periódica y adecuada.</p> <p>Ha: Los equipos reciben un mantenimiento preventivo en forma periódica y adecuado.</p>	La falla en algunos equipos se debe a que actualmente el mantenimiento preventivo está en su fase de implementación y las autoridades respectivas no le dan la debida importancia.
DERIVADA3	<p>Ho: Los equipos no se encuentran en condiciones adecuadas para su funcionamiento.</p> <p>Ha: Los equipos se encuentran en condiciones adecuadas para su funcionamiento.</p>	La falta de recursos en los Hospitales Nacionales permite que estos no tengan las condiciones adecuadas para el funcionamiento de los equipos.
DERIVADA4	<p>Ho: Los equipos han sufrido modificaciones que ya no le permitan desempeñar su función con suficiente calidad.</p> <p>Ha: Los equipos no han sufrido modificaciones que ya no le permitan desempeñar su función con suficiente calidad.</p>	Por falta de recursos, a veces se permite que en los equipos se coloquen partes no originales en los equipos, o que han sido reparadas y no cumplen con los requisitos que el fabricante dice.
DERIVADA5	<p>Ho: El equipo ya no cumple con las especificaciones del fabricante.</p> <p>Ha: El equipo cumple con las especificaciones del fabricante.</p>	El tiempo de operación de algunos de los equipos es grande, debido a la falta de recursos para comprar otros.
DERIVADA6	<p>Ho: Las especificaciones del fabricante de los equipos no cumplen con normas internacionales.</p> <p>Ha: Las especificaciones de los fabricantes de los equipos si cumplen con normas internacionales.</p>	Los parámetros de los equipos ya no cumplen con las normas actualmente establecidas.

Tabla No. 7: LISTA DE HIPÓTESIS Y PROBLEMAS

6.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Cada una de las hipótesis debe ser comprobada o rechazada a través de la medición de variables. Para esto, se deben definir las variables a analizar, tanto en forma conceptual como operativa. Las variables a analizar en la presente investigación (de acuerdo con las hipótesis planteadas) son: Calidad de imagen, funcionamiento de los equipos de rayos X (pruebas de control de calidad), calibración, mantenimiento preventivo, condiciones de operación, modificaciones, especificaciones del fabricante, especificaciones del fabricante vrs. Norma.

CALIDAD DE IMAGEN

La calidad de imagen es un concepto complejo (ver sección 4.2), que lleva involucrados aspectos tanto objetivos (contraste, definición, granularidad) como subjetivos. En la presente investigación, la evaluación de la variable “calidad de imagen” se realizará a través del aspecto subjetivo, es decir a partir de la opinión que tienen los usuarios de la misma (médicos radiólogos, ortopedas, ginecólogos, y médicos generales).

CUMPLIMIENTO CON NORMAS DE CONTROL DE CALIDAD

El cumplimiento con normas de control de calidad, se realizará a través de las distintas pruebas establecidas en el presente documento. Un equipo se dirá que cumple con las normas de control de calidad, si ha pasado todas las pruebas.

CALIBRACIÓN

Acción realizada por el personal técnico que brinda servicio de mantenimiento al equipo, en la cual se realizan ajustes con el objetivo que el equipo funcione de acuerdo a especificaciones del fabricante. Ejemplo de estas acciones serán: Calibración de mA, de tiempo de exposición, de kV, etc. Estas acciones pueden ser realizadas de acuerdo a procedimientos invasivos (especificados por el fabricante) o no invasivos (utilizando equipo de control de calidad).

Para analizar la calibración, se pedirá el registro de servicio en el equipo, al Hospital o a Mantenimiento Central, para poder así constatar si ha existido calibración en el pasado. Si esta presenta los valores se comparará con los medidos en el equipo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

(Ver definición en página 47)

Para verificar la existencia del mantenimiento preventivo, se pedirá el registro de servicio en el equipo, y se constatará que esté recibiendo mantenimiento preventivo. Además se solicitará la rutina de MPP para realizar un análisis acerca de los parámetros que son verificados, y que cambios se le han realizado al equipo según esas rutinas.

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Como condiciones de operación se entienden las siguientes: Espacio físico de la sala de rayos X y cuarto oscuro, temperatura de operación de los equipos, existencia de extractor de aire y aire acondicionado, voltaje de alimentación de los equipos.

Para verificar las condiciones de operación del equipo, se tomarán en cuenta: Temperatura del cuarto oscuro, sala de rayos X y almacén de películas, dimensiones de la sala de rayos X y cuarto oscuro, existencia de aire acondicionado y extractor de aire.

CAMBIOS DE PIEZAS IMPORTANTES

Cualquier cambio en el equipo, que podría conllevar a un cambio en las características de funcionamiento a evaluar, lo cual podría ser: Cambio de tubo, de panel de control o de cualquier elemento que forma parte de éste, tales como temporizador, compensador de corriente de filamento, eliminación de estaciones de mA, etc. Esto sólo se aplicará a los equipos de Rayos X.

Para su evaluación se solicitará la hoja de vida del equipo, o en su defecto reportes de mantenimiento para saber que cambios de piezas importantes pueden haber afectado al equipo en su funcionamiento. Además se encuestará al personal del departamento de radiología (de preferencia al jefe del servicio) acerca de esta situación.

ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

Las especificaciones del fabricante a tomar en cuenta, serán las relacionadas con los parámetros de control de calidad establecidos en la sección 5.2., y con las condiciones de operación señaladas en la presente sección.

Los resultados obtenidos en las mediciones de los equipos seleccionados en la muestra, se compararán con los establecidos por el fabricante, para determinar si el equipo necesita calibración o no.

ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE VRS. NORMA

Se compararán las especificaciones de los fabricantes para los equipos que se encuentran en el en los establecimientos del Ministerio de Salud (Ver anexo 15), para establecer si estas cumplen con las normas seleccionadas en la presente investigación.

7. PROCESO DE MUESTREO

7.1. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

El método de muestreo utilizado para la evaluación de los equipos de rayos X, fue el aleatorio simple, tomando como base el universo de equipos de rayos X radiográficos estacionarios que se encontrarán en establecimientos que contarán con procesadoras automáticas (ver anexo 8).

Para la selección de la muestra se utilizó una tabla de números aleatorios, la cual se muestra en el anexo 17; para seleccionar el primer número de la tabla se efectuó un sorteo el cual determinó la fila y la columna de inicio. Utilizando esta tabla, los equipos seleccionados fueron los siguientes:

No.	ESTABLECIMIENTO	EQUIPO DE RAYOS X		
		MARCA	MODELO	SERIE
1.	H. Sta. Ana.	GENERAL ELEC	MST625II	168503WK1 (RAD Y F)
2.	H. de Ahuachapán	SHIMADZU	ED125L	0362195410 (RAD)
3.	H. de Sonsonate	CONTINENTAL		(RAD)
4.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	GENERAL ELEC	MST625II	169371WK2 (RAD)
5.	H. Neumológico	PICKER	4322 ^a	(RAD)
6.	H. de Nueva Guadalupe	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	MA0298-1085
7.	H. Rosales	SHIMADZU	XED150L-20	0362168107 (RAD Y F)

Tabla No. 8: Equipos seleccionados en el muestreo aleatorio (muestra 1)

A esta muestra en adelante se le denominará como muestra 1.

Además se seleccionó una muestra de establecimientos, los cuales incluyen los que poseen los equipos de la muestra aleatoria, y otros a los cuales se tenía la posibilidad de visitar. Estos establecimientos se muestran en la tabla No. 9 (muestra a la cual se le denominará en adelante muestra 2).

7.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información se realizó de dos formas:

Una con base a un muestreo aleatorio en la cual se evaluaron los parámetros indicados en el control de calidad, y otra en una muestra no aleatoria, en la cual se evaluaron las condiciones de operación definidas en la sección 6.2.

No.	ESTABLECIMIENTO	DEPARTAMENTO
1.	H. de Ahuachapán	AHUACHAPÁN
2.	H. de Ilobasco	CABAÑAS
3.	H. de Cojutepeque	CUSCATLÁN
4.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	LA LIBERTAD
5.	H. Santa Rosa de Lima	LA UNION
6.	H. de Nueva Guadalupe	SAN MIGUEL
7.	H. Zacamil	SAN SALVADOR
8.	H. de niños Benjamín Bloom	SAN SALVADOR
9.	H. de Maternidad	SAN SALVADOR
10.	H. Rosales	SAN SALVADOR
11.	H. Neumológico	SAN SALVADOR
12.	H. de San Vicente	SAN VICENTE
13.	H. de Sta. Ana	SANTA ANA
14.	H. de Chalchuapa	SANTA ANA
15.	H. de Sonsonate	SONSONATE

Tabla No. 9: Listado de establecimientos seleccionados para la evaluación de las instalaciones (muestra 2).

7.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de la información se utilizaron dos tipos de instrumentos, los de medición de parámetros, y los formatos para la recolección de la información.

7.3.1. FORMATOS

Para evaluar las variables definidas en la sección 6.2, se diseñaron tres formatos para recolección de la información de las condiciones de operación, además de los once diseñados para el control de calidad. De los tres mencionados, uno corresponde a una encuesta para el personal usuario de las radiografías (ya fuera médico radiólogo, u otro médico que usara las radiografías para el diagnóstico). La segunda corresponde a una encuesta para el jefe del departamento de rayos X, el cual en los hospitales con mayor demanda es un médico radiólogo, algunas veces es un doctor con puesto administrativo, y la mayoría de veces es un técnico. Se seleccionó el jefe del departamento, pues es quien debe conocer más acerca de la situación de todo el departamento, así como de los eventos más importantes para el mismo.

El tercer formato está diseñado para que el mismo personal encuestador recabe los datos, algunos de los aspectos evaluados coinciden con los preguntados en la encuesta al jefe del departamento, pero se estimó conveniente incluirlos, pues se observó la posibilidad que estos no tuvieran conocimiento o el criterio necesarios como para ser un dato real. Por ejemplo cambios significativos en el equipo, calibración, entre otros.

El procedimiento de encuestamiento fue guiado, es decir que el encuestador explicaba al encuestado acerca del propósito del estudio, para prevenir el aspecto subjetivo, que podría influir en los resultados.

Los formatos anteriormente descritos, se muestran en los anexos 9, 10 y 11, respectivamente.

7.3.2. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para efectuar las mediciones, se utilizaron equipos cuya naturaleza demanda calibración periódica, e instrumentos que no la necesitan. Los equipos que si la demandan son:

Denistómetro

Medidor de parámetros radiológicos

Medidor de dosis de exposición

Sensitómetro

De estos cuatro, el primero fue calibrado antes de comenzar las mediciones, el diseño del mismo permite que el usuario pueda hacer una calibración periódica.

Para el segundo, el fabricante recomienda una calibración cada dos años, y para el tercero, el fabricante recomienda una calibración anual, pero debido a su costo, algunos usuarios lo envían a calibración cada dos años. La fecha de calibración última de los equipos es Diciembre de 1997. Es decir que están dentro del período de dos años posterior a la calibración. Los datos son tomados como válidos.

El listado de los equipos e instrumentos de medición utilizados en la investigación se muestran en el anexo 12

8. RESULTADOS

8.1. RESULTADOS DE ENCUESTAS A MÉDICOS

En total fueron encuestados 35 médicos, todos con un grado mayor o igual al año social, de un total de 15 hospitales nacionales. Los resultados se muestran en la figura No 44. y la tabla No. 9.

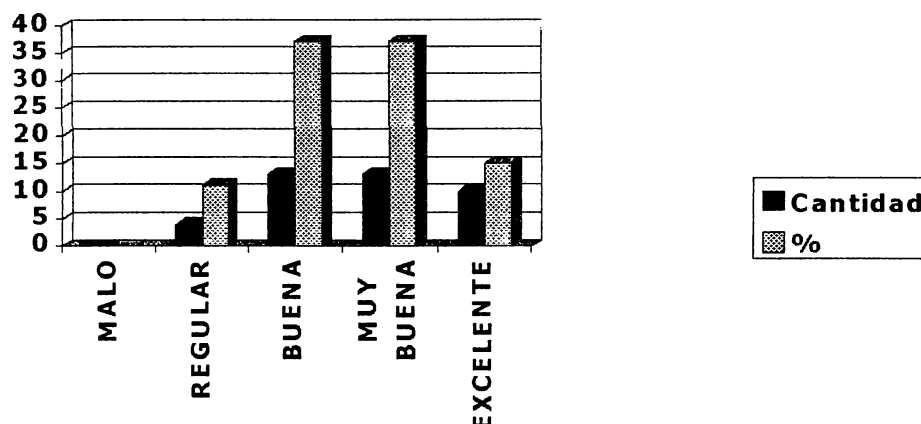


Figura No.44: Resultado de la encuesta a médicos

CATEGORÍA	CANTIDAD	CANTIDAD %
EXCELENTE (10)	5	15
MUY BUENA (8-9)	13	37
BUENA (6-7)	13	37
REGULAR (5)	4	11
MALA (0-4)	0	0

COMENTARIOS	CATEGORÍA	CANTIDAD	CANTIDAD (%)
Mala calidad del material	MATERIAL (-)	4	11.4
Equipo apropiado para las necesidades	EQUIPOS (+)	1	2.9
Mal funcionamiento de equipos	EQUIPOS (-)	1	2.9
Mal funcionamiento y mala operación	OPERADOR Y EQUIPOS (-)	1	2.9
Mala operación	OPERADOR (-)	2	5.7
Falta de capacitación de técnicos	OPERADOR (-)	2	5.7
Buena operación	OPERADOR (+)	5	14.3
Calidad de imagen insuficiente	IMAGEN (-)	10	28.6
Falta de contraste	IMAGEN (-)	1	2.9
Buena profundidad de las imágenes	IMAGEN (+)	2	5.7
Calidad de imagen aceptable	IMAGEN (+)	3	8.6
No se observan artefactos	IMAGEN(+)	1	2.9
Mejor calidad que en otros hospitales	IMAGEN (+)	1	2.9
Ningún comentario	--	1	2.9

Tabla No. 9: Resultados de encuestas a médicos usuarios de radiografías

Los comentarios se han agrupado en cuatro categorías, de acuerdo a las opiniones de los médicos, para facilitar su posterior análisis (como se muestra en la tabla). Estas son: Equipos, operador, imagen y material. Al hablar de material, se refiere a películas procesadoras radiográficas, químicos de revelado y equipos.

8.2. RESULTADOS DE ENCUESTAS A JEFES DE DEPARTAMENTO DE RAYOS X

Se encuestaron a 15 jefes de departamento de rayos X, correspondientes a 15 instalaciones del Ministerio de Salud. Los resultados se muestran en la tabla No. 10

<i>ASPECTO A EVALUAR: Existencia de control de calidad sistematizado de radiodiagnóstico en los hospitales.</i>				
1.	¿Sabe usted en que consiste el control de calidad en radiodiagnóstico?		SI	NO
			12 (80%)	3 (20%)
2.	¿Cuáles son para usted los principales beneficios de un control de calidad?			
	a)	Mejores imágenes	13 (87%)	
	b)	Menor número de exposiciones repetidas	13 (87%)	
	c)	Mayor duración de los equipos	11 (73%)	
	d)	Otros	5 (33%)	
	e)	No hay beneficios	0%	
		Otros:		
	Mejor diagnóstico	2 (13%)		
	Menor exposición	1 (7%)		
	Menor tiempo de espera	3 (20%)		
3.	¿Existe un programa de control de calidad actualmente en su departamento? Si su respuesta es positiva, clasifíquelo señalando uno de las siguientes casillas:		SI	NO
			8 (53%)	7 (47%)
	a)	Parte de un programa nacional	0 (0%)	
	b)	Iniciativa de su hospital	1 (7%)	
	c)	Iniciativa de su departamento	8 (53%)	
	d)	Otros	0 (0%)	
<i>ASPECTO A EVALUAR: Existencia de una calidad de imagen insuficiente.</i>				
4.	¿Cree usted que podría disminuirse el número de exposiciones repetidas con un programa de control de calidad en su departamento?		SI	NO
			14 (93%)	0 (0%) 1 NC
	¿En que porcentaje?		NC	2 (13%)
			0-33%	4 (27%)
			34-67%	3 (20%)
		68-100%	6 (40%)	
<i>ASPECTO A EVALUAR: El equipo se encuentra en malas condiciones de funcionamiento</i>				
5.	¿Cómo es el grado de satisfacción en cuanto al funcionamiento de el (los) equipo (s) con que cuenta su departamento?			
	Excelente (9-10)	1 (7%)	Regular (5-6)	4 (27%)
	Bueno(7-8)	9 (60%)	Malo (0-4)□	1 (7%)
	¿Por qué?			
	Necesita cambio de tubo			1 (7%)
	Equipo muy antiguo			2 (14%)
	Presenta fallas			2 (14%)
	Falta de mantenimiento			2 (14%)
	Equipo no falla			2 (14%)
	No hay control de calidad			1 (7%)
	Tiene el mantenimiento necesario			2 (14%)

Sigue...

...Viene

<i>ASPECTO A EVALUAR: El equipo no ha sido calibrado adecuadamente</i>		SI	NO
6.	a) ¿El equipo con el que cuenta su establecimiento, ha sido sujeto a acciones de calibración?	10 (67%)	5 (33%)
	b) Si su respuesta es positiva, ¿son estas calibraciones de tipo periódico?	7 (53%)	2 (13%)
	Frecuencia aproximada:		
	Mensual	5 (33%)	
	Trimestral	1 (7%)	
	Cuatrimestral	1 (7%)	
	Cuando sea necesario	2 (14%)	
	c) ¿Existe algún registro de estas?	SI	NO
		9 (60%)	1 (7%)
<i>ASPECTO A EVALUAR: Pertenencia del equipo a acciones de mantenimiento preventivo y correctivo adecuadas</i>			
7.	a) ¿Se le proporciona a su equipo acciones de mantenimiento preventivo y/o correctivo?		
	Preventivo	13 (87%)	
	Correctivo	15 (100%)	
	Ninguno	0 (0%)	
	b) ¿Cuál es la frecuencia aproximada de estas acciones?	FREC	
	Preventivo:	Mensual	10 (67%)
		Trimest	2 (13%)
	Correctivo:	Biseman	1 (7%)
		Bimens	2 (13%)
		Trimest	3 (20%)
		Cuatrim	1 (7%)
	c) ¿Cuál es el tiempo aproximado de duración de éste?	(Hrs)	
	Preventivo:	1	3 (20%)
		1 1/2	2 (13%)
		3	2 (13%)
		4	1 (7%)
	Correctivo:	1	2 (13%)
		2	4(27%)
		3	2 (13%)
		4	2 (13%)
	d) ¿Incorporan estas acciones equipo de calibración y/o de medición?	SI	NO
		10 (67%)	5 (33%)
	e) Señale cuales:		
	Medidor de kilovoltaje	5 (33%)	Termómetro
	Medidor de dosis de exposición	3 (20%)	Multímetro
	Juego de láminas de aluminio	2 (13%)	Otros:
	Medidor de tiempo de exposición	4 (27%)	0 (0%)

Sigue...

...Viene

8.	¿Existe una persona responsable de recibir el equipo después de un mantenimiento?	<u>SI</u>	NO
		15 (100%)	0 (0%)
9.	¿Cuál es el grado de satisfacción con las acciones de mantenimiento preventivo o correctivo?		
	Excelente (9-10)	2 (13%)	<input type="checkbox"/> Regular (5-6)
	Buena (7-8)	11 (74%)	<input type="checkbox"/> Malo (0-4)
	¿Por qué?		
	No siempre resuelven los problemas	2 (13%)	
	No es mantenimiento externo	1 (7%)	
	Hacen un buen trabajo	2 (13%)	
	El personal técnico no está suficientemente preparado	1 (7%)	
	Resuelven los problemas	2 (13%)	
	Dedican poco tiempo	2 (13%)	
	El mantenimiento es continuo	1 (7%)	
	Repetición del mismo problema	1 (7%)	
<i>ASPECTO A EVALUAR: El equipo funciona en condiciones de operación adecuadas.</i>			
10.	a) ¿Considera usted que en la sala de rayos X y el cuarto oscuro existe un espacio apropiado para realizar todos los procedimientos normales de su departamento?	<u>SI</u>	NO
		5 (33%)	10 (67%)
	b) ¿Por qué?		
	Sala de rayos X muy pequeña	3 (67%)	
	Cuarto oscuro muy pequeño	5 (33%)	
<i>ASPECTO A EVALUAR: El equipo no ha sufrido modificaciones que ya no le permitan desempeñar su función con suficiente calidad.</i>			
11.	¿Ha sufrido el equipo alguna modificación que pueda haberlo afectado en su funcionamiento (por ejemplo: Cambio de tubo, combinación de varias partes para formar un equipo nuevo, etc.).	<u>SI</u>	NO
		6 (40%)	9 (60%)
	Explique:		
	Cambio de tubo	6 (40%)	
	Cambio de transformador	1 (7%)	
<i>ASPECTO A EVALUAR: Operación y manejo adecuados por parte del operador</i>			
12.	¿Considera usted que existe una operación apropiada del equipo por parte del operador?	<u>SI</u>	NO
		12 (80%)	3 (20%)
13.	¿Considera usted que existe un manejo adecuado del equipo por parte del operador?	<u>SI</u>	NO
		12 (80%)	3 (20%)
14.	¿Recibe su personal una capacitación periódica acerca del manejo y operación del equipo?	<u>SI</u>	NO
		4 (27%)	11 (73%)

Tabla No. 10: Resultados de las encuestas para jefe de departamento de radiología

NC: No contestó

8.3. RESULTADOS DE MEDICIONES EN MUESTRA DE EQUIPOS

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 11, y figuras de la No. 46 a la No.50. Para obtenerlos se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se leyó el porcentaje de error escrito en el formato (registrado a partir de las mediciones realizadas).
2. Si el porcentaje era menor que la norma mexicana o la recomendación de la SEFM (ver anexo 13), es decir que cumplía, el dato era incluido como aceptado. Si este no cumplía con el valor establecido, se le restaba el porcentaje de error del equipo de medición, si cumplía de esta forma, era considerado como aceptado. Si no cumplía con este arreglo, se registraba como no aceptado.
3. Se realizó el mismo procedimiento para comparar el dato medido con el especificado por el fabricante.

Como puede observarse, existen casos en que uno de los equipos no cumple con las normas (SSA Y SEFM), pero si cumple con la especificación del fabricante. Por esta razón se investigaron los datos de fabricante de los equipos en propiedad del MSPAS (ver anexo 15). De los anexos 6 y 7, se extraen en la tabla No. 12, figura No.4 , tabla No. 13y figura No. , los porcentajes representados por las marcas y modelos de los equipos de rayos X y procesadoras respectivamente, y cual fue el resultado de la investigación de los datos.

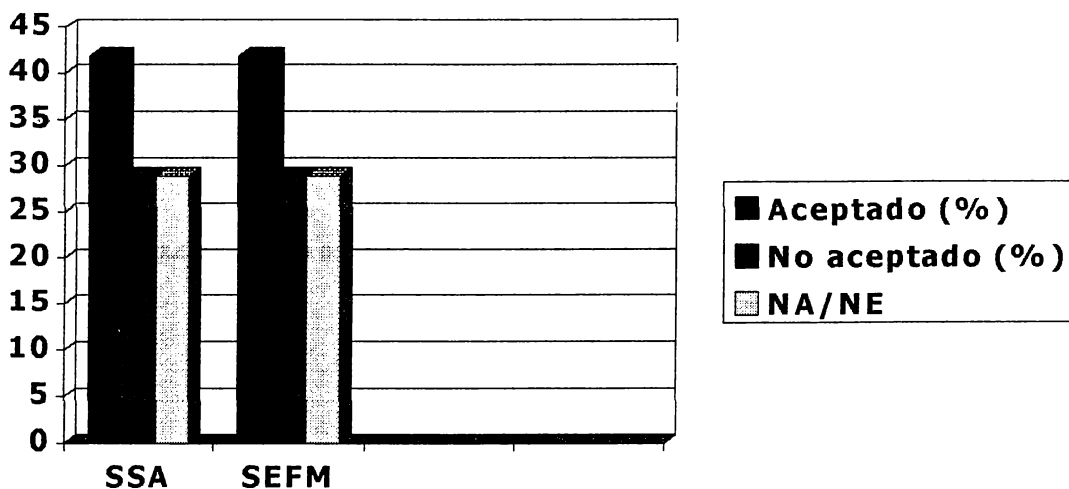


Figura No. 45: Resultado de evaluación de las procesadoras automáticas (según muestra)

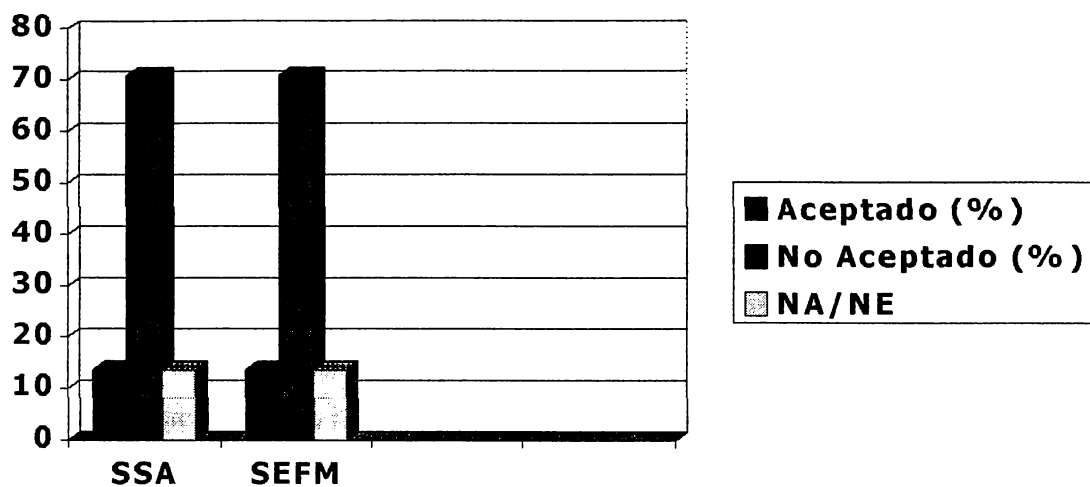


Figura No. 46: Resultados de prueba de cuarto oscuro en muestra seleccionada.

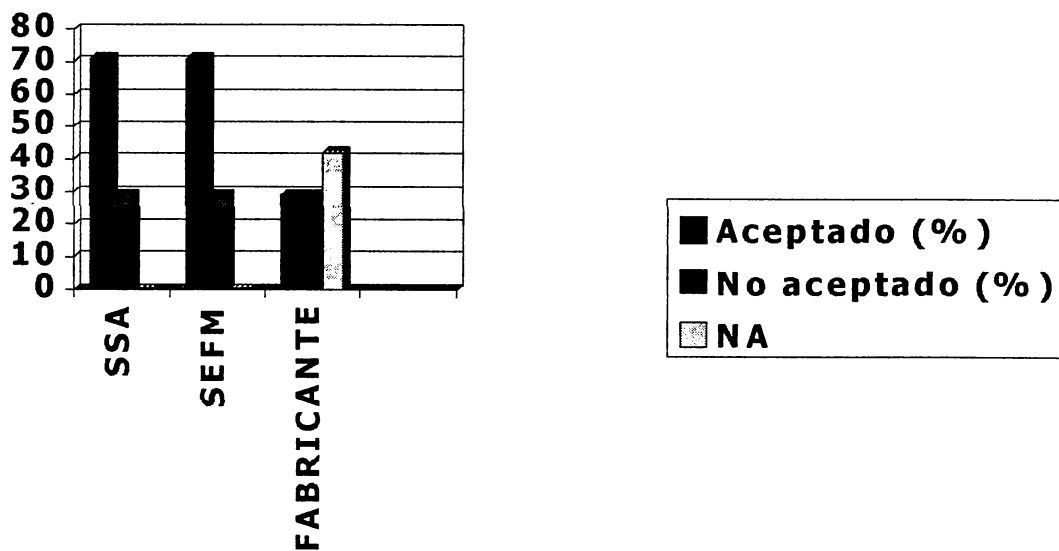


Figura No. 47: Resultados de prueba de exactitud de kilovoltaje en muestra seleccionada

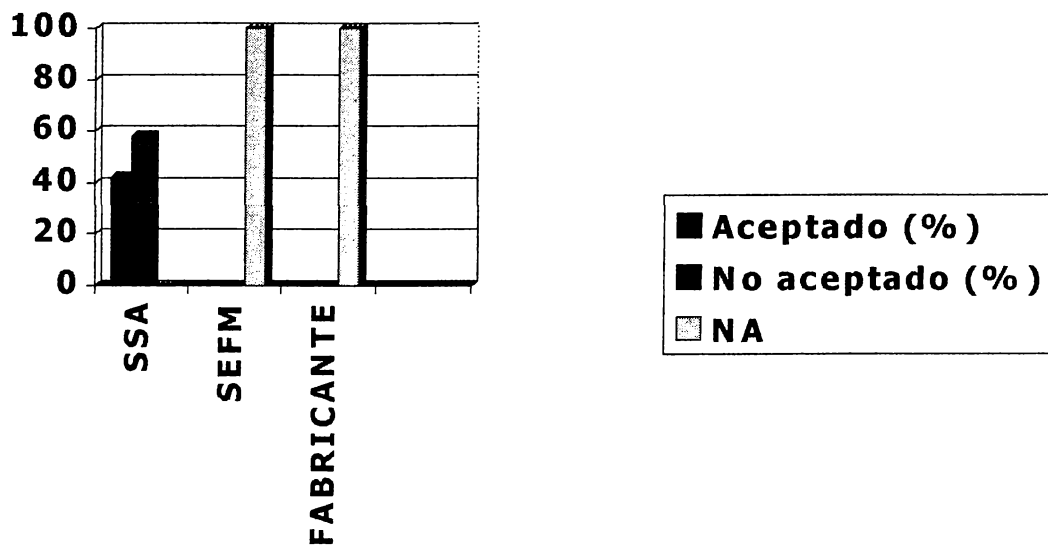


Figura No. 48: Resultados de prueba de tamaño de punto focal en muestra seleccionada

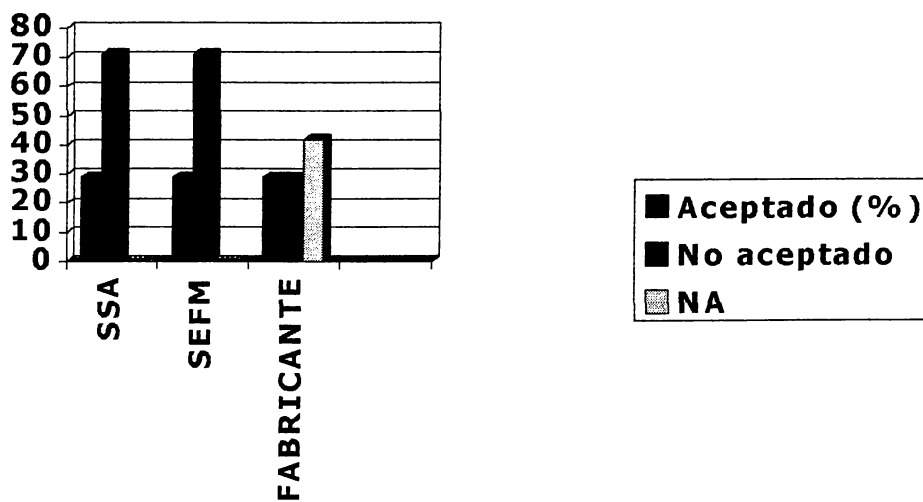


Figura No. 49: Resultados de prueba de exactitud de tiempo de exposición

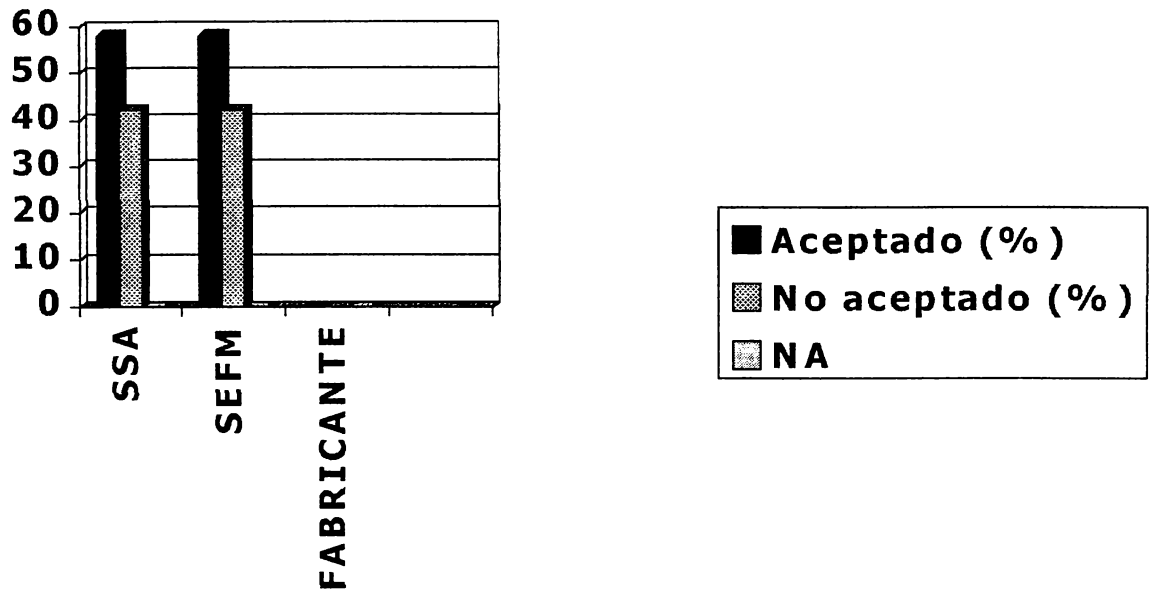


Figura No. 50: Resultados de prueba de coincidencia de campos y centros luminoso y de radiación.

No.	PARÁMETRO	SSA		NE/NA	SEFM/SEPR		FABRICANTE		
		ACEPTADO	NO ACEPTADO		ACEPTADO	NO ACEPTADO	ACEPTADO	NO ACEPTADO	NO APLICABLE
1.	Exactitud de temperatura de químicos	3 (42%)	2 (29%)	2 (29%)	3 (42%)	2 (29%)	--	--	7 (100%)
2.	Prueba de cuarto oscuro	1 (13.5%)	5 (71%)	1 (13.5%)	1 (13.5%)	5 (71%)	--	--	7 (100%)
3.	Exactitud de kV	5 (71%)	2 (29%)	--	5 (71%)	2 (29%)	2 (29%)	2 (29%)	3 (42%)
4.	Valor de punto focal	3 (42%)	4 (58%)	--	NA	NA	NA	NA	7 (100%)
5.	Exactitud de tiempo de exposición	2 (29%)	5 (71%)	--	2 (29%)	5 (71%)	2 (29%)	2 (29%)	3 (42%)
6.	Rendimiento	4 (58%)	3 (42%)	--	4 (58%)	3 (42%)	--	--	7 (100%)
7.	Constancia de rendimiento	6 (86%)	1 (14%)	--	6 (86%)	1 (14%)	1 (14%)	--	6 (86%)
8.	Coincidencia de campos radiación/luminoso	4 (58%)	3 (42%)	--	3 (42%)	4 (58%)	--	--	7 (100%)
9.	Coincidencia de centros	6 (86%)	1 (14%)	--	6 (86%)	1 (14%)	--	--	7 (100%)
10.	Calidad del Haz	6 (86%)	1 (14%)	--	4 (58%)	3 (42%)	1 (14%)	--	6 (86%)
11.	Contacto pantalla película	5 (71%)	2 (29%)	--	6 (86%)	1 (14%)	--	--	7 (100%)

Tabla No. 11: Resultados del muestreo de mediciones (RESUMEN) de control de calidad en equipos de rayos X, procesadoras de películas, chasis y cuarto oscuro (Total de equipos evaluados: 7, fecha: Junio/Julio 1999)

No.	PARÁMETRO	FABRICANTE				REF. BIBLIOG	OTRO	
		ACEPTADO	NO ACEPTADO	NE	NA		ACEPTADO	NO ACEPTADO
1.	Temperatura ambiente sala de R-X	19 (63%)	--	11 (37%)	--	[9]	15 (50%)	15 (50%)
2.	Temperatura ambiente cuarto oscuro	11 (55%)	5 (25%)	2 (10%)	2 (10%)	SEFM	4 (20%)	16 (80%)
3.	Temperatura ambiente películas	2 (13%)	13 (87%)	--	--	SEFM	5 (33%)	10 (67%)
4.	Espacio Sala R-X	6 (20%)	4 (13%)	20 (67%)	--	[2][9]	4 (13%)	26 (87%)
5.	Espacio cuarto oscuro	4 (20%)	--	14 (70%)	2 (10%)	[2]	5 (25%)	15 (75%)
6.	Voltaje de alimentación eq. R-X	11 (41%)	3 (11%)	15 (52%)	--	NA	-----	-----
7.	Voltaje de alimentación procesadora	--	--	21(100%)	--	NA	-----	-----

TABLA No. 14: Resultado (resumen) de evaluación de condiciones de instalación (Total de instalaciones evaluadas: 15, fecha: Junio/Julio 1999)

NE: Datos no especificados por el fabricante.

NA: Situación en que no es aplicable la evaluación.

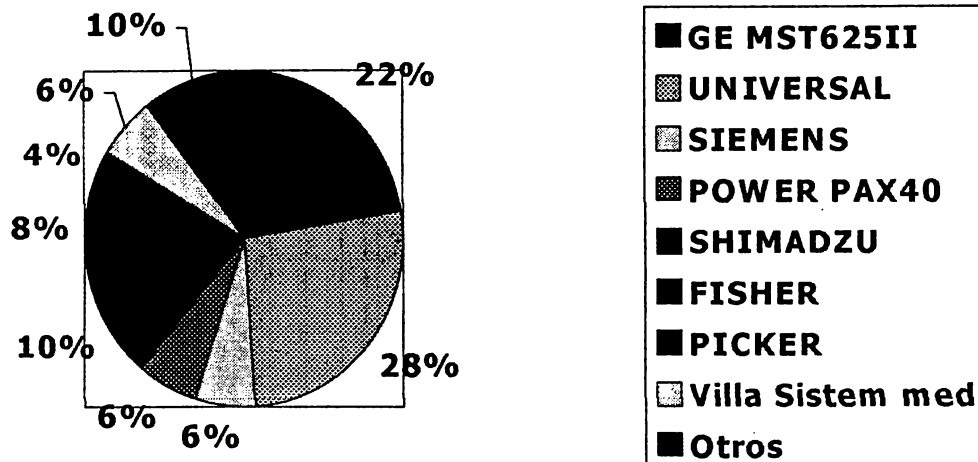


Figura No. 50: Distribución de marcas y modelos de equipos radiográficos estacionarios en los establecimientos del MSPAS (Ver también tabla No.12).

No.	MARCA	MODELO	CANT	%	Resultado de la Investigación
1.	GENERAL ELECTRIC	MST 625-II	11	21.6	Obtenidos
2.	UNIVERSAL	EASYMATIC 325	5	10	No obtenidos
3.	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	6	12	Obtenidos
4.	UNIVERSAL	SUPERMATIC 325	2	3.9	No obtenidos
5.	VILLA SISTEM MED	VARIOS	3	5.9	(No especificados)
6.	FISHER	VARIOS	4	7.8	No obtenidos
7.	SHIMADZU	ED 125 y 150L	4	7.8	Obtenidos parcialmente
8.	SHIMADZU	XED-150L	1	2	(No especificados)
9.	PICKER	GX 1050 Y BGX625	2	3.9	Obtenidos
10.	General Electric	POWER PAX 40	3	5.9	Obtenidos
11.	Continental		1	2	No obtenidos
12.	CMR		1	2	No obtenidos
13.	SIEMENS	POLYMAT 50	3	5.9	Obtenido
14.	TOSHIBA	KXO-15E	1	2	No obtenido
15.	GENERAL ELECTRIC	11CK10	1	2	No obtenido
16.	GENERAL ELECTRIC	COMPAX 20S	1	2	No obtenido

Tabla No. 12: Marcas y modelos de equipos de rayos X, y los respectivos porcentajes con respecto al total del Universo. También se muestra el resultado de la búsqueda de la información técnica.

No obtenidos: No se obtuvo ningún material bibliográfico que presentara la información requerida

Obtenidos: Los datos técnicos fueron encontrados.

No especificados: La información técnica encontrada, en la cual se describen los componentes del equipo bajo investigación, no presentan la información buscada.

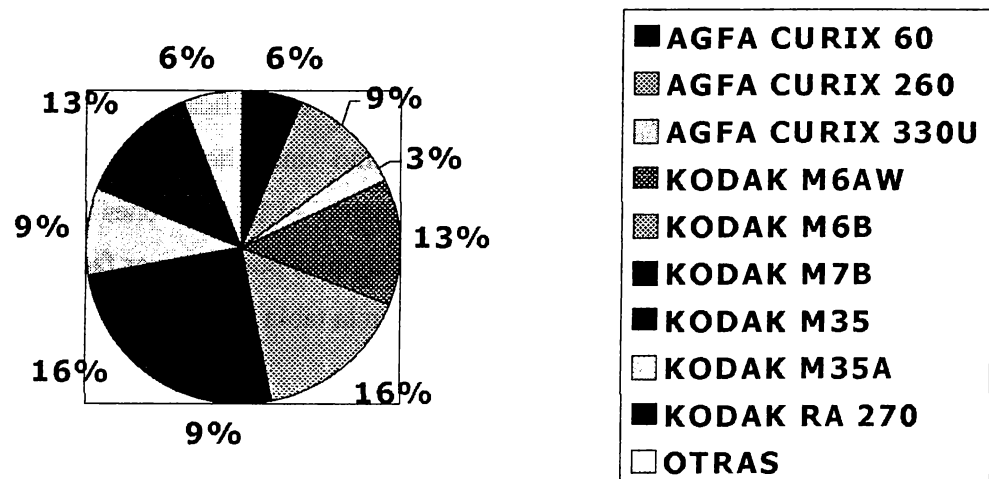


Figura No. 51: Distribución de marcas y modelos de procesadoras automáticas en los establecimientos del MSPAS.

No.	MARCA	MODELO	CANT	%	Resultado de la Investigación
1.	AGFA	CURIX 60	2	6	Obtenidas
2.	AGFA	CURIX 260	3	9	No obtenidas
3.	AGFA	CURIX HT 330 U	1	3	No obtenidas
4.	KODAK	M6AW	4	13	Obtenidas
5.	KODAK	M6B	5	16	Obtenidas
6.	KODAK	M7B	3	9	Obtenidas
7.	KODAK	M35	5	16	Obtenidas
8.	KODAK	M35A	3	9	Obtenidas
9.	KODAK	RA 270	4	13	Obtenidas
10.	CORDELL	MXR	1	3	No obtenidas
11.	DUPONT	QC 1-RH	1	3	No obtenidas

Tabla No. 13: Marcas y modelos de procesadoras automáticas, y los respectivos porcentajes con respecto al total del Universo. También se muestra el resultado de la búsqueda de la información técnica.

No obtenidos: No se obtuvo ningún material bibliográfico que presentara la información requerida

Obtenidos: Los datos técnicos fueron encontrados.

No especificados: La información técnica encontrada, en la cual se describen los componentes del equipo bajo investigación, no presentan la información buscada.

8.4. RESULTADOS DE MEDICIONES EN INSTALACIONES

Se evaluaron 15 instalaciones (cada una con una o más salas de rayos X y uno o más cuartos oscuros), haciendo un total de 30 salas de rayos X, y 20 cuartos oscuros, que contenían en su interior 29 equipos de rayos X y 21 procesadoras. Las 15 instalaciones están especificadas en la tabla No. 9. Cada instalación fue comparada con las especificaciones del fabricante del (los) equipo(s) instalados en ella (ver anexo 15); como una alternativa se compararon con las recomendaciones recopiladas en el presente documento en las secciones 2.1 y 2.2., las cuales se resumen en el anexo 14. De estas se seleccionaron algunas por la mayor facilidad de cumplimiento para las instalaciones en el país, estas se muestran en la tabla No. 14.

No.	ASPECTO	VALOR	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
1.	Espacio Cuarto Osc.	3.5 x 3 mts ²	[2]
2.	Espacio Sala de R-X	Altura: 3.10 mts. Area: 4.9 x 5.5 mts ²	[2][9]
3.	Temperatura almacén de películas	20-25°C (o fabric películas.)	SEFM
4.	Temperatura cuarto oscuro	20-25°C (o fabric películas.)	SEFM
5.	Temperatura Sala de R-X	22-25 °C	[9]

Tabla No. 15: Normas y recomendaciones de algunos organismos y autores para condiciones de instalación (no fabricantes) seleccionadas para la evaluación de las instalaciones.

El resultado de las evaluaciones se muestra en la tabla No. 12.

8.5. RESULTADOS DE COMPARACIÓN DE ESPECIFICACIONES DE FABRICANTES VRS. NORMAS Y RECOMENDACIONES

Se realizó una comparación de los datos suministrados por el fabricante, con los especificados por la SSA y la SEFM para control de calidad, y las recomendaciones recopiladas mostradas en la tabla No. 15, para las condiciones de instalación. Los resultados se muestran en la tabla No. 16.

No.	PARAMETRO	SSA		SEFM/SEPR		OTRO		NE
		ACEPTADO	NO ACEPTADO	ACEPTADO	NO ACEPTADO	ACEPTADO	NO ACEPTADO	
	CONTROL DE CALIDAD							
1.	Exactitud de temperatura de químicos	2 (6%)	--	2 (6%)	--	--	--	30 (94%)
2.	Prueba de cuarto oscuro	--	--	--	--	--	--	--
3.	Exactitud de kV	6 (12%)	27 (53%)	7 (14%)	26 (51%)	--	--	18 (35%)
4.	Valor de punto focal	--	--	--	--	--	--	51 (100%)
5.	Exactitud de tiempo de exposición	0 (0%)	30 (59%)	13 (26%)	17 (33%)	--	--	21 (41%)
6.	Rendimiento	--	--	--	--	--	--	51 (100%)
7.	Constancia de rendimiento	13 (26%)	0 (0%)	13 (26%)	0 (0%)	--	--	38 (74%)
8.	Coincidencia de campos radiación/luminoso	--	--	--	--	--	--	51 (100%)
9.	Coincidencia de centros	--	--	--	--	--	--	51 (100%)
10.	Contacto pantalla película	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11.	Calidad del Haz	13 (26%)	0 (0%)	13 (26%)	0 (0%)	--	--	38 (74%)
12.	Alineación de rejilla	--	--	--	--	--	--	51 (100%)
	CONDICIONES DE INSTALACIÓN					[2][9]		
13.	Temperatura ambiente sala R-X	NE	--	NE	--	23 (45%)	0 (0%)	28 (55%)
14.	Temperatura ambiente cuarto oscuro	NE	--	8 (25%)	0 (0%)	--	--	24 (75%)
15.	Temperatura ambiente películas	NE	--	0 (0%)	15 (100%)	--	--	0 (0%)
16.	Espacio Sala R-X	NE	--	NE	--	11 (21.6%)	1 (2%)	39 (76%)
17.	Espacio cuarto oscuro	NE	--	NE	--	30 (94%)	0 (0%)	2 (6%)

NE: No especificado

NA: No aplica

Tabla No. 16: Resumen de comparación fabricantes vrs. Normas y recomendaciones

9. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los datos se realizó tomando como base las hipótesis formuladas en la sección 6.1. Para la afirmación o contradicción de las hipótesis, se tomó en cuenta el porcentaje de los equipos que no cumplen con las normas/recomendaciones, analizando los posibles factores relacionados, los cuales fueron determinados en la sección 6.2.

HIPÓTESIS ORIGEN: En El Salvador existe una mala calidad de imagen.

Analizando el número de médicos que catalogaron como mala la imagen en las encuestas, puede notarse en la tabla No. 12, que esta categoría corresponde a un 0%, y un 89% la califica como buena, muy buena o excelente. A pesar de esto, el 60% del personal médico encuestado realiza comentarios negativos tales como mal procedimiento del operador, mal funcionamiento de los equipos, etc.

Analizando los factores que podrían haber influido en los resultados, se toma en primer lugar las categorías presentadas en la encuesta. Según lo externado por algunos de los encuestados, la categoría mala (la más baja) y excelente (la más alta) no la aplican ellos en las evaluaciones, debido a que son puntos extremos. Si asumimos entonces, que las de categoría regular son en realidad mala y los que dijeron buena, algunos buena y otros regular, no es una influencia determinante, ya que sólo serían el 11% malas, un 20% regulares, y aún así un 69% se encontrarían como buena, muy buena o excelente.

En segundo lugar se considera la presencia de los técnicos operadores en el momento de la encuesta (esto fue necesario, pues fueron ellos los que establecieron la comunicación con el personal médico), el saber que no era una encuesta iniciativa del departamento de rayos X, el posible acostumbramiento del personal médico a trabajar con radiografías de mediana calidad.

En conclusión, la imagen es calificada como buena, pero podría ser mejorada; por tanto *la hipótesis es rechazada. La hipótesis alternativa es aceptada.*

A partir de este resultado, se observa que es importante mejorar en los medios por los cuales se obtiene la imagen, y es importante hacerlo en lo que respecta al equipo, pues aunque la imagen sea catalogada como buena, el costo para producirla (número de repeticiones por malas imágenes) no queda descartado. Este detalle puede ser respaldado por la pregunta 4 de la encuesta al jefe de departamento de rayos X, en la cual el 14% opina que con un programa adecuado de control de

calidad podría mejorarse el número de exposiciones repetidas, estas exposiciones repetidas pueden disminuirse entre un 68 y 100 % según la opinión del 40 % de los encuestados, entre 34 y 67% según el 20 % de los encuestados, y sólo menor o igual al 33% según el 27 %. Este es un aspecto importante pues cada exposición repetida por mala calidad de imagen obtenida nos lleva a la exposición innecesaria de los pacientes a las radiaciones ionizantes, y como consecuencia el aumento de la probabilidad del desarrollo de enfermedades.

HIPÓTESIS PRINCIPAL: Más de un 50% de los equipos de rayos X no cumplen con las normas de control de calidad.

Los resultados a analizar para la evaluación de esta hipótesis están en la tabla No. 11. De los 7 establecimientos evaluados, ninguno fue calificado como aceptado en los once parámetros establecidos para control de calidad. En los equipos de rayos X (pruebas de la 3 a la 10), se repite la misma situación. Analizando prueba por prueba, los resultados fueron los siguientes:

1. Exactitud de la temperatura de los químicos: El 42% de las procesadoras fue aceptado tanto para la SSA, como para la SEFM. Dos de ellas (29%) no fueron aceptadas, una por estar fuera de funcionamiento, la otra por presentar una temperatura fuera del rango. El otro 29% no pudo ser evaluado, pues no se pudo obtener información acerca de la temperatura fijada en estas. El 100 % de la muestra no pudo ser evaluada con respecto al fabricante, ya que para el 58 % de estas el fabricante no especifica la tolerancia en la variación de la temperatura, del otro 42% no se pudo obtener la información.
2. Prueba de cuarto oscuro: Sólo 1 de los 7 establecimientos cumplió con esta prueba para la SSA y para la SEFM; otro de estos no es aplicable pues no se pudo realizar la prueba por no funcionar la procesadora, y 5 (71%) no pasaron la prueba. No existen datos de fabricante para este caso.
3. Exactitud del kilovoltaje Del 100 % muestreado un 29 % no cumplió con la norma. Este también estaba fuera de calibración con respecto al fabricante. Un 71 % si lo cumplió, tanto para la SSA, como para la SEFM.
4. Valor de punto focal: El 42 % de los equipos, muestran desgaste en el tamaño del punto focal, en las recomendaciones de la SEFM y del fabricante no fue encontrado un valor de tolerancia para este factor.

5. Exactitud de tiempo de exposición: Sólo el 29 % de los equipos cumplió con la norma mexicana, de estos el mismo porcentaje es el que cumple con el fabricante. Un 42 % no tiene datos de fabricante para comparación. Un 42 % no cumple ni con los parámetros del fabricante ni fue aceptado por los rangos de la SEFM y la SSA.
6. Rendimiento: Un 58 % pasó esta prueba, a pesar de ser diferentes valores para la norma mexicana y las recomendaciones de la SEFM, el porcentaje de equipos que pasan y no pasan la prueba son los mismos. Este dato no puede ser comparado con los fabricantes, pues en las especificaciones consultadas, no se encuentra información para comparación. Sin embargo se comprobó que cuando este no estaba dentro del rango, existía un problema ya sea en el kV, tiempo o mA; los equipos que no cumplían en esta prueba, presentaban un mAs diferente al nominal.
7. Constancia de rendimiento: Un 86 % pasa la prueba, y sólo un 14 % no. Este dato tampoco es especificado por los fabricantes del mismo.
8. Coincidencia de campos de radiación, con el luminoso: El 58 % es aceptado, lo cual denota que en el mantenimiento brindado, no se pone la suficiente atención a la calibración mecánica.
9. Coincidencia de centros: El 86% de los equipos pasaron la prueba, tanto para la SEFM como para la SSA, y sólo el 14% no.
10. Calidad del Haz: Un 86% cumplió con esta prueba, según los rangos de la SSA. Según la SEFM, sólo cumplen un 58%. Comparando con los datos de fabricante sólo un 14 % de los equipos evaluados tienen un HVL especificado por el fabricante.
11. Contacto pantalla película: Según la SSA, El 71% de los establecimientos evaluados presenta un buen contacto pantalla película en cuatro de los chasis que se encuentran en uso. Un 29% no pasa esta prueba, ambas se deben posiblemente a la exposición previa de las películas a la luz. Para la SEFM sólo un 14% no cumple con la prueba.

Por las condiciones encontradas, no existe suficiente información para rechazar la hipótesis.

CAUSAS ENCONTRADAS

- Equipos fuera de programas de mantenimiento preventivo. Del 100 % de los equipos de rayos X evaluados, el 14 % no estaba sujeto a mantenimiento preventivo, el 29% a mantenimiento preventivo interno, y el 58% a servicio externo. Para las procesadoras, sólo un 14% no estaba bajo contrato de mantenimiento externo (fuera de servicio), el resto si lo estaba, y por tanto todas estaban sujetas a un programa de mantenimiento preventivo.

- La procesadora que se encontró fuera de servicio, presentaba la característica que había sido adquirida por el hospital sin información técnica (manuales de operación, de servicio, etc.), por tanto el mantenimiento preventivo que se le brindaba probablemente no era el adecuado; por otro lado este equipo fue vendido ya usado y quizá reconstruido.
- Mantenimiento preventivo no adecuado. En los resultados del kilovoltaje, el 50 % de los equipos que no pasaron la prueba (14% del total) se debió a que el equipo no estaba calibrado.
- El no cumplimiento del tamaño del punto focal, denota equipos con uso excesivo, vida útil finalizada, o equipos que no han funcionado en las condiciones adecuadas. Un equipo no calibrado en kV, podría acelerar el desgaste del tubo.
- En 2 de los 7 establecimientos, se observaban películas radiográficas con presencia de velo, debido a falta de condiciones adecuadas, tales como estantes, o posibles acciones incorrectas con las películas, debido a que estas están en un almacén separado del departamento de rayos X.
- Entre las causas para el no cumplimiento de la prueba de cuarto oscuro figuran la entrada de luz exterior al mismo, y el uso de filtros o bombillos inadecuados (no recomendados por el fabricante).

Todas estas causas son originadas principalmente por el problema planteado en la tabla No. 7, “En El Salvador no existe un control de calidad establecido en forma sistemática para los equipos médicos, específicamente para los equipos de rayos X”. Al respecto, pueden observarse los resultados de la encuesta al jefe del departamento de rayos X (muestra 2). Un 53% de los establecimientos (de los 15 evaluados) dicen tener programas de control de calidad en su departamento, y ninguno de estos es parte de un programa nacional (es decir no es sistemático). Además según lo externado por ellos, sólo un 14 % lleva a cabo algunas de las pruebas de control de calidad especificadas en este documento, y un 7 % de estas lo hace a través de la empresa que le brinda servicio. El resto de este 53% realizan una revisión de calidad de las placas obtenidas, lo cual es parte del programa de garantía de calidad, y no del programa de control de calidad precisamente.

Las causas por las cuales los equipos de rayos X no cumplen con los parámetros de control de calidad, se analizan mejor en las hipótesis causales (derivadas) siguientes:

HIPÓTESIS DERIVADA 1: Los equipos no son calibrados en forma periódica ni adecuada.

Según la investigación en los 15 establecimientos (muestra 2), el 87 % de los equipos reciben calibración por lo menos una vez por año, aunque esto no es del conocimiento de los jefes de departamento de radiología, pues el 33 % de estos dice que no se les brinda calibración (tabla No. 10). A pesar de esto, analizando la muestra 1 (7 equipos evaluados), 4 de estos presentaban signos de deficiencia en la calibración, lo cual fue corroborado en 2 de estos, los cuales fueron recalibrados después del conocimiento por parte de las empresas que brindan mantenimiento a estos equipos, de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Por tanto se dice que no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis.

DERIVADA 2: Los equipos no reciben mantenimiento preventivo en forma periódica y adecuada. El 14 % de los equipos (muestra 1) que no cumplían uno de los parámetros, no estaba en un programa de mantenimiento preventivo programado. Además del 100% de los equipos en los establecimientos nacionales muestreados en forma dirigida (muestra 2: 29 equipos), sólo el 3.7% no estaba recibiendo programas de mantenimiento preventivo en ese mes.

Por tanto el recibimiento de mantenimiento preventivo si se cumple, pero en cuanto a ser adecuado, es cuestionable debido a lo expuesto en la hipótesis anterior. A pesar de esto el 74% de los jefes de departamento califican el mantenimiento preventivo como bueno, sólo un 13% como regular y ninguno como malo. Esto se debe, como es natural, a la falta de conocimiento de su parte acerca de los procedimientos de mantenimiento, lo cual se hace obvio cuando se les preguntaba que cuales equipos eran utilizados en el mantenimiento preventivo (pregunta 7 tabla No. 10). Pues los datos eran corregidos al indagar más al respecto por parte del encuestador. Esto hace énfasis en la necesidad de una persona designada por mantenimiento para la supervisión del mantenimiento.

Por tanto no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis.

DERIVADA 3: Los equipos no se encuentran en condiciones adecuadas para su funcionamiento. Sólo en uno de los 7 equipos evaluados, puede atribuirse el no cumplimiento de los parámetros con las condiciones de funcionamiento (voltaje). Esto constituye el 50 % de los equipos que no

cumplieron con este parámetro (exactitud de kV). Además de los 4 equipos que no cumplen con el valor de punto focal, sólo 1 de ellos podría ser afectado por la temperatura (el fabricante no especifica la temperatura ambiente). El espacio físico no se ha relacionado con alguna falla en el equipo, a pesar de esto, sólo el 33 % (para rayos X), y el 15% para cuartos oscuros (muestra 2), cumple con las recomendaciones recopiladas en este documento, y sólo el 33% de los jefes de departamento dicen que el espacio con que cuentan sus instalaciones es el adecuado.

La hipótesis se rechaza, en otras palabras no se establece que las condiciones de instalación sean causa del no cumplimiento de las pruebas de control de calidad.

Por otro lado, según al estudio realizado en los 15 establecimientos (tabla No. 14), tomando en cuenta que para el 67% de los equipos instalados no se pudo realizar la comparación de los espacios existentes con los establecidos por el fabricante (pues no se encontraron estas especificaciones), de el resto (33%), el 20% de los equipos si se encuentran en el espacio físico adecuado, mientras un 13% no. Lo cual indica que aunque no sea una causa para el no cumplimiento de las pruebas de control de calidad, si podría repercutir en la calidad de imagen obtenida.

DERIVADA 4: Los equipos han sufrido modificaciones que ya no le permitan desempeñar su función con suficiente calidad.

Analizando la muestra 2, el 40 % de los jefes de departamento apoyan esta hipótesis, mientras el 60 % no. Analizando sólo la muestra 1, 2 de los 7 equipos han sufrido modificaciones que no le permiten realizar todas las funciones, en uno de estos no fue posible determinar cuales son exactamente las modificaciones, el otro no incidió en la prueba de control de calidad, aunque sí en el funcionamiento en forma completa del equipo.

Por tanto no existe suficiente información para poder establecer que sean las modificaciones las causantes del no cumplimiento de las pruebas. *Por tanto la hipótesis se rechaza, y se acepta la hipótesis alternativa.*

DERIVADA 5: El equipo ya no cumple con las especificaciones del fabricante.

El 60 % de los jefes de departamento catalogan el funcionamiento de sus equipos como bueno y un 27% como regular y sólo un 7% como malo (Ver tabla No. 10). Los comentarios negativos causales más expresados fueron falta de mantenimiento y falla del mismo. Analizando la muestra 1, en 4 de los 7 equipos evaluados, se encontraron condiciones de no cumplimiento con las especificaciones del fabricante, uno corregible por acciones de calibración, los otros tres mediante

acciones combinadas de cambios de repuestos costosos (tubo de rayos X) y acciones de calibración. Las fallas encontradas fueron kV fuera del rango especificado por el fabricante, no funcionamiento de sistema de transporte de películas, no funcionamiento de uno de los focos en una o ninguna de las estaciones. En otras palabras son equipos que actualmente no cumplen con las especificaciones con las que fueron diseñadas

Por tanto no existe suficiente información para rechazar la hipótesis.

DERIVADA 6: Las especificaciones del fabricante de los equipos no cumplen con normas internacionales. De los 7 equipos evaluados, el 57 % de estos no cumplen en ninguno o en uno de los parámetros, con lo demandado por la norma mexicana. Del restante 43 % no se especifican estas condiciones técnicas, o no pudieron ser obtenidas. Esto puede extenderse al territorio nacional, pudiendo observarse como cifra importante, que el 43% de los equipos está constituido por equipos General Electric MST 625II, Universal Easymatic, y Unimatic 325, los cuales no cumplen con todas las tolerancias de la norma de la SSA y la SEFM.

Por tanto la hipótesis no es rechazada.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

10.1.1. GENERALES

- En los establecimientos visitados, la imagen obtenida tiene una calidad aceptable (según el criterio médico), pero se presentan deficiencias en el proceso de obtención, lo cual podría incidir en un mayor número de exposiciones repetidas, y por tanto mayor exposición de los pacientes y al operador a la radiación ionizante, situación que deberá ser objeto de estudio de otra investigación.
- En El Salvador, no existe un programa de garantía y control de calidad de radiodiagnóstico sistemático, para los establecimientos nacionales de salud.
- Ya que las pruebas de control de calidad vigilan que los equipos se encuentren dentro de ciertos rangos de funcionamiento, y es el objetivo del mantenimiento que estos se mantengan en continua y segura operación, ambas actividades son diferentes pero complementarias.
- Existe una falta de conocimiento en la mayor parte del personal operador de equipos de rayos X de lo que conlleva un programa de garantía y control de calidad.
- Esta investigación está y seguirá siendo de gran utilidad durante algún tiempo, para evaluar algunas de las deficiencias del proceso de formación de imagen seguido en los establecimientos del sector público de nuestro país.
- Esta investigación es sólo un primer paso para el mejoramiento de las condiciones de formación de las imágenes radiodiagnósticas en el país, y al que debe brindársele seguimiento y continuación.

10.1.2. EQUIPOS DE RAYOS X

- Para los equipos evaluados aleatoriamente, la principal causa del no funcionamiento adecuado (tomando en cuenta los parámetros de control de calidad) de los equipos de rayos x es la falta de calibración adecuada y periódica.
- La mayor parte de las empresas que brindan mantenimiento preventivo a los equipos no cuentan con los equipos adecuados para evaluar los parámetros de forma no invasiva (el 77 %

de los hospitales evaluados recibían mantenimiento externo por parte de empresas que no llevaban estos equipos).

- El segundo aspecto de incidencia es el no cumplimiento de los equipos con los parámetros del fabricante, sobre todo por el tiempo de operación que tienen ya sea estos o sus partes.
- Casi el 50 % de los equipos instalados actualmente en los establecimientos del MSPAS, no cumplen con los requisitos establecidos (según las especificaciones del fabricante) por la norma mexicana y la SEFM, por tanto estas no puede ser aplicada sin antes ser de adaptada.
- La realización de mediciones, como las hechas en esta investigación, tienen efecto inmediato y a largo plazo en la mejora del funcionamiento de los equipos, de las condiciones de trabajo de los establecimientos de radiodiagnóstico, en la mejor imagen, y en la menor exposición del paciente y operador a las radiaciones ionizantes.

10.1.3. PROCESADORAS AUTOMÁTICAS Y CUARTOS OSCUROS

- La exactitud establecida por la SSA y la SEFM no es especificada por el fabricante de la mayor parte (76%) de las procesadoras ubicadas en los establecimientos de salud, por lo que no puede hacerse aún una evaluación acerca de la aplicabilidad sobre este parámetro de estas normas.
- Sólo el 20% de los establecimientos evaluados tienen el filtro recomendado por el fabricante de las películas, lo cual incide grandemente en la calidad de imagen obtenida.
- Existen deficiencias en los cuartos oscuros, de fácil arreglo, como puede ser la obtención de un gabinete que no permite la entrada de luz a las películas, obstrucción de la entrada de luz por rendijas de puertas o entre la pared y la procesadora, que no reciben la suficiente atención por parte del personal del departamento de radiodiagnóstico.

10.2. RECOMENDACIONES

10.2.1. AL PERSONAL OPERADOR

- Mayor involucración en la evaluación del equipo durante su funcionamiento y después de un mantenimiento preventivo o correctivo.

- Búsqueda periódica de condiciones de velo de las películas, como entradas de luz en el cuarto oscuro, colocación de bombillos de potencia muy alta, calor excesivo en su lugar de almacenamiento, etc.
- Mayor exigencia hacia los encargados de brindar mantenimiento a estos equipos (ya sean estas empresas privadas o personal local), acerca de la calibración periódica de los mismos, en la cual se detallen las mediciones realizadas al final de la calibración.
- Exigir reportes detallados de los procedimientos de mantenimiento realizados en los equipos al suministrante de este servicio, y que estos sean revisados en conjunto con una persona del departamento de mantenimiento del hospital (o de mantenimiento general).

10.2.2. A LAS AUTORIDADES CORRESPONDIENTES

- Implementación de un programa de garantía y control de calidad a nivel nacional, que señale los errores, deficiencias y los aspectos positivos en los establecimientos nacionales, en lo que se refiere a radiodiagnóstico.
- Mayor conciencia de las entidades administrativas acerca de los peligros de la exposición a la radiación ionizante, y la importancia del apoyo económico hacia estos departamentos de tanta importancia para el diagnóstico.
- Se necesita una mayor capacitación al técnico operador, tanto en las técnicas utilizadas, como en programas de garantía y control de calidad, promoviendo entre estos una cultura de seguridad y prevención.

10.2.3. AL PERSONAL TÉCNICO DE MANTENIMIENTO LOCAL

- Tomar parte en la evaluación de las empresas que suministrantes de servicios de mantenimiento, para evaluar aspectos capacidad técnica del personal, equipos de medición utilizados, etc.
- Supervisar las visitas de las empresas de mantenimiento, tanto para acciones preventivas como correctivas, y verificar sobre todo que existan acciones de calibración de forma periódica.
- Revisión de los reportes de servicio recibidos en conjunto con el personal operador del equipo.

10.3. LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN

- Falta de existencia de información técnica de los equipos de rayos X, o la no especificación por parte del fabricante en la información entregada a los hospitales. Lo cual nos lleva a buscar a empresas de servicio, las cuales no siempre están dispuestas a brindar información.
- Los equipos de rayos X y procesadoras automáticas están en continuo cambio en el presente período, desde la elaboración del listado de estos equipos (anexos 6 y 7), se han sustituido dos equipos de rayos X , y más de una procesadora de películas.
- El tiempo de evaluación de una instalación (pruebas de control de calidad) de radiodiagnóstico toma aproximadamente 8 horas de ejecución (para un equipo de rayos X y una procesadora), 8 horas de procesamiento de datos, y 6 de análisis, haciendo un promedio de 22 horas, por lo cual el tiempo es otra limitante que no permitió evaluar un número mayor de equipos.

10.4. CRITERIOS SELECCIONADOS DE CONTROL DE CALIDAD

Es necesario para nuestro país establecer un rango de tolerancias para las pruebas de control de calidad en equipos de radiodiagnóstico, este rango de tolerancias debe por un lado contribuir a una mejor calidad de imagen (y sobre todo a la no exposición de los pacientes y operadores a radiaciones ionizantes por causa de una de mala calidad), y por el otro adaptarse a la realidad de nuestro país, en materia de capacidad económica. En otras palabras que no sea incumplible para nuestro país, pues requiere de cambiar más del 50% de los equipos.

A partir del estudio realizado, se ha concluido que ni las recomendaciones de la SEFM, ni la norma mexicana SSA pueden ser implementadas sin una adaptación. Debido al análisis de resultados acerca de la tabla No. 16, ni siquiera tomando la tolerancia más grande (entre la SSA y la SEFM) para cada prueba, podrían asignarse estos valores como criterios de control de calidad, ya que los rangos de los fabricantes no cumplirían estos criterios.

Si se estos valores fueran asignados de forma arbitraria (sin adaptación), en la evaluación de los equipos, podrían catalogarse como que necesitan calibración, aunque estos ya estén calibrados y lo único es que la tolerancia especificada por el fabricante es mayor que la especificada por la norma. Es por esto que para los parámetros en los cuales el fabricante comúnmente no brinda especificaciones, se adoptará el valor de mayor tolerancia brindado por las dos entidades

escogidas. Y para el resto de los valores, se tomará siempre en cuenta el dato proporcionado por el fabricante, antes de emitir un juicio o diagnóstico del equipo. Los valores recomendados se muestran en la siguiente tabla.

No.	Parámetro	Tolerancia
1.	Tensión (KV)	$< \pm 10\% *$
2.	Punto focal	Ver tabla en anexo 5
3.	Tiempo de exposición	$< \pm 10\%$ tiempo > 20 ms * 5ms tiempo < 20 ms
4.	Rendimiento (Exposición por unidad de corriente y tiempo)	<u>Trif (50 a 100) μGy/mAs; [5 a 10mR/mAs]</u> <u>Mf (30 a 60) μGy/mAs [3 a 6 mR/mAs]</u>
5.	Constancia de rendimiento	$\sigma \leq 10\% X$
6.	Coincidencia de centros	$\leq 2\%$ de la DFP nominal
7.	Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación	Cada lado $\leq 2\%$ DFI Suma total $\leq 3\%$ DFI
8.	Contacto pantalla película	< 1 cm áreas centrales
9.	Calidad del haz (CHR)	≥ 2.1 mm Al (71kVp) ≥ 2.3 mm Al (80kVp)
10.	Alineación de rejilla antidifusora	Apreciación visual
11.	Temperatura de revelador	± 0.5 °C
12.	Luz de seguridad	≤ 0.02 DO en cada escalón

* O lo establecido por el fabricante.

Tabla No. 17: Valores de tolerancia sugeridos para las pruebas de control de calidad para El Salvador.

Estos valores deberán ser reevaluados cada cierto tiempo, de acuerdo con la sustitución de los equipos. Los equipos nuevos deberán al menos cumplir con los valores establecidos en la tabla No. 17, de modo que después de cierto tiempo puedan implementarse estas tolerancias sin necesidad de aumentarlas con lo dicho por el fabricante.

10.5.PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN PARA EQUIPOS DE RAYOS X RADIOGRÁFICOS ESTACIONARIOS

El protocolo de aceptación deberá involucrar tanto pruebas cualitativas como cuantitativas. Dentro de las cuantitativas estarán las de control de calidad establecidas en el presente documento, y con los rangos de tolerancia definidos en la tabla No. 17. El protocolo se muestra en el anexo 16.

Si se desea hacer una calificación de los equipos de acuerdo a los valores de tolerancia especificados por el fabricante, pueden tomarse los valores de tolerancia del anexo 13, y establecer un sistema de puntuación de acuerdo al valor de tolerancia cumplido (entre menor sea la tolerancia, mayor puntuación adquirida).

CHASIS: Examine el exterior de todas las partes del equipo (por ejemplo mesa, soporte del tubo, panel de control, gabinetes del equipo, Bucky de pared, etc.) verifique que estas estén limpias y en buenas condiciones físicas. Asegúrese que todo el hardware está presente y no hay signo de líquidos derramados, golpes, rasguños profundos, golpes u otros daños. Revise la operación mecánica de todas las partes móviles, incluyendo el tubo de rayos X, soporte del tubo, colimador, parte superior de la mesa, mesa vertical (si es aplicable) y soportes de cassette. Asegurese que todos los movimientos se realizan con suavidad y facilidad, sin resistencia no adecuada.

Revise que el equipo tiene las dimensiones especificadas por el receptor con anterioridad, o en caso que no existan, que estas sean acordes con las instalaciones disponibles.

FRENOS: Revise que los frenos o dispositivos de fijación del movimiento para el tubo de rayos X, soporte del tubo, colimador, mesa, etc., funcionen adecuadamente y se mantengan con seguridad.

FUSIBLES/CIRCUITOS INTERRUPTORES: Si el equipo tiene uno o más interruptores de circuito, revise que estos sean accesibles (no estén bloqueados por gabinetes, o fuera del alcance por la presencia de mesas, muebles, etc. Y opera libremente.

Además si el equipo está protegido por uno o más fusibles externos, revise que el fusible esté etiquetado y que todos los repuestos de éste sean del tipo valor de corte adecuado. Si el valor y el tipo no están indicados, revise el manual para consultar el tipo y valor de corte adecuados, y coloque una viñeta con estos valores cerca del lugar donde se instala el fusible.

CABLES: Inspeccione cualquier cable (por ejemplo cables del colimador, cables de alto voltaje) y su tensión o soltura adecuados. Cuidadosamente examine los cables para detectar roturas en el asilamiento y para asegurar que ellos estén asegurados adecuadamente en los conectores, para prevenir rotación o cualquier otro esfuerzo. Para todos aquellos cables que no sean de alta tensión, verifique que no tienen fallas intermitentes flexionando los cables cerca de sus extremos,

buscando una falla de funcionamiento. Si se sospecha un problema, utilice un ohmímetro. Los cables de alto voltaje deben estar limpios, con protección de alto voltaje, y fijamente sujetos. Las terminales del transformador de alto voltaje no necesitan una rutina de inspección, si las terminales son verticales y se utiliza aceite para alto voltaje.

INDICADORES/DISPLAYS: Durante la inspección, confirmar la operación de todas las lámparas, indicadores, medidores, y dispositivos de presentación visual de la unidad. Ejemplos de indicadores y presentadores son los que fijan la técnica, tiempo de exposición, y encendido de rayos X. Inspeccione el indicador fuente objeto. Si la cinta de medición está presente, asegúrese que opera suavemente y con precisión.

ALARMAS: Produzca condiciones para activar las alarmas audibles y visuales (por ejemplo encendido de rayos X). Revise que cualquier sistema de seguridad asociado (por ejemplo inhibición de la exposición si el tubo de rayos X no está alienado con el receptor de imagen) funciona. Si la unidad tiene una opción de desactivación, revise que la forma de reinicio (reset) contra las especificaciones del fabricante. Si no es posible revisar todas las alarmas de este modo, porque algunas requieren condiciones anormales de operación (por ejemplo tiempos de exposición largos), instruya al personal operador, para que este registre la activación de esas alarmas, para así asegurarse que estas están funcionando.

Verifique que las alarmas críticas no puedan ser apagadas, silenciadas, o desactivadas sin la advertencia adecuada para el operador o reactivación automática después de un tiempo corto. Algunas deficiencias deberían ser reconocidas durante la evaluación previa a la compra. Sin embargo si alguna es encontrada, revise la justificación para compra y consulte con el fabricante (o suministrante) una posible solución. Si no existe solución para esta situación, se debe implementar un programa de entrenamiento para los operadores para reducir el riesgo de uso incorrecto. Una señal de advertencia en el dispositivo o un cartel en el área de uso podría ser usado.

SEÑALES AUDIBLES: Opere el dispositivo para activar cualquier señal audible (por ejemplo exposición radiográfica, funcionamiento de motor para desplazamiento de mesa, etc.), revise que el volumen sea el adecuado. Si las alarmas audibles han sido silenciadas o el volumen fijado en nivel bajo, ajuste el volumen al nivel adecuado.

VIÑETAS: Revise que todas las viñetas necesarias de certificación, advertencia, cartas de técnicas e instrucciones se encuentren presentes y sean legibles.

ACCESORIOS: Confirme la presencia y condición de accesorios (por ejemplo sujetadores de mano en la mesa radiográfica). Verifique que todas las partes y accesorios han sido suministrados con la unidad. Al menos una copia de cada manual (de preferencia dos) de instrucciones de uso y

servicio, incluyendo diagramas debe venir incluida con el equipo, y debe ser archivada en el departamento correspondiente. Una copia de el manual de instrucciones debe ser mantenida con la unidad y leída por todos los operadores antes que el equipo sea puesto en uso.

RESISTENCIA DE TIERRA: Utilizando un ohmímetro o multímetro con buena resolución de fracciones de ohmios, mida u registre la resistencia entre tierra común y las partes metálicas expuestas del equipo. Se recomienda una resistencia máxima de 0.5Ω . Interruptores de mano y de pie son energizados con bajos voltajes no necesitan ser aterrizados. Además utilizando un voltímetro, mida y registre el voltaje entre la referencia del punto de tierra (por ejemplo la clavija de un tomacorriente eléctrico cercano u otro punto de tierra conocido) y cualquier parte metálica expuesta del equipo (no pintada). Se recomienda un valor menor a 500 mV.

CORRIENTE DE FUGA: La corriente de fuga de chasis de un equipo permanentemente conectado no puede ser medido hasta después que su instalación ha sido completada. El equipo debe ser probado antes de su instalación, cuando el equipo es temporalmente aislado de tierra. La corriente de fuga de la carcasa a tierra no debe exceder 5 mA con todas las tierras desconectadas.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Eastman Kodak Company. "Elementos de Radiografía". Eastman Kodak Company, 1980.
- [2] Stewart C. Bushong. "Manual de Radiología para Técnicos" 6ª Edición, Baylore College of Medicine, Houston Texas. 1ª Edición 1993.
- [3] Ministerio de Salud y Acción Social, "Radiofísica Sanitaria", curso básico para médicos, odontólogos, ingenieros y técnicos", Buenos Aires, Argentina, 1988.
- [4] Organización Panamericana de la Salud, Proyecto Subregional de Ingeniería y Mantenimiento. "Curso de Control de Calidad y Protección radiológica para Ingenieros de Mantenimiento: Generación de Rayos X". 1991, Guatemala.
- [5] Héctor Alfonso Chávez Escobar, Boris Adalberto Chávez Escobar, "Determinación de rutinas de control de calidad para equipos de rayos X de diagnóstico marca General Electric, modelo MST 625-II y AMX-3. Instalados en los hospitales estatales de la zona metropolitana de San Salvador". Enero de 1992. Proyecto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador.
- [6] ECRI, "Inspection and Preventive Maintenance System", 1995, U.S.A.
- [7] GTZ/MSPAS "Manual de Mantenimiento Preventivo Planificado". 3ª Edición. 1998, El Salvador.
- [8] Juan Gonzalo Castellanos, "Sistema de Capacitación técnica, Mantenimiento de equipo médico, Módulo: equipo de radiodiagnóstico, submódulo: Instalación, Unidad 12: Planta física", 1989, Fondo Nacional Hospitalario, Bogotá, Colombia.
- [9] Juan Gonzalo Castellanos, "Sistema de Capacitación técnica, Mantenimiento de equipo médico, Módulo: equipo de radiodiagnóstico, submódulo: Instalación, Unidad 13: Redes", 1989, Fondo Nacional Hospitalario, Bogotá, Colombia.
- [10] Juan Gonzalo Castellanos, "Sistema de Capacitación técnica, Mantenimiento de equipo médico, Módulo: equipo de radiodiagnóstico, submódulo: Instalación, Unidad 14: Equipo", 1989, Fondo Nacional Hospitalario, Bogotá, Colombia.
- [11] Isadore Meschan. "Técnica Radiológica, posiciones y correlación anatómica", 2ª edición, 1982, Editorial médica panamericana.
- [12] Arthur G. Haus, "The basics of film processing in medical imaging", 1997, Medical Physics Publishing, Madison Wisconsin.
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÓMICA, "Procedimientos de protección radiológica", colección seguridad No. 38. 1974, Viena.

- [14] Herman Cember. "Introduction to Health Physics", Second Edition. 1988, A. Wheaton & Co. Ltd, Exeter. Great Britain.
- [15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. "ICRU report 33", 1980, Washington.
- [16] A. J. Rainbow, Ph.D. "A series of laboratory exercises in Radiographic Equipment calibration" September, 1977.
- [17] Boris Amílcar Alas Parras, Trabajo de Graduación para optar al grado de Ingeniero Biomédico "Diseño e implementación de un simulador electrónico de rayos X, 26 de Mayo de 1995, Universidad Don Bosco.
- [18] International Atomic Energy Agency. "The Safe Use of Radiation Sources". Training Course Series No. 6. 1995.
- [19] OPS, OMS. "Organización, desarrollo, garantía de calidad y radioprotección den los servicios de radiología: imaginología y radioterapia". Diciembre de 1997. Washington DC.
- [20] B. M. Moores. "Physical Aspects of Medical Imaging" Proceedings of a meeting held at the University of Manchester, 25-27th June 1980. John Wiley & Sons. Great Britain.
- [21] William R. Hendee, Ph.D. "Radiologic Physics Equipment and Quality Control", 1977. Year Book Medical Publishers, Inc. U. S. A.
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, "Normas básicas Internacionales de Seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación". Informes de seguridad, colección seguridad No. 115, Viena, 1997.
- [23] . OPS, OMS, "Garantía de la calidad en radiodiagnóstico", Publicación Científica N°469, Washington CC, 20037 EUA, 1984.
- [24] OPS, OMS. Fundación W. K. Kellogg. "Gerencia de la Calidad". Serie HSP-UNI/Manuales Operativos Paltex. Volumen III. 1996.
- [25] SSA (Secretaria de Salud Mexicana) "Norma oficial mexicana NOM-158-SSA1-1996. Especificaciones técnicas para equipos de diagnóstico médico con rayos X." México, 1997.
- [26] Sociedad Española de protección radiológica (SEPR), Sociedad Española de Física Médica (SEFM). "Protocolo Español de Control de Calidad en radiodiagnóstico". Aspectos técnicos. Edicomplet. Madrid, España. 1996.
- [27] GAMMEX RMI. "Quality Assurance Handbook". U.S.A. 1983.
- [28] GAMMEX RMI. "Quality Control in Diagnostic Radiology (Catalogo)". US.A. 1997.
- [29] GAMMEX RMI. "Multi-Function Meter RMI 240A, User's Guide" U.S.A.

- [30] Victoreen Inc. "Instruction manual X-Ray Device Model 4000M+" U.S.A. 1995.
- [31] General Electric Company. "Manual de servicio de General Electric MST 625II" U.S.A., 1981.
- [32] Universal X Ray Inc. "Operator's Manual and installation and service manual 3486-027A for UNI-MATIC 325 Generator 3486/3550". U.S.A. 1985.
- [33] General Electric Company. "Manual del operador General Electric systems (Mesa compax I)". U.S.A. 1997.
- [34] Shimadzu Corporation. "Operation Manual for X-ray High Voltage Generator XED150L-20". Kyoto Japan.
- [35] Shimadzu Corporation. "Installation manual for diagnostic table YS-1" Kyoto Japan.
- [36] Siemens. "Siemens Polymat 50 (versión C). Instrucciones de ajuste"
- [37] Siemens. "Polymat 50. Datos técnicos"
- [38] Siemens. "Instrucciones de uso Siregraph C"
- [39] Siemens. "Descripción técnica, instrucciones de operación. Biangulix 150/30/51-100".
- [40] Siemens. "Vertex 2E para radiografías. Instrucciones de uso"
- [41] Picker International. "Users equipment statement for X ray control and generator, Picker model VTX 1050". U. S. A. 1981.
- [42] Picker International. "Operators Guide, BGX 625 RF X-Ray Control. Canada. 1979.
- [43] Villa System Medical. "Manual Técnico de Servicio y del Operador de Mercury 165"
- [44] Eastman Kodak Company. "SERVICE BULLETIN NO. 30: Processing Recommendations for KODAK X-OMAT Processors for Models: M35, M35A, M35A-M, M35-M, M43, M43A, Clinic 1, M7B, M7B-E, 270 RA, 3000 RA, 180 LP, 180 LPS, Multiloader 300, Multiloader 300 Plus, M6A-N, M6AW, M6B, M8, M6RA, 460 RA, 480 RA, 5000 RA, 1000, 1000A, & 1000J". U.S.A. 1998
- [45] AGFA "Manual Instruction for Curix 400"
- [46] Héctor G. Riveros. "El Método Científico aplicado a las Ciencias Experimentales" Editorial Trillas
- [47] Wayne W. Daniel. "Bioestadística, base para el análisis de las Ciencias de la Salud" UTEHA. Noriega Editores.
- [48] Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio. "Metodología de la investigación". Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill, México D.F. 1991.
- [49] Gildaberto Bonilla "Estadística II, métodos prácticos de inferencia estadística". Segunda Edición. UCA Editores. San Salvador, El Salvador, 1992.

11. GLOSARIO

CAMPO: Espacio superficial en el cual se ejerce una exposición. Por ejemplo campo de radiación.

DIAGNÓSTICO: Identificación de una enfermedad o trastorno mediante la evaluación científica de sus signos físicos, sus síntomas, su historia clínica, los resultados de las pruebas analíticas y otros procedimientos.

ELECTRÓN-VOLTIO: Energía cinética que adquiere un electrón al atravesar en el vacío una diferencia de potencial de un voltio. ($1\text{ev} = 1.60 \times 10^{-19}$ Joules).

ESPECTRO: Imagen. –Resultado de la dispersión de un conjunto de radiaciones-. Gama completa de radiaciones electromagnéticas que comienza con la onda de radio de mayor longitud y termina con la onda más corta de los rayos cósmicos.

EXPOSICIÓN: Es la acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

FACTORES DE EXPOSICIÓN: Ver técnica radiográfica.

FLUORESCENCIA: Propiedad que permite que ciertas sustancias emitan luz cuando son excitadas por otra fuente de energía tal como la de electrones, rayos ultravioleta o rayos equis. – Cuando la luz persiste después de que la excitación ha sido removida, entonces el efecto es llamado fosforescencia.

FOTÓN: Un cuanto (quantum) de radiación electromagnética que posee la energía $h\nu$ (siendo h la constante de Planck y ν la frecuencia).

KeV: Kilo electrón Voltio = 1000 electrón voltio = 10^3 eV.

RADIACIÓN IONIZANTE: “Se dice que una radiación ionizante es aquella que hace interactuar directamente las partículas de radiación con los átomos o moléculas, resultando así la formación de pares de iones a lo largo del paso de la partícula. Las principales son: partículas alfa, partículas beta, rayos gamma, rayos X y neutrones”.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA: Es una clase de energía que se transmite por el espacio a enormes velocidades.

RADIACIÓN GAMMA: Radiación electromagnética emitida por núcleos atómicos. También llamada rayos gamma.

RESOLUCIÓN: Es la capacidad para apreciar dos objetos separados y distinguirlos visualmente uno del otro.

TÉCNICA RADIOGRÁFICA: Es la combinación de ajustes seleccionados en el panel de control de la máquina de rayos X para producir un efecto deseado en la radiografía.

TREBOLILLO: Colocación de objetos en filas paralelas de modo que los elementos de cada fila corresponden al claro de la otra.

TUNGSTENO: Elemento de la tabla periódica, que por su alto número atómico y su disipación térmica es utilizado en la fabricación de blancos en los tubos de rayos X.

VIDA ÚTIL: *Es el tiempo proyectado en el cual un equipo (o repuesto) opera con todas las funciones para las que fue diseñado sin presentar riesgo para el operador y el paciente, hasta que sea necesario someterlo a un reacondicionamiento mayor (overhaul), haya llegado a ser obsoleto, o haya sufrido un deterioro total por envejecimiento.*

ANEXOS


ANEXO 1: RUTINA DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO PARA EQUIPOS DE RAYOS X ESTACIONARIOS RADIOGRAFICOS. TOMADA DE [6]

Unidades radiográficas/Fluoroscópicas de propósito general

	Inspección			Inspección	
	Mayor	Menor		Mayor	Menor
1. Pruebas cualitativas					
1.1 Chasis	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.3 Precisión de kVp [$\pm 5\%$ del fijado]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.2 Frenos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.4 Precisión del tiempo [± 1 mSeg ó $\pm 5\%$ del tiempo fijado, el que sea mayor]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.3 Sujetadores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5 Linealidad de mAs [$\pm 10\%$ del valor promedio mR/mAs]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.4 Circuito de desconexión/Fusible	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.6 Reproducibilidad de la exposición [10%]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.5 Cables	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.7 Capa hemirreductora (HVL) [≥ 2.3 mm Al a 80kVp]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.6 Conectores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Colimación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.7 Filtros	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3. Mantenimiento Preventivo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.8 Controles/Interruptores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Limpie el exterior (interior si es necesario)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.9 Indicadores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lubricar de acuerdo a las instrucciones del fabricante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.10 Alarmas y Señales Audibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Calibrar el sistema según las instrucciones del fabricante	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.11 Etiquetas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Reemplace los filtros de aire si es necesario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1.12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4. Pruebas de aceptación		
1.13 Accesorios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Las pruebas de aceptación son típicamente realizadas por un físico médico		
1.14 Colimador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2 Pruebas cuantitativas					
2.1 Resistencia de tierra [$\leq 0.5\Omega$]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
2.2 Corriente de fuga [≤ 5 mA]	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

Inspección Mayor: Anual
 Inspección Menor: Semestral

ANEXO 2: RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (TRIMESTRAL) PARA EQUIPOS DE RAYOS X. TOMADA DE REFERENCIA [7]

RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL HOSPITAL NACIONAL DE: _____ DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
EQUIPO	<u>Rayos X Fijo sin Fluoroscopia</u>		SERVICIO:	
MARCA				
MODELO				
SERIE			AMBIENTE:	
N° INV. TECNICO				
ID				
<u>Trimestral</u>			1	2
Verificar elementos bajos en su rendimiento o defectuosos en sus características electrónicas.				
Verificar elementos bajos en su rendimiento o defectuosos en sus características mecánicas.				
Ajustar y calibrar corrientes del tubo de Rayos X *				
Ajustar y calibrar el compensador de voltaje de línea. *				
Ajustar y calibrar tiempos de exposición *				
Verificar la regulación del kilovoltaje según manual de servicio.				
Verificar estado de terminales Federal, aplicar pasta siliconada, si es necesario				
Verificar nivel de aceite del transformador de alta tensión, verificar rigidez dieléctrica del aceite si es necesario				

* Estos pasos se harán en conjunto con Mantenimiento Central

FECHA DE REALIZACIÓN				
CÓDIGO DE TÉCNICO				
FIRMA DEL TÉCNICO				
TIEMPO DE EJECUCIÓN (TIEMPO ESTÁNDAR 4H.)				

MPP-MED047
MARZO/98

Recomendaciones:

- Complementar la ejecución de la rutina con el manual del fabricante, si éste está disponible .
- Revisar el número de inventario y repintar si es necesario.
- Siempre complete toda la información.

<i>Material Gastable</i>	<i>Repuestos Mínimos</i>	<i>Herramientas y Equipo</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Pasta Siliconada • Limpiador de contactos eléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales Federal 	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador Plano • Destornillador Philips • Juego de llaves Allen • Multímetro • Llave Cangreja

Nota: Por lo menos una vez al año solicitar a nivel central medición con RMI

OBSERVACIONES

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

ANEXO 3: RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA PROCESADORAS AUTOMÁTICAS (TRIMESTRAL). TOMADA DE [7].

RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANIFICADO	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL HOSPITAL NACIONAL DE: _____ DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO					
	EQUIPO	<i>Procesadora de Películas Radiográficas</i>	SERVICIO:			
MARCA		AMBIENTE:				
MODELO						
SERIE						
N° INV. TECNICO						
ID						
Trimestral		1	2	3	4	
Lubricar motor de arrastre						
Lubricar bomba de recirculación						
Lubricar bomba de rellenado						
Lubricar motor ventilador						
Lubricar cadenas, piñones y demás partes mecánicas						
Verificar estado de filtro de químico del revelador, cambiar si es necesario						
Verificar sistema de secado, ventilador y calentador de aire						
Verificar estado de directores de película						
Verificar ajuste del calentador de aire						
Ajustar y calibrar temperatura del químico revelador						
Calibrar el rellenado de químico de acuerdo al régimen de trabajo						
FECHA DE REALIZACIÓN						
CÓDIGO DE TÉCNICO						
FIRMA DEL TÉCNICO						
TIEMPO DE EJECUCIÓN (TIEMPO ESTÁNDAR 3 H.)						

MPP-MED040
MARZO/98

Recomendaciones:

- Complementar la ejecución de la rutina con el manual del fabricante, si éste está disponible .
- Revisar el número de inventario y repintar si es necesario.
- Siempre complete toda la información.

<i>Material Gastable</i>	<i>Repuestos Mínimos</i>	<i>Herramientas y Equipo</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Franela • Aceite • Grasa 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro de químicos • O-rings • Arandelas • Abrazaderas 	<ul style="list-style-type: none"> • Destornillador Plano • Destornillador Philips • Juego de llaves Allen • Juego de Llaves Fijas mixtas • Termómetro digital • Multímetro

OBSERVACIONES

1.

2.

3.

4.

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO																
GIMG/99																
PRUEBA: TEMPERATURA DE LAS SOLUCIONES EN LA PROCESADORA (REVISIÓN MENSUAL DE LA CARTA DE CONTROL)																
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____																
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____																
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____																
SERVICIO: _____																
PROCESADORA. Marca: _____ Modelo: _____ No Serie: _____																
Temperatura: Rev: _____ °C Fij: _____ °C Tasa de relleno: _____ ml Rev. _____ ml Fij.																
NÚMERO O UBICACIÓN DE CUARTO OSCURO: _____																
CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTACIÓN : _____ V; _____ A; _____ Hz																
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)																
Material/Equipo				Marca				Modelo				No. Serie				Precisión
Termómetro																
Registro de temperaturas																
Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temp (°C) Rev																
Diferencia																
Temp (°C) Fij																
Diferencia																
Manchas(si/no)																
Día	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Temp (°C) Rev																
Diferencia																
Temp (°C) Fij																
Diferencia																
Manchas(si/no)																
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																
OBSERVACIONES:																
RECOMENDACIONES:																
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:												FECHA:				
												HORA:				
NOMBRE:						FIRMA:						SELLO DEL SERVICIO				
JEFE DE DEPARTAMENTO:																
NOMBRE:						FIRMA:										

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO															
PRUEBA: CONDICIONES DE CUARTO OSCURO (LUZ DE SEGURIDAD)															
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____															
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____															
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____															
SERVICIO: _____															
NÚMERO DE CUARTO OSCURO: _____															
LÁMPARA DE SEGURIDAD CON FILTRO: Rojo <input type="checkbox"/> Ambar <input type="checkbox"/> Otro: _____															
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)															
Material/Equipo	Marca	Modelo/ Color	No. Serie/ # Lote	Precisión/ Dimensiones											
Cassette															
Cronómetro															
Cuña sensitométrica o sensitómetro															
Densitómetro															
Película radiog. 1 (prueba sin velo)															
Película radiog. 2 (prueba con velo)															
Procesadora radiográfica															
MEDICIÓN DE DENSIDADES EN PELÍCULA															
# Paso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Densidad sin velo															
Densidad con velo															
Diferencia															
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>															
OBSERVACIONES:															
RECOMENDACIONES:															
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:										FECHA:					
										HORA:					
NOMBRE:					FIRMA:					SELLO DEL SERVICIO					
JEFE DE DEPARTAMENTO:															
NOMBRE:					FIRMA:										

NOTA: La procesadora radiográfica a utilizar debe estar sujeta a un programa de control de calidad, y haber sido aceptada

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO											
<small>GIMG/99</small>											
PRUEBA: MEDICIÓN DE EXACTITUD DEL KILOVOLTAJE											
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____											
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____											
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____											
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____											
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____											
No Serie: _____ Rango de kV: _____ Filtración inherente: _____ Adicional: _____											
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)											
Material/Equipo		Marca		Modelo		No. Serie		Precisión			
Medidor de kV											
# de pulsos (medido)		mA seleccionado		Tiempo seleccionado		DFP (mts)					
MEDICIONES DE KV											
# Paso		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Voltaje de alimentación instantáneo											
Valor seleccionado en equipo (kV)											
Valor medido (promedio/pico)											
Valor medido (efectivo)											
Valor medido (máximo)											
Diferencia											
Porcentaje de error (%)											
Fórmula de porcentaje de error:		$\frac{ \text{Valor nominal} - \text{Valor medido} }{\text{Valor nominal}}$				≤		5%			
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>											
OBSERVACIONES: Motivo de prueba: Rutinario <input type="checkbox"/> Reparación <input type="checkbox"/> Otro: _____											
RECOMENDACIONES: Necesita calibración: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>											
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:							FECHA:				
							HORA:				
NOMBRE:				FIRMA:				SELLO DEL SERVICIO			
JEFE DE DEPARTAMENTO:											
NOMBRE:				FIRMA:							

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO				
GIMG/99				
PRUEBA: PRUEBA DE PUNTO FOCAL				
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____				
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____				
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____				
No Serie: _____ Tamaño nominal del foco: Fino _____ (mm) Grueso _____ (mm)				
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)				
Material/Equipo	Marca	Modelo/ Color	No. Serie/ # Lote	Precisión/ Dimensiones
Cassette de exposición directa				
Lente de aumento				
Medidor de punto focal				
Pantalla de plomo				
Película radiográfica exposic. Direc				
Procesadora radiográfica				
MEDICIONES DE PUNTO FOCAL				
Medición # / Factores utilizados	1 (foco fino)	2 (foco fino)	1(foco grueso)	2(foco grueso)
kV utilizado				
mA utilizado				
Tiempo de exposición (mseg)				
Distancia foco película				
Número grupo con líneas perpendiculares				
Tamaño medido (largo) mm				
Valor permisible (largo) mm				
Número de grupo con líneas paralelas				
Tamaño medido (ancho) mm				
Valor permisible (ancho) mm				
Se encuentra dentro del rango	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
OBSERVACIONES: Motivo de prueba: Rutinario <input type="checkbox"/> Cambio de tubo <input type="checkbox"/> Otro: _____				
RECOMENDACIONES: Se necesita sustitución del tubo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:			FECHA:	
NOMBRE:			HORA:	
FIRMA:			SELLO DEL SERVICIO	
JEFE DE DEPARTAMENTO:				
NOMBRE:				
FIRMA:				

NOTA: El cuarto oscuro y la procesadora radiográfica a utilizar deben estar sujetos a un programa de control de calidad, y haber sido aceptados.

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO					
<small>GIMG/99</small>					
PRUEBA: EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO (RECIPROCIDAD)					
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____					
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____					
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____					
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____					
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____					
No Serie: _____ Rango de mA: _____ Generador: Monofásico <input type="checkbox"/> Trifásico <input type="checkbox"/> Otro: _____					
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)					
Material/Equipo	Marca	Modelo	No. Serie	Precisión	
Medidor de dosis de exposición					
Placa de plomo					
EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO (RECIPROCIDAD MAS)					
VALORES SELECCIONADOS					
Miliamperaje	Tiempo de exposición seleccionado	Kilovoltaje seleccionado	Cantidad de radiación medida ($\mu\text{C/kg}$) <input type="checkbox"/> (mR) <input type="checkbox"/>	mAs seleccionado	Cant. de radiación/mAs (calculado)
Monofásico: Entre 1.0 $\mu\text{Ckg}^{-1}/\text{mAs}$ y 1.6 $\mu\text{Ckg}^{-1}/\text{mAs}$			Trifásico: Entre 1.6 $\mu\text{Ckg}^{-1}/\text{mAs}$ y 2.1 $\mu\text{Ckg}^{-1}/\text{mAs}$		
Monofásico: Entre 4mR/mAs y 6 mR/mAs			Trifásico: Entre 6 mR/mAs y 8 mR/mAs		
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
OBSERVACIONES:					
RECOMENDACIONES: Se necesita calibración: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>					
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:				FECHA:	
NOMBRE:				HORA:	
FIRMA:				SELLO DEL SERVICIO	
JEFE DE DEPARTAMENTO:					
NOMBRE:					
FIRMA:					

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO													
GIMG/99													
PRUEBA: CONSTANCIA DE RENDIMIENTO													
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____													
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____													
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____													
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____													
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____ No Serie: _____													
Rango de mA: _____; Generador: Monofásico <input type="checkbox"/> Trifásico <input type="checkbox"/> Otro: _____													
Hora de Inicio: _____ Finalización: _____													
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)													
Material/Equipo			Marca			Modelo			No. Serie			Precisión	
Medidor de dosis de exposición													
Placa de plomo													
EVALUACIÓN DE LA CONSTANCIA DEL RENDIMIENTO													
Kilovoltaje seleccionado			Tiempo de exp. Selecc.				Distancia				Temp. ambiente		
mA selecc.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X	S	S(%X)
Fórmula a utilizar													
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - X)^2}{N-1}} \quad N \leq 30$													
$S \leq 10\%X$													
X = Media Aritmética													
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>													
OBSERVACIONES:													
RECOMENDACIONES: Necesita calibración: Si No													
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:										FECHA:			
NOMBRE:					FIRMA:					SELLO DEL SERVICIO			
JEFE DE DEPARTAMENTO:													
NOMBRE:					FIRMA:								

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO				
<small>GIMG/99</small>				
PRUEBA: COINCIDENCIA DE CENTROS Y DEL CAMPO DE RADIACIÓN				
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____				
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____				
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____				
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____				
No Serie: _____				
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)				
Material/Equipo	Marca	Modelo/ Color	No. Serie/ # Lote	Precisión/ Dimensiones
Cassette				
Dispositivo de medición				
Película radiográfica				
Procesadora radiográfica				
Regla o cinta métrica				
EVALUACIÓN DE COINCIDENCIA DE CENTROS Y CAMPO DE RADIACIÓN				
Kilovoltaje seleccionado	Tiempo de exp. Seleccionado	Corriente seleccionada		
Medición		Valor (cm)	Valor (% DFP)	
Distancia foco película (DFP)				
Distancia de centro luminoso y radiación				
Distancia de lado luminoso y radiación (laterales)				
Distancia de lados luminoso y radiación (longitudinales)				
Suma de distancias de lados				
Fórmula porcentaje de DFP:	$\text{Valor (\% DFP)} = \frac{\text{Valor (cm)}}{\text{DFP (cm)}} \times 100 \%$			
CONCLUSIONES:	Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES:				
RECOMENDACIONES: Se necesita calibración: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:			FECHA:	
			HORA:	
NOMBRE:		FIRMA:		SELLO DEL SERVICIO
JEFE DE DEPARTAMENTO:				
NOMBRE:		FIRMA:		

NOTA: El cuarto oscuro y la procesadora radiográfica a utilizar deben estar sujetos a un programa de control de calidad, y haber sido aceptados.

ANEXO 4: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD

PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD DE EQUIPOS DE RADIODIAGNÓSTICO					GIMG/99			
PRUEBA: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL HAZ (HVL)								
OBJETIVO DE LA MEDICIÓN: _____								
CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____								
NOMBRE DEL ESTABLECIMIENTO: _____								
SERVICIO: _____ AMBIENTE: _____								
EQUIPO R-X. Marca: _____ Modelo: _____ No Serie: _____								
Rango de mA: SF: _____ LF: _____; Generador: Monofásico <input type="checkbox"/> Trifásico <input type="checkbox"/> Otro: _____								
Filtración inherente: _____ [mm] Filtración adicional: _____ [mm]								
MATERIALES Y EQUIPO: (Registre donde aplique)								
Material/Equipo		Marca		Modelo		No. Serie		Precisión
Juego de láminas de aluminio								
Medidor de dosis de exposición								
Placa de plomo								
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL HAZ (HVL)								
Medición #	1 (inic)	2 (inic)	3	4	5	6	7	8
Kilovoltaje seleccionado								
Miliamperaje seleccionado								
Tiempo de exposición seleccionado								
mAs seleccionado								
Grosor de la lámina utilizada (mm)	s/lámina	s/lámina						
Radiación medida ($\mu\text{C/kg}$) <input type="checkbox"/> (R) <input type="checkbox"/>								
Valor de HVL determinado: _____	(mm Al)							
CONCLUSIONES: Aceptado: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>								
OBSERVACIONES:								
RECOMENDACIONES:								
PERSONA QUE REALIZO LA PRUEBA:						FECHA:		
						HORA:		
NOMBRE:			FIRMA:			SELLO DEL SERVICIO		
JEFE DE DEPARTAMENTO:								
NOMBRE:			FIRMA:					

ANEXO 5: Tolerancias en las dimensiones del punto focal (tomada de [25])

Punto Focal	Dimensiones del punto focal	
(Valor nominal)	Valores permisibles (mm)	
mm	Ancho*	Largo*
0.1	0.10 --- 0.15	0.10 --- 0.15
0.15	0.15 --- 0.23	0.15 --- 0.23
0.2	0.20 --- 0.30	0.20 --- 0.30
0.25	0.25 --- 0.38	0.25 --- 0.38
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
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

* 'Ancho' corresponde a la dimensión perpendicular al eje ánodo-cátodo, 'Largo' corresponde a la dimensión paralela al eje ánodo-cátodo

ANEXO 6: LISTADO DE EQUIPOS DE RAYOS X RADIOGRÁFICOS ESTACIONARIOS
(Válido para los establecimientos del Ministerio de Salud de El Salvador hasta la fecha: 26/05/99)

No.	ESTABLECIMIENTO	TIPO	MARCA	MODELO	SERIE	DEPTO
1.	H. de Ahuachapán	RAD Y F	SHIMADZU	ED150L	0362167004	AHUACHAPÁN
2.	H. de Ahuachapán	RAD	SHIMADZU	ED125L	0362195410	AHUACHAPÁN
3.	H. de Ilobasco	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	MA-0318-1185	CABAÑAS
4.	H. de Sensuntepeque	RAD	GENERAL ELEC	POWER PAX 40		CABAÑAS
5.	H. Chalatenango	RAD	CMR			CHALATENANGO
6.	H. de Nueva Concepción	RAD	UNIVERSAL	EASYMATIC 325		CHALATENANGO
7.	H. Suchitoto	RAD				CUSCATLAN
8.	H. Cojutepeque	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	MA 0306-1085	CUSCATLÁN
9.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	RAD Y F	GENERAL ELEC	MST625II	168506WK4	LA LIBERTAD
10.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	169371WK2	LA LIBERTAD
11.	H. Zacatecoluca	RAD Y F	GENERAL ELEC	MST625II	165242WK4	LA PAZ
12.	H. Zacatecoluca	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	169372WK0	LA PAZ
13.	H. La Unión	RAD	GE	POWER PAX 40		LA UNIÓN
14.	H. Santa Rosa de Lima	RAD	UNIVERSAL	EASYMATIC 325	KK-4307-0280	LA UNIÓN
15.	H. de San Fco Gotera	RAD	SHIMADZU	ED125L	0362195408	MORAZAN
16.	H. Ciudad Barrios	RAD	UNIVERSAL	EASYMATIC 325		SAN MIGUEL
17.	H. de Nueva Guadalupe	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	MA0298-1085	SAN MIGUEL
18.	H. Reg de San Miguel	RAD	FISHER	39680G		SAN MIGUEL
19.	H. Reg de San Miguel	RAD	FISHER	39300G	T12078	SAN MIGUEL
20.	H. Reg de San Miguel	RAD	FISHER	403450	T2169	SAN MIGUEL
21.	H. Reg de San Miguel	RAD	FISHER	36600G	T2504	SAN MIGUEL
22.	H. Maternidad	RAD Y F	GENERAL ELEC	MST625II	165287WK4	SAN SALVADOR
23.	H. Neumológico	RAD	PICKER	BGX 625 (4322 ^a)		SAN SALVADOR
24.	H. Neumológico	RAD	GE (Descartado)	ARISTOCRAT		SAN SALVADOR
25.	H. NNBB	RAD	SIEMENS	POLYMAT 50		SAN SALVADOR
26.	H. NNBB	RAD	SIEMENS	POLYMAT 50	03472528 (tubo)	SAN SALVADOR
27.	H. NNBB	RAD Y F	SIEMENS	SIREGRAPH C	599427506 (tubo)	SAN SALVADOR
28.	H. Psiquiátrico	RAD	UNIVERSAL	SUPERMATIC 325		SAN SALVADOR
29.	H. Rosales	RAD Y F	SHIMADZU	XED150L-20	0362168107	SAN SALVADOR
30.	H. Rosales	RAD Y F	SHIMADZU	ED150L	0362187005	SAN SALVADOR
31.	H. Rosales	RAD Y F	GENERAL ELEC	COMPAX 20S	1-11-94-735	SAN SALVADOR
32.	H. Rosales	RAD Y F	PICKER	GX 1050	1424	SAN SALVADOR
33.	H. Rosales	RAD Y F	GENERAL ELEC	MST625II	170599WK5	SAN SALVADOR
34.	H. Rosales	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325	MR 0840-0388	SAN SALVADOR
35.	H. San Bartolo	RAD	UNIVERSAL	EASYMATIC 325		SAN SALVADOR
36.	H. Zacamil	RAD	VILLA SIST MED	MERCURY165	577	SAN SALVADOR
37.	H. Zacamil	RAD	VILLA SIST MED	MOVIPLAN 760	578	SAN SALVADOR
38.	H. Zacamil	RAD	VILLA SIST MED	LEM	579	SAN SALVADOR
39.	U. S. San Jacinto	RAD	UNIVERSAL	SUPERMATIC 325		SAN SALVADOR
40.	U. S. San Miguelito	RAD	GENERAL ELEC	11CK10	15530.39	SAN SALVADOR
41.	H. San Vicente	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	169106WK2	SAN VICENTE
42.	H. Chalchuapa	RAD	GENERAL ELEC	POWER PAX 40		SANTA ANA
43.	H. Metapán	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325		SANTA ANA
44.	H. Sta. Ana.	RAD Y F	GENERAL ELEC	MST625II	168503WK1	SANTA ANA
45.	H. Sta. Ana.	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	169105WK4	SANTA ANA
46.	H. Sta. Ana.	RAD Y F	TOSHIBA	KXO-15E	A6612093	SANTA ANA
47.	H. Sonsonate	RAD	CONTINENTAL			SONSONATE
48.	H. Sonsonate	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	168236WK8	SONSONATE
49.	H. de Jiquilisco	RAD	UNIVERSAL	UNIMATIC 325		USULUTÁN
50.	H. de Santiago de María	RAD	UNIVERSAL	EASYMATIC 325		USULUTÁN
51.	H. de Usulután	RAD	GENERAL ELEC	MST625II	169107WK0	USULUTÁN

ANEXO 7: LISTADO DE PROCESADORAS AUTOMÁTICAS

(Válido para los establecimientos del Ministerio de Salud hasta la fecha: 26/05/99)

No.	ESTABLECIMIENTO	MARCA	MODELO	No. Serie	DEPTO
1.	H. de Ahuachapán	AGFA	CURIX 260	03.951010	AHUACHAPÁN
2.	H. de Ilobasco		NO TIENE		CABAÑAS
3.	H. de Sensuntepeque		NO TIENE		CABAÑAS
4.	H. Chalatenango		NO TIENE		CHALATENANGO
5.	H. de Nueva Concepción		NO TIENE		CHALATENANGO
6.	H. Suchitoto		NO TIENE		CUSCATLAN
7.	H. Cojutepeque	KODAK	M6AW	8539	CUSCATLÁN
8.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	KODAK	M35	37442	LA LIBERTAD
9.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	KODAK	M35	38211	LA LIBERTAD
10.	H. Zacatecoluca	KODAK	M7B	19278	LA PAZ
11.	H. Zacatecoluca	KODAK	M6B	21602	LA PAZ
12.	H. La Unión		NO TIENE		LA UNIÓN
13.	H. Santa Rosa de Lima		NO TIENE		LA UNIÓN
14.	H. de San Francisco Gotera		NO TIENE		MORAZAN
15.	H. Ciudad Barrios	AGFA	CURIX 60		SAN MIGUEL
16.	H. de Nueva Guadalupe	AGFA	CURIX 260	03.951008	SAN MIGUEL
17.	H. Regional de San Miguel	KODAK	M6B	5078	SAN MIGUEL
18.	H. Regional de San Miguel	KODAK	M6B	25566	SAN MIGUEL
19.	H. Maternidad	KODAK	M6A-W	11906	SAN SALVADOR
20.	H. Neumológico	CORDELL	MXR	960032	SAN SALVADOR
21.	H. NNBB	KODAK	M35A	(Anexo)35451	SAN SALVADOR
22.	H. NNBB	KODAK	M6AW	(R - X)4101	SAN SALVADOR
23.	H. NNBB	KODAK	RA270	(R-X)1940	SAN SALVADOR
24.	H. NNBB	KODAK	RA270	(Quirófanos)1955	SAN SALVADOR
25.	H. Psiquiátrico	AGFA	CURIX		SAN SALVADOR
26.	H. Rosales	KODAK	M6B	1700	SAN SALVADOR
27.	H. Rosales	KODAK	M6A-W	5525 (123)	SAN SALVADOR
28.	H. Rosales	KODAK	M35A (X-OMAT)	5503	SAN SALVADOR
29.	H. Rosales	KODAK	RA 270	3059(1422)	SAN SALVADOR
30.	H. San Bartolo	KODAK	M35	1327	SAN SALVADOR
31.	H. Zacamil	KODAK	M35	38824	SAN SALVADOR
32.	H. Zacamil	KODAK	RA270	1689	SAN SALVADOR
33.	U. S. San Jacinto	KODAK	M35A	5499	SAN SALVADOR
34.	U. S. San Miguelito		NO TIENE		SAN SALVADOR
35.	H. San Vicente	DUPONT	QC 1-RH		SAN VICENTE
36.	H. San Vicente	AGFA	CURIX260	03.951009	SAN VICENTE
37.	H. Chalchuapa	KODAK	M35	41944	SANTA ANA
38.	H. Metapán		NO TIENE		SANTA ANA
39.	H. Sta. Ana.	KODAK	M6B	5084	SANTA ANA
40.	H. Sta. Ana.	AGFA	CURIX HT 330U		SANTA ANA
41.	H. Sonsonate	KODAK	M7B	19280	SONSONATE
42.	H. de Jiquilisco	AGFA	CURIX-60		USULUTÁN
43.	H. de Santiago de María		NO TIENE		USULUTÁN
44.	H. de Usulután	KODAK	M7B	19455	USULUTÁN

ANEXO 8: LISTA DE GRUPOS DE PROCESADORAS CON EQUIPOS DE RAYOS X (SIN ESTABLECIMIENTOS SIN PROCESADORAS)

No.	ESTABLECIMIENTO	EQUIPO DE RAYOS X		PROCESADORA		DEPARTAMENTO
		MARCA	MODELO	MARCA	MODELO	
1.	H. de Ahuachapán	SHIMADZU	ED150L	AGFA	CURIX 260	AHUACHAPÁN
2.	H. de Ahuachapán	SHIMADZU	ED125L			AHUACHAPÁN
3.	H. Cojutepeque	UNIVERSAL	325	KODAK	M6AW	CUSCATLÁN
4.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M35	LA LIBERTAD
5.	H. Sta. Tecla (San Rafael)	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M35	LA LIBERTAD
6.	H. Zacatecoluca	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M7B	LA PAZ
7.	H. Zacatecoluca	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M6B	LA PAZ
8.	H. Ciudad Barrios	UNIVERSAL	325	AGFA	CURIX 60	SAN MIGUEL
9.	H. de Nueva Guadalupe	UNIVERSAL	325	AGFA	CURIX 260	SAN MIGUEL
10.	H. Reg de San Miguel	FISHER	39680G	KODAK	M6B (5078)	SAN MIGUEL
11.	H. Reg de San Miguel	FISHER	39300G	KODAK	M6B	SAN MIGUEL
12.	H. Reg de San Miguel	FISHER	403450			SAN MIGUEL
13.	H. Reg de San Miguel	FISHER	36600G			SAN MIGUEL
14.	H. Maternidad	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M6A-W	SAN SALVADOR
15.	H. Neumológico	PICKER	4322 ^a	CORDELL	MXR	SAN SALVADOR
16.	H. Neumológico	GE (Descartado)	ARISTOCRAT			SAN SALVADOR
17.	H. NNBB	SIEMENS	POLYMAT 50	KODAK	M35A	SAN SALVADOR
18.	H. NNBB	SIEMENS	POLYMAT 50	KODAK	M6AW	SAN SALVADOR
19.	H. NNBB	SIEMENS	POLYMAT 50	KODAK	RA270	SAN SALVADOR
20.	H. Psiquiátrico	UNIVERSAL	325	AGFA	CURIX	SAN SALVADOR
21.	H. Rosales	SHIMADZU	XED150L-20	KODAK	M6B	SAN SALVADOR
22.	H. Rosales	SHIMADZU	ED150L	KODAK	M6A-W	SAN SALVADOR
23.	H. Rosales	GENERAL ELEC	COMPAX 20S	KODAK	M35A (X-OMAT)	SAN SALVADOR
24.	H. Rosales	PICKER	GX 1050	KODAK	RA 270	SAN SALVADOR
25.	H. Rosales	GENERAL ELEC	MST625II			SAN SALVADOR
26.	H. Rosales	UNIVERSAL	325			SAN SALVADOR
27.	H. San Bartolo	UNIVERSAL	325	KODAK	M35	SAN SALVADOR
28.	H. Zacamil	VILLA SIST MED	MERCURY165	KODAK	M35	SAN SALVADOR

29.	H. Zacamil	VILLA SIST MED	MOVIPLAN	KODAK	RA270	SAN SALVADOR
30.	H. Zacamil	VILLA SIST MED	LEM			SAN SALVADOR
31.	U. S. San Jacinto	UNIVERSAL	325	KODAK	M35A	SAN SALVADOR
32.	H. San Vicente	GENERAL ELEC	MST625II	AGFA/DUPONT	CURIX210/QC1-RH	SAN VICENTE
33.	H. Chalchuapa	GENERAL ELEC	COMPAC40	KODAK	M35	SANTA ANA
34.	H. Sta. Ana.	GENERAL ELEC	MST625II	AGFA	CURIX HT 3300	SANTA ANA
35.	H. Sta. Ana.	GENERAL ELEC	MST625II			SANTA ANA
36.	H. Sta. Ana.	TOSHIBA	KXO-15E	KODAK	M6B	SANTA ANA
37.	H. Sonsonate	CONTINENTAL		KODAK	M7B	SONSONATE
38.	H. Sonsonate	GENERAL ELEC	MST625II			SONSONATE
39.	H. de Jiquilisco	UNIVERSAL	325	AGFA	CURIX-60	USULUTÁN
40.	H. de Usulután	GENERAL ELEC	MST625II	KODAK	M7B	USULUTÁN

ANEXO 9:

**CONTROL DE CALIDAD EN EQUIPO DE RADIODIAGNÓSTICO
ENCUESTA PARA MEDICOS USUARIOS DE RADIOGRAFÍAS**

FECHA: _____

PROFESIÓN: _____

¿Cómo calificaría la calidad de las imágenes que se proporcionan en su hospital?

Excelente (10) Muy Buena (8-9) Buena(6-7) Regular (4-5) Mala (0-3)

¿Por qué? _____

**ANEXO 10:
ENCUESTA PARA JEFES DE DEPARTAMENTO DE RAYOS X**

ASPECTO A EVALUAR: Existencia de control de calidad sistematizado de radiodiagnóstico en los hospitales.

15. ¿Sabe usted en que consiste el control de calidad en radiodiagnóstico?, explique brevemente: Si No

16. ¿Cuáles son para usted los principales beneficios de un control de calidad?

- f) Mejores imágenes
 g) Menor número de exposiciones repetidas
 h) Mayor duración de los equipos
 i) Otros: _____
 j) No hay beneficios

17. ¿Existe un programa de control de calidad actualmente en su departamento? Si su respuesta es positiva, clasifíquelo señalando uno de las siguientes casillas: Si No

- a) Parte de un programa nacional c) Iniciativa de su departamento
 b) Iniciativa de su hospital d) Otros: _____

ASPECTO A EVALUAR: Existencia de una calidad de imagen insuficiente.

18. ¿Cree usted que podría disminuirse el número de exposiciones repetidas con un programa de control de calidad en su departamento? Si No
 ¿En que porcentaje? _____

ASPECTO A EVALUAR: El equipo se encuentra en malas condiciones de funcionamiento

19. ¿Cómo es el grado de satisfacción en cuanto al funcionamiento de el (los) equipo (s) con que cuenta su departamento? Excelente (9-10) Bueno(7-8)
 Regular (5-6) Malo (0-4)
 ¿Por qué? _____

ASPECTO A EVALUAR: El equipo no ha sido calibrado adecuadamente

20. c) ¿El equipo con el que cuenta su establecimiento, ha sido sujeto a acciones de calibración? Si No
 d) Si su respuesta es positiva, ¿son estas calibraciones de tipo periódico? Si No
 Frecuencia aproximada: _____
 e) ¿Existe algún registro de estas? Si No

ASPECTO A EVALUAR: Pertenencia del equipo a acciones de mantenimiento preventivo y correctivo adecuadas

21. a) ¿Se le proporciona a su equipo acciones de mantenimiento preventivo y/o correctivo? Preventivo Correctivo Ninguno
 b) ¿Cuál es la frecuencia aproximada de estas acciones?
 Preventivo: cada _____ meses Correctivo: cada _____ meses

Sigue ...

Viene de anexo 10

22. c) ¿Cuál es el tiempo aproximado de duración de éste?

Preventivo: _____ Hrs. Correctivo: _____

d) ¿Incorporan estas acciones equipo de calibración y/o de medición? Si No

e) Señale cuales:

Medidor de kilovoltaje Medidor de dosis de exposición

Juego de láminas de aluminio Medidor de tiempo de exposición

Termómetro: Multímetro

Otros: _____

23. ¿Existe una persona responsable de recibir el equipo después de un mantenimiento? Si No

24. ¿Cuál es el grado de satisfacción con las acciones de mantenimiento preventivo o correctivo? Excelente (9-10) Bueno(7-8) Regular (5-6) Malo (0-4)

¿Por qué? _____

ASPECTO A EVALUAR: El equipo funciona en condiciones de operación adecuadas.

25. c) ¿Considera usted que en la sala de rayos X y el cuarto oscuro existe un espacio apropiado para realizar todos los procedimientos normales de su departamento? Si No

d) ¿Por qué? _____

Escriba las dimensiones de los siguientes ambientes de su departamento:

	Alto	Largo	Ancho
Sala de Rayos X	Mts.	Mts.	Mts.
Sala de Rayos X	Mts.	Mts.	Mts.
Cuarto Oscuro	Mts.	Mts.	Mts.
Cuarto Oscuro	Mts.	Mts.	Mts.
Panel de control	Mts.	Mts.	Mts.
Panel de control	Mts.	Mts.	Mts.

ASPECTO A EVALUAR: El equipo no ha sufrido modificaciones que ya no le permitan desempeñar su función con suficiente calidad.

26. ¿Ha sufrido el equipo alguna modificación que pueda haberlo afectado en su funcionamiento (por ejemplo: Cambio de tubo, combinación de varias partes para formar un equipo nuevo, etc.). Explique. Si No

ASPECTO A EVALUAR: Operación y manejo adecuados por parte del operador

27. ¿Considera usted que existe una operación apropiada del equipo por parte del operador? Si No

28. ¿Considera usted que existe un manejo adecuado del equipo por parte del operador? Si No

29. ¿Recibe su personal una capacitación periódica acerca del manejo y operación del equipo? Si No

ANEXO 11: FORMATO PARA EVALUACIÓN FUERA DE LA ENCUESTA

ASPECTOS A EVALUAR FUERA DE LA ENCUESTA

HOSPITAL: _____
 # Salas: _____ # Cuartos Osc: _____ # R-X: _____ #Proc: _____

ASPECTO A EVALUAR: El equipo tiene un tiempo de uso demasiado largo.

ACCIÓN: Anotar el año de fabricación del equipo.

EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	AÑO FAB:

ASPECTO A EVALUAR: El equipo aún cumple con las especificaciones del fabricante. (muestral)

ACCIÓN: Comparar las especificaciones del fabricante para comparar los valores medidos con los originales del diseño (muestral).

ASPECTO A EVALUAR: Las especificaciones del fabricante no son las adecuadas.

ACCIÓN: Comparar los valores dados por el fabricante con las normas.

Existencia de especificaciones del fabricante (R-X):	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Tipo:
Existencia de especificaciones del fabricante (Pro):	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Tipo:

ASPECTO A EVALUAR: El equipo se encuentra en condiciones de temperatura y alimentación eléctrica adecuadas.

ACCIÓN: Medir la diferencia de temperaturas del ambiente y la del interior de la sala. Solicitar al Instituto de meteorología las diferentes temperaturas del país a diferentes épocas del año.

	TEMPERATURA	HORA	A A	EXTRACT
AMBIENTE:				
SALA(S) R-X				
CUARTO(S) OSCURO(S)				
ALMACEN DE PELICULAS				

	VOLTAJE	HORA
EQUIPO R-X		
PROCESADORA		

	EQ. R-X	PROCESADOR	OBSERVACIONES
Existencia registro de servicio/ equipo:	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Tipo de documento			
Período cubierto			
Frecuencia promedio de MPP			
Frecuencia de calibración			
Ultima fecha de calibración			
Cambios signific. en equipo (fecha)	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

Luz de seguridad:	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No	Color:	Película utilizada:
-------------------	---	--------	---------------------

MATERIAL A SOLICITAR:

- Especificaciones del fabricante.
- Hoja de vida
- Registro de servicio del equipo.
- Registro de calibraciones

ANEXO 12: EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

No.	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE
1.	Medidor no invasivo de parámetros radiológicos (kilovoltaje, mA, , mAs y tiempo).	RMI	240A	240A-R-1568
2.	Medidor de dosis de exposición	Victoreen	4000M+	1461
3.	Medidor de punto focal	RMI	112B	112B-2506
4.	Juego de láminas de Aluminio	Victoreen	--	--
5.	Dispositivo de prueba de contacto pantalla película	RMI	143C	2238
6.	Dispositivo de prueba de restrictor de haz	--	--	--
7.	Termómetro de inmersión	Electro therm	TM99A	216315
8.	Densitómetro	X rite	331	025862
9.	Sensitómetro	X rite	334	015957
10.	Cinta Métrica	Stanley	--	--
11.	Nivel circular	RMI	--	--

ANEXO VALORES DE TOLERANCIA UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS DE RAYOS X, PROCESADORAS AUTOMÁTICAS, CUARTO OSCURO Y CHASIS ESPECIFICADOS POR LA SSA Y LA SEFM PARA EL CONTROL DE CALIDAD

EQUIPOS DE RAYOS X

No.	Parámetro	Tolerancia NOM 158-SSA1-1996	Tolerancia SEFM/SEPR
1.	Tensión (KV)	± 5%	< ± 10 %
2.	Punto focal	Ver tabla 7	Especificaciones del fabricante
3.	Tiempo de exposición	± 5%	< ± 10% tiempo > 20 ms 5ms tiempo < 20 ms
4.	Rendimiento (Exposición por unidad de corriente y tiempo)	Trif (1.6 a 2.1) µC/Kg.mAs; 60 a 80µGy/mAs, 6 a 8 mR/mAs Mf (1.0 a 1.6) µC/Kg.mAs; 40 a 60 µGy/mAs; 4 a 6 mR/mAs	Trif (50 a 100) µGy/mAs; [5 a 10mR/mAs] Mf (30 a 60) µGy/mAs [3 a 6 mR/mAs]
5.	Constancia de rendimiento	$\sigma \leq 10\% X$	$\sigma < 10\% X$
6.	Coincidencia de centros	$\leq 2\%$ de la DFP nominal	< 1.5° [2.62 % de DFP]
7.	Coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación	Cada lado $\leq 2\%$ DFI Suma total $\leq 3\%$ DFI	Cada lado $\leq 2\%$ DFI Suma total $\leq 3\%$ DFI
8.	Contacto pantalla película	< 1cm áreas centrales	Apreciación visual
9.	Calidad del haz (CHR)	≥ 2.1 mm Al (71kVp) ≥ 2.3 mm Al (80kVp)	> 2.5mm Al (70 kVp) [> 2.7 mm Al (80 kVp)]
10.	Alineación de rejilla antidifusora	Desviación máxima 0.1 DO en dirección eje ánodo cátodo (30 x 30 cm)	Apreciación visual

[] Adaptado para comparar con norma mexicana

PROCESADORA DE PELÍCULAS Y LUZ DE SEGURIDAD

No.	Parámetro	Tolerancia SSA	Tolerancia SEFM/SEPR
11.	Temperatura	± 0.5 °C	< ± 0.5 °C (rev) < ± 0.2 °C (fij)
12.	Luz de seguridad	≤ 0.02 DO en cada escalón	≤ 0.02 DO

**ANEXO NORMAS Y RECOMENDACIONES DE ALGUNOS ORGANISMOS Y AUTORES PARA CONDICIONES DE
INSTALACIÓN (NO FABRICANTES)**

No.	ASPECTO	BUSHONG	FONDO NAC H	Elementos de Radiografía (KODAK)	SSA	SEFM
1.	Espacio Cuarto Osc.	3.5 x 3 mts ²	NE	NE	NE	NE
2.	Espacio Panel de Control	2.32 mts ²	1-2 mt2	NE	NE	NE
3.	Espacio Sala de R-X	4.9 x 5.5 mts (mínimo)	Alto: 3.1 mt	NE	NE	NE
4.	Filtro de luz de seguridad	Ambar: P. Azul Rojo: P. Verde	NE	NE	NE	NE
5.	Temperatura almacén de películas	NE	NE	≤ 20 °C	10-21°C (o fabricante)	20-25°C (o fabric películas.)
6.	Temperatura cuarto oscuro	NE	20°C	NE		20-25°C (o fabric películas.)
7.	Temperatura Sala de R-X	NE	22-25°C	NE	NE	NE

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: General Electric

Modelo: MST 625 II

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	<u>NE</u>	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	≤ 40 ° C (≤ 2,438 mts)	--	--
3.	Voltaje de alimentación	230 ó 480 VAC ± 5%	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	(± 3% + 5) kVp (>10 mSeg) (± 3% + 9) kVp (<10 mSeg)	NO	NO
5.	Valor permisible de punto focal	<u>NE</u>	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	2-20 mSeg.: ± 0.5 mSeg 25 -6,000 mSeg.: ± 2%	NO	SI
7.	Rendimiento	<u>NE</u>	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	NE	--	--

OBSERVACIONES

1.	Las condiciones se cumplen cuando el tubo ha sido seleccionado y calentado, durante una hora y 15 minutos
----	---

FUENTE CONSULTADA

1.	Manual de servicio de General Electric MST 625II
----	--

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Universal

Modelo: Unimatic 325

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	NE	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	NE	--	--
3.	Voltaje de alimentación	<u>240 VAC ± 5%</u>	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	(± 19%) Máxima desviación con respecto al valor selecc	NO	NO
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	1/60 – 1/10: ± 1.0 Pulsos 3/20 – 6 Seg.: ± 14%	NO	NO
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	Coefficiente de variación: ≤ 0.048	SI	SI
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	≥ 3.5 mm Al	SI	SI
11.	Parámetros de la rejilla	NE	--	--

OBSERVACIONES

1.	La norma que cumple es de acuerdo a la publicación NEMA # xr8-1979: "Test for diagnostic x ray Machines for use during initial installation" Publicada por la FDA, BRH.
----	---

FUENTES CONSULTADAS

1.	Operator's Manual and installation and service manual 3486-027A
----	---

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: General Electric

Modelo: Power Pax 40

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	Espacio físico de instalación	Altura: 2.315 mt Longitud: 2.875	--	--
2.	Temperatura de operación	+ 10 - 35 ° C (-185.2 - 5,000 mts)	--	--
3.	Voltaje de alimentación	480 VAC ± 10%	--	--
4.	Exactitud de kV (40-135kV)	(± 3% ± 2kV)	SI	SI
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	± 20% t < 100 mSeg ± 10% t ≥ 100 mSeg	NO	NO
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	NE	--	--

OBSERVACIONES

2.	Generador de alta frecuencia (100 kHz)
----	--

FUENTE CONSULTADA

1.	Manual del operador General Electric systems (Mesa compax I)
2.	Suplemento técnico. General Electric

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Shimadzu

Modelo: ED 125L

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Ancho: > 3.60 mt; Largo: > 4.00 mt. Alto: > 3.15 mt	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	NE	--	--
3.	Voltaje de alimentación	NE	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	NE	--	--
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	R = 8/1 DFP= 1.0 mt N = 28 líneas / cm	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Installation manual for diagnostic table YS-1
2.	Operation Manual for Bucky device

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Shimadzu

Modelo: ED 150L

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Ancho: > 3.60 mt; Largo: > 4.00 mt. Alto: > 3.15 mt	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	NE	--	--
3.	Voltaje de alimentación	NE	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	NE	--	--
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	R = 8/1 DFP= 1.0 mt N = 28 líneas / cm	--	--

<u>FUENTES CONSULTADAS</u>	
1.	Installation manual for diagnostic table YS-1
2.	Operation Manual for Bucky device

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Siemens

Modelo: Polymat 50 (Sala 1)

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	Espacio físico de instalación	Ancho: > 1.5 mt; Largo: > 2.5 mt. Alto: 2.95 mt	--	--
2.	Temperatura de operación	10 – 35 ° C	--	--
3.	Voltaje de alimentación	380 V ± 10 % 3P; 50/60 Hz ± 1%	--	--
4.	Exactitud de kV (100 mAs)	60 kV ± 3kV 81 kV ± 4kV 125 kV ± 5kV 150kV ± 5kV	SI	SI
5.	Valor permisible de punto focal	1.2/2.0	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	DFP: 1-2 mt	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Siemens Polymat 50 (versión C). Instrucciones de ajuste
2.	Polymat 50. Datos técnicos
3.	Descripción técnica, instrucciones de operación. Biangulix 150/30/51-100
4.	Vertex U para radiografías. Instrucciones de uso

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Siemens

Modelo: Polymat 50 (Sala 2)

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
12.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Ancho: > 1.5 mt; Largo: > 2.5 mt. Alto: 2.95 mt	--	--
13.	<u>Temperatura de operación</u>	10 – 35 ° C	--	--
14.	Voltaje de alimentación	380 V ± 10 % 3P; 50/60 Hz ± 1%	--	--
15.	Exactitud de kV (100 mAs)	60 kV ± 3kV 81 kV ± 4kV 125 kV ± 5kV 150kV ± 5kV	SI	SI
16.	Valor permisible de punto focal	1.2/2.0	--	--
17.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
18.	Rendimiento	NE	--	--
19.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
20.	Coincidencia de centros	NE	--	--
21.	Calidad del Haz	NE	--	--
22.	Parámetros de la rejilla	DFP: 1-2 mt	--	--

<u>FUENTES CONSULTADAS</u>	
1.	Siemens Polymat 50 (versión C). Instrucciones de ajuste
2.	Polymat 50. Datos técnicos
3.	Descripción técnica, instrucciones de operación. Biangulix 150/30/51-100
4.	Vertex 2E para radiografías. Instrucciones de uso

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Siemens

Modelo: Siregraph C (Sala 3)

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Alto: 3.15 mt	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	10 – 35 ° C	--	--
3.	Voltaje de alimentación	220 /380 VAC ± 10	--	--
4.	Exactitud de kV (100 mAs)	60 kV ± 3kV 81 kV ± 4kV 125 kV ± 5kV 150kV ± 5kV	SI	SI
5.	Valor permisible de punto focal	1.2/2.0	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	DFP = 1.0 mt	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Siemens Polymat 50 (versión C). Instrucciones de ajuste
2.	Polymat 50. Datos técnicos
3.	Instrucciones de uso Siregraph C

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Villa System Medical

Modelo: Moviplan 760

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	NE	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	NE	--	--
3.	Voltaje de alimentación	220 VAC - 50/60 Hz	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	NE	--	--
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	DFP: 120 cm	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Información técnica, Hospital Zacamil (Incluye instalación, operación y servicio)
----	---

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Villa System Medical

Modelo: LEM

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Altura: 3 mts (piso a rieles) Ancho: 3.22; Largo: 2.74 mts	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	NE	--	--
3.	Voltaje de alimentación	220 VAC - 50/60 Hz	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	NE	--	--
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	DFP: 120 cm	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Información técnica, Hospital Zacamil (Incluye instalación, operación y servicio)
----	---

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES DE FABRICANTE

EQUIPOS DE RAYOS X

Marca: Villa System Medical

Modelo: Mercury 165

No.	Parámetro	Rango/Valor	Norma/Recomendación cumplida	
			SSA	SEFM
1.	<u>Espacio físico de instalación</u>	Altura: 3 mts Ancho: NE; Largo: 4.6 mts	--	--
2.	<u>Temperatura de operación</u>	18-28 ° C	--	--
3.	Voltaje de alimentación	380 VAC – 5% + 10% + Neutro + Tierra	--	--
4.	Exactitud de kV (24-125kV)	NE	--	--
5.	Valor permisible de punto focal	NE	--	--
6.	Exactitud del tiempo de exposición	NE	--	--
7.	Rendimiento	NE	--	--
8.	Constancia de rendimiento	NE	--	--
9.	Coincidencia de centros	NE	--	--
10.	Calidad del Haz	NE	--	--
11.	Parámetros de la rejilla	NE	--	--

FUENTES CONSULTADAS

1.	Información técnica, Hospital Zacamil (Incluye instalación, operación y servicio)
----	---

ANEXO 17: TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS (obtenida de [49])

55034	81217	90564	81943	11241	84512	12288	89862	00760	76159
25521	99536	43233	48786	49221	06960	31564	21458	88199	06312
85421	72744	97242	66383	00132	05661	96442	37388	57671	27916
61219	48390	47344	30413	39392	91365	56203	79204	05330	31196
20230	03147	58854	11650	28415	12821	58931	30508	65989	26675
95776	83206	56144	55953	89787	64426	08448	45707	80364	60262
07603	17344	01148	83300	96955	65027	31713	89013	79557	49755
00645	17459	78742	39005	36027	98807	72666	54484	68262	38827
62950	83162	61504	31557	80590	47893	72360	72720	08396	33674
79350	10276	81933	26347	08068	67816	06659	87917	74166	85519
48339	69834	59047	82175	92010	58446	69591	56205	95700	86211
05842	08439	79836	50957	32059	32910	15842	13918	41365	80115
25855	02209	07307	59942	71389	76159	11263	38787	61541	22606
25272	16152	82323	70718	98081	38631	91956	49909	76253	33970
73003	29058	17605	49298	47675	90445	68919	05676	23823	84892
81310	94430	22663	96584	38142	00146	17496	51115	61458	65790
10024	44713	59832	80721	63711	67882	25100	45245	55743	67618
84671	52806	89124	37691	20897	82339	22627	06142	05773	03547
29296	58162	21858	33732	94056	88806	54603	00384	66340	69232
51771	94074	70630	41286	90583	87680	13661	55627	23670	35109
42166	56251	60770	51672	36031	77273	85218	14812	90758	23677
78355	67041	22492	51522	31164	30450	27600	44428	96380	26772
09552	51347	33864	89018	73418	81538	77399	30448	97740	18158
15771	63127	34847	05660	06156	48970	55699	61818	91763	20821
13231	99058	93754	36730	44286	44326	15729	37500	47269	13333
50583	03570	38472	73236	67613	72780	78174	18718	99092	64114
99485	57330	10634	74905	90671	19643	69903	60950	17968	37217
54676	39524	73785	48864	69835	62798	65205	69187	05572	74741
99343	71549	10248	76036	31702	76868	88909	69574	27642	00336
35492	40231	34868	55356	12847	68093	52643	32732	67016	46784
98170	25384	03841	23920	47954	10359	70114	11177	63298	99903
02670	86165	56860	02592	01646	42200	79950	37764	82341	71952
36934	42879	81637	79952	07066	41625	96804	92388	88860	68580
56851	12778	24309	73660	84264	24668	16686	02239	66022	64133
05464	28892	14271	23778	88599	17081	33884	88783	39015	57118
15025	20237	63386	71122	06620	07415	94982	32324	79427	70387
95610	08030	81469	91066	88857	56583	01224	28097	19726	71465
09026	40378	05731	55128	74298	49196	31669	42605	30368	96424
81431	99955	52462	67667	97322	69808	21240	65921	12629	92896
21431	59335	58627	94822	65484	09641	41018	85100	16110	32077

Compilada de Rand Corporation, *A million random digits with 100.000 normal deviates*. The Free Press. Glencoe, III., 1955.