



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

MAMOGRAFÍA: CONTROL DE CALIDAD EN UN  
PROGRAMA DE DETECCIÓN TEMPRANA DEL  
CÁNCER DE MAMA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICA

P R E S E N T A :

NAXI CANSINO GONZÁLEZ



DIRECTOR DE TESIS:  
M. EN C. CESAR GUSTAVO RUIZ TREJO

2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS  
Secretaría General  
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

**DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ**  
Director General  
Dirección General de Administración Escolar  
**Presente**

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

**MAMOGRAFÍA: CONTROL DE CALIDAD EN UN PROGRAMA DE DETECCIÓN TEMPRANA DEL  
CÁNCER DE MAMA**

realizado por **Cansino González Naxi** con número de cuenta **3-0330658-2** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en Física. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Ernesto José María de la Salet Belmont Moreno

Propietario M. en C. Patricia Raquel Avilés Mandujano

Propietario M. en C. César Gustavo Ruiz Trejo  
Tutor

Suplente M. en C. Adriana Moreno Ramírez

Suplente M. en C. Adolfo Zárate Morales

Atentamente

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "**  
Ciudad Universitaria, D. F., a 14 de junio de 2012  
**EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/mdm

*Quiero dedicar este trabajo:*

*Principálmemente a mí familia. A mis padres, Isabel y Guillermo, por haberme enseñado tantas cosas, por haberme guiado a lo largo de mí vida, por todas las desveladas que pasaron por cuidarme cuando estuve enferma, por haber hecho tantos esfuerzos por mí, los amo mucho.*

*A mis hermanas, Yajaira y Ghuenta, por todo el cariño, el amor, el apoyo, por cuidarme y quererme mucho, por ser mis mejores amigas y las mejores hermanas que pude tener, con todo y todo. Las amo mucho hermanitas.*

*A Alain por el cariño, la amistad, por los momentos divertidos y no tan divertidos, por todas las cosas que me enseñaste, por el apoyo que me diste, por las muchas palabras de aliento que me brindaste a lo largo del tiempo que llevamos de conocernos, por estar ahí y aguantar mis malos ratos, a se me olvidaba por la comida jajajajaja, de la comida mejor le agradezco a la mamá de Aladín. Gracias te amo mucho.*

*A Alfredo, mí cuñado, por el apoyo que nos brindaste, gracias y a Emi por ser él bebe mas lindo del mundo.*

*A Kismo por haber sido la mejor mascota del mundo y quererme tanto, te extraño un montón. A Mushu por haber sido tan divertido y chistoso y querernos tanto y a África que se quedaba despierta mientras hacía tarea. Gracias por cuidarnos y por hacerme sentir muy segura.*

*A mis amigos Alain, Fernando, Pedro, Valente y Pablo que han estado conmigo, que me han ayudado mucho y que me han enseñado muchas cosas y con los que me divierto mucho, más cuando juegan al fut, espero que nuestra amistad dure para siempre, gracias.*

## Agradecimientos

Quiero hacer un agradecimiento muy especial a mi director de tesis, M. en C. César Gustavo Ruiz Trejo, por dejarme trabajar con él, por que a lo largo de la realización de éste trabajo me enseñó muchas cosas, por haberme brindado su tiempo fuera de su horario de trabajo, por los consejos que me brindo y por el apoyo que me ha brindado para que pueda continuar con mis estudios. Muchas gracias.

A los sinodales; M. en C. César Gustavo Ruiz Trejo, Dr. Ernesto José de la Salet Belmont Moreno, M. en C. Patricia Raquel Avilés Mandujano, M. en C. Adriana Moreno Ramírez y M. en C. Adolfo Zárate Morales, por la revisión de este trabajo, por las observaciones realizadas con el fin de mejorarlo. Gracias por el tiempo dedicado.

A la Dra. María Ester Brandán Siqués por las facilidades brindadas para la realización de éste trabajo.

A Analyn, Romeo y Omar, que me apoyaron en la realización de este trabajo, brindándome su conocimiento y ayuda.

A todos mis amigos que hice en la facultad, que no voy a poner los nombres por que tal si se me olvida alguno. Gracias por ser parte de mi vida y dejarme ser parte de la suyas.

A Karla por ser tan buena persona conmigo y por abrirme las puertas de tu casa, muchas gracias.

Al Instituto Nacional de Cancerología por permitirme trabajar en sus instalaciones.

A La fundación Mexicana de Fomento Educativo para la prevención y Detección Oportuna de Cáncer de Mama por las facilidades brindadas.

A la Unidad Médica de Detección Atención e Investigación S. C. por permitirme trabajar en sus instalaciones.

Al Instituto de Física por brindarme un lugar en el que pude realizar este trabajo.

Al proyecto PAPIIT IN102610 por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo y a CONACyT por la beca de ayudante SNI.

## ÍNDICE

Antecedentes	1
Capítulo I. CONCEPTOS BÁSICOS	
1. Rayos X	4
Producción de rayos X	4
Tubo de rayos X	4
Cátodo	5
Ánodo	5
Efecto talón	5
Tipos de rayos X	6
Rayos X característicos	6
Rayos X de frenado o Bremsstrahlung	7
Espectro de rayos X	7
2. Interacción de los rayos X con la materia	8
Efecto fotoeléctrico	9
Efecto Compton	10
Atenuación de los rayos X	11
Coefficiente lineal de atenuación	11
Capa hemirreductora	13
3. Magnitudes radiológicas	14
Exposición	14
Tasa de exposición	14
Kerma en aire	14
Dosis absorbida	15
Efectos biológicos de la radiación	15
Capítulo II. FUNCIONAMIENTO DEL MASTÓGRAFO	
1. Mamografía	17
El mastógrafo	17
2. Rayos X para mamografía	17
Tubo de rayos X	19
Cátodo	19
Ánodo	19
Efecto talón	20
Punto focal	20
Filtración	20
Colimación	21
Compresión	21
Rejilla antidispersora	21
Control automático de exposición (CAE)	21
3. Receptor de imagen en un equipo analógico	22
Chasis	22
Película radiográfica	22
Pantallas intensificadoras	22
Formación de la imagen latente	23

Curva característica	23
Parámetros que describen la curva característica	24
4. Procesado de la película	25
Cuarto oscuro	25
Revelado	25
Rellenado	26
Fijado	26
Lavado	26
Secado	26
5. Receptor de imagen en un equipo digital DR	27
Capítulo III. CONTROL DE CALIDAD EN MAMOGRAFÍA	
1. Criterios de calidad en la imagen mamográfica	31
Densidad óptica	31
Contraste	33
Resolución espacial	33
Nitidez	34
Ruido	34
Relación señal-ruido (RSR)	35
Calidad de imagen	35
Dosis glandular promedio	36
Capítulo IV. MÉTODO EXPERIMENTAL	
1. Pruebas de control de calidad	38
2. Material y equipo utilizado	39
3. Pruebas de CC al procesador de película	40
4. Pruebas de CC que sólo se realizan en mastógrafos analógicos	41
5. Pruebas de CC que se realizan en mastógrafos analógicos y digitales	42
6. Pruebas de CC que sólo se realizan en mastógrafos digitales	49
Capítulo V. RESULTADOS	
1. Resultados 2011	53
Resultados FUCAM	53
Resultados UMDAI	73
Resultados INCAn	81
Capítulo VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
Discusión de los resultados PAICMA-2011	91
FUCAM	91
UMDAI	98
INCAn	102
Discusión global resultados PAICMA-2011	106
Discusión global PAICMA-2008, 2010 y 2011.	109
FUCAM	109
UMDAI	121
INCAn	124
Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
PAICMA- 2011	129
FUCAM	129

UMDAI	130
INCAN	131
Conclusiones PAICMA-2008, 2010 y 2011.	131
FUCAM	132
UMDAI	133
INCAN	133
RECOMENDACIONES	134
BIBLIOGRAFÍA	136

## Antecedentes

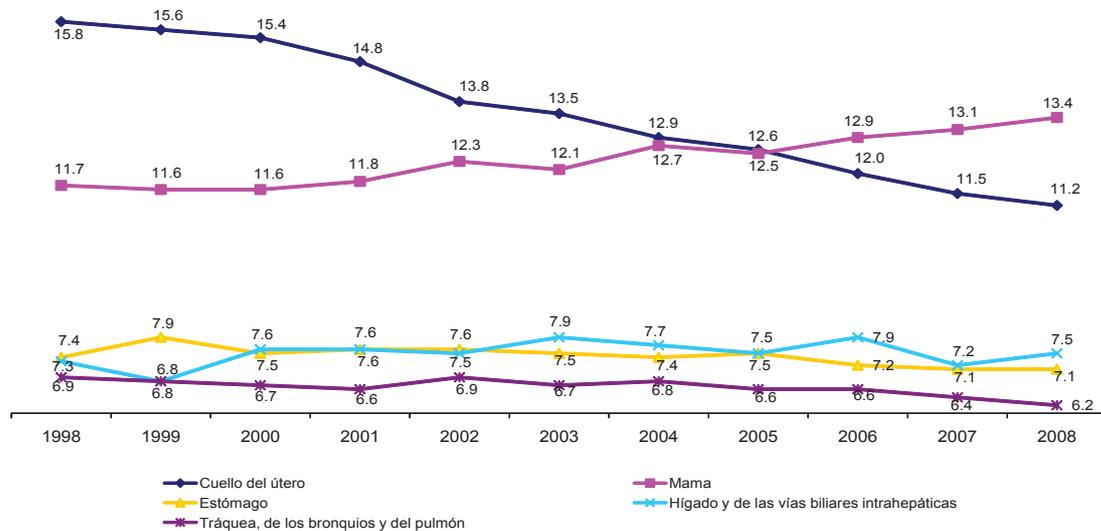
El cáncer de mama es una enfermedad maligna en donde la proliferación acelerada, desordenada y no controlada de células pertenecientes a distintos tejidos de la glándula mamaria forman un tumor que invade los tejidos vecinos, ésta patología se asocia al envejecimiento, a alteraciones en la estructura y función de los genes y a los estilos de vida.

A nivel mundial el cáncer es una de las principales causas de mortalidad; en particular, el cáncer de mama afecta al 16% de la población femenina que padeció algún tipo de neoplasia [w1].

En México, para el 2008 la incidencia de cáncer de mama fue de 7.57 casos por cada 100 mil habitantes, afectando principalmente a las mujeres, la mayor incidencia se presentó en el Distrito Federal (45.84 casos), seguida por Sinaloa (45.76 casos) y San Luis Potosí (45.20 casos) [w1].

En la siguiente figura (Figura I), se muestra una gráfica del porcentaje de defunciones en mujeres mexicanas debidas a tumores malignos. Se puede observar que a partir del 2006 el cáncer de mama ocupa el primer lugar como la principal causa de defunción en mujeres por cáncer y que la mortalidad debida a esta patología tiende a aumentar.

Porcentaje de defunciones en mujeres debidas a tumores malignos (cinco principales causas) 1998-2008



Nota: El porcentaje está en relación con el total de defunciones por tumores registradas en cada año, en general y por sexo.  
Fuente: INEGI. Estadísticas Vitales, 1998-2008. Bases de datos.

**Figura I.** Porcentaje de defunciones en mujeres mexicanas debidas a tumores malignos de los años 1998-2008. En esta gráfica se muestran los cinco principales tipos de tumores malignos: cérvico uterino (cuello del útero), estómago, tráquea, mama, hígado y de las vías biliares e intrahepáticas. Se observa que desde el 2006 las defunciones por cáncer de mama se presentan con mayor frecuencia superando a las producidas por cáncer cérvico uterino [w2].

Desde la perspectiva de la salud pública, es importante reducir la mortalidad en las mujeres mexicanas por cáncer de mama. Por lo anterior, se ha vuelto imprescindible en nuestro país el fomento de campañas de prevención y detección temprana de cáncer de mama. Además, se debe enfatizar que el cáncer de mama puede ser tratado con éxito cuando se diagnostica a tiempo, que no todas las tumoraciones son cáncer y que el diagnóstico de cáncer de mama se establece mediante un estudio histopatológico.

La detección temprana del cáncer de mama se hace a través de tres acciones: la autoexploración, el examen clínico y la mamografía.

La mamografía es el único método de detección temprana del cáncer de mama que ha demostrado ser eficaz en la disminución en la mortalidad por este padecimiento, **cuando se efectúa con calidad**, en el marco de un programa de detección temprana.

Una mamografía es una imagen plana de la mama generada con rayos X mediante el uso de un equipo llamado mastógrafo, que puede ser analógico o digital. La imagen se forma debido a que los diversos tejidos mamarios, incluidos los tumorales, presentan una respuesta radiológica diferente, aunque muy similar entre sí. Es esta respuesta, conocida como atenuación, la que da origen a las distintas tonalidades de gris que componen a las imágenes digitales o a las distintas densidades ópticas que componen las imágenes analógicas. Esto provoca que al receptor de imagen llegue información poco diferenciada, por lo que para poder visualizar un tumor o alguna otra lesión asociada al cáncer de mama, localizada en la mama se requiere de una imagen con adecuado contraste.

La mamografía se utiliza para detección temprana y para diagnóstico del cáncer de mama.

Con la mamografía de detección temprana se busca encontrar algún crecimiento anormal de los tejidos en las mujeres que no presentan síntomas de la enfermedad. La mamografía de diagnóstico se usa para localizar y determinar la extensión de un tumor en el seno una vez que se ha encontrado algún signo o síntoma de la enfermedad.

La mamografía es la técnica más utilizadas para la detección temprana del cáncer, sin embargo se tienen que cuidar algunos aspectos relacionados con este método de detección, como son la obtención de buenas imágenes que faciliten el diagnóstico, los efectos producidos en las pacientes debidos a la dosis impartida a la mama, el buen funcionamiento del equipo utilizado para la obtención de la imagen, etc. Es por esto que los equipos utilizados deben someterse a frecuentes pruebas de control de calidad, con objeto de vigilar su correcto funcionamiento.

En el Distrito Federal, con objeto de disminuir la mortalidad femenina, a causa del cáncer de mama, se ha puesto en marcha el programa de detección temprana del cáncer de mama denominado Programa de Atención Integral del Cáncer de Mama (PAICMA), administrado por el Instituto de las Mujeres del Distrito Federal (INMUJERES DF).

## **PAICMA**

Es un programa que se enfoca principalmente en la realización de mastografías de detección temprana, está dirigido a las mujeres que tengan 40 años cumplidos o más prioritariamente, que no cuenten con servicios de salud, y vivan en unidades territoriales de alta y muy alta marginalidad, o que comprueben que laboran en la Ciudad de México.

Las instituciones participantes en el programa y las distribuciones de los mastógrafos en cada una es la siguiente:

- La Fundación Mexicana de Fomento para la Prevención Oportuna del Cáncer de Mama, A.C., (FUCAM). Administra ocho mastógrafos analógicos, marca IMS Giotto instalados en 4 unidades móviles y dos procesadores de película, los cuales se encuentran instalados en la clínica de FUCAM, estos mastógrafos son propiedad del Gobierno del Distrito Federal.
- Unidad Médica de Detección Atención e Investigación, S.C. (UMDAI). Participa con dos mastógrafos analógicos, y un procesador de película, los mastógrafos son marca GE Senographe 800T y Lorad M-IV
- Instituto Nacional de Cancerología (INCan), participa en el programa con tres mastógrafos digitales, uno marca GE modelo Senographe DS y dos Hologic modelo Selenia.

Se seleccionaron un conjunto de pruebas de control de calidad, las cuales se enfocaron en verificar el funcionamiento de los mastógrafos y los equipos asociados a estos. Las pruebas se realizaron usando el Mamography Quality Control Manual recomendado por el ACR y el Protocolo de control de calidad en mamografía digital de la SEFM, basándose en lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM 229-SSA1-2002.

### **Los objetivos en este trabajo son:**

- ❖ Vigilar el funcionamiento de los mastógrafos, y los equipos asociados a éstos, usados durante la aplicación del Programa de Atención Integral del Cáncer de Mama del Instituto de las Mujeres del Distrito Federal, por medio de pruebas de control de calidad.
- ❖ Emitir recomendaciones globales, con objeto de mejorar el servicio, a partir de la comparación entre los resultados obtenidos durante este estudio, practicado durante 2011, con resultados de años anteriores obtenidos por parte del IFUNAM.

## Capítulo I

### CONCEPTOS BÁSICOS

#### 1. Rayos X

Los rayos X fueron descubiertos por Wilhelm Röntgen en 1895, cuando bombardeaba metales con rayos catódicos, esta radiación era distinta a las que se conocían, y la llamó rayos X.

Los rayos X son radiación electromagnética, que se producen cuando un haz de electrones interacciona con un material (blanco), esta producción se lleva efectúa usualmente en un tubo de rayos X. Los electrones incidentes pueden interaccionar de dos formas con los átomos, que constituyen el material del que esta fabricado el blanco, produciendo rayos X característicos y de frenado o bremsstrahlung

La longitud de onda de los rayos x producidos en tubos de rayos X se encuentra entre 0.01 nm y 10 nm.

#### Producción de rayos X

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones monoenergéticos que fueron acelerados a través de una diferencia de potencial, interaccionan con los átomos del material del que esta compuesto el blanco. Un haz monoenergético de electrones produce rayos X que tienen energía desde un valor prácticamente igual a cero hasta alcanzar el valor numérico de la energía del.

#### Tubo de rayos X

Un tubo de rayos X es un equipo que convierte la energía eléctrica en radiación y calor, el calor es un subproducto, los tubos de rayos X están diseñados para maximizar la producción de rayos X y para disipar el calor. [Sp 87]

Los tubos de rayos X constan de dos elementos principales: un cátodo y un ánodo. En la figura 1.1, se muestra una figura de los elementos que componen un tubo de rayos X.

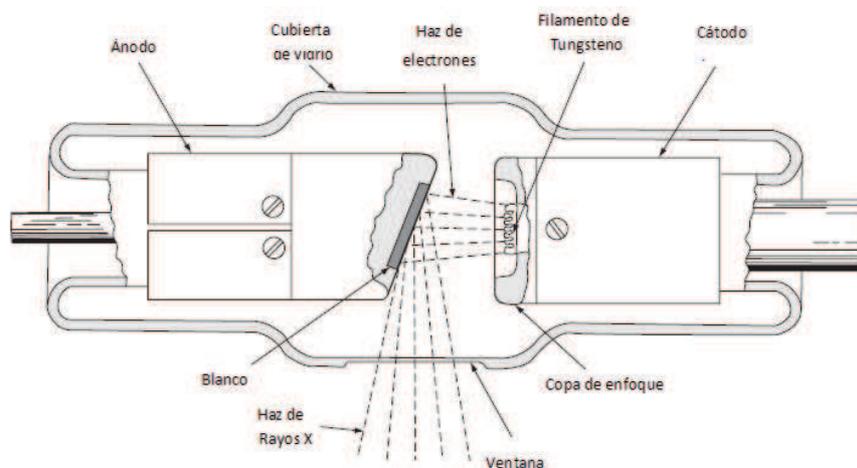


Figura 1.1. Tubo de rayos X. [Ce 09]

## Cátodo

Es el electrodo negativo y está formado por un filamento helicoidal de alambre de tungsteno rodeado por una copa de enfoque, el filamento es calentado y se produce electrones a través de un proceso llamado emisión termoiónica, la energía térmica se utiliza para expulsar los electrones desde el filamento. Los electrones producidos en el cátodo son acelerados debido a una diferencia de potencial, del orden de kV, aplicada entre el cátodo y el ánodo. Para que los electrones sigan una trayectoria recta hasta el cátodo y no interactúen con ningún material dentro del tubo, es necesario que los electrodos se encuentren en alto vacío, debido a esto todos los elementos del tubo se encuentran dentro de una cápsula de vidrio sellada.

El filamento se encuentra rodeado por una copa de enfoque y es ésta la que da la forma al haz de electrones y define el ancho del punto focal, mientras que la longitud del filamento define su longitud.

## Ánodo

El ánodo es el elemento en el cual se producen los rayos X, se encuentra a una diferencia de potencial positiva con respecto al cátodo. Los electrones que interactúan con el ánodo pierden la mayor parte de su energía en forma de calor y sólo una fracción es emitida como rayos X.

En los equipos de rayos X para diagnóstico se utilizan ánodos giratorios con el fin de disipar el calor y aumentar la capacidad de producción de los rayos X.

## Efecto talón

Es un efecto que se produce en el ánodo del tubo de rayos X y se refiere a la reducción en la intensidad del haz de rayos X hacia el lado del ánodo. Esto se debe a que los fotones producidos en la parte más interna del ánodo necesitan recorrer un mayor espesor del ánodo mismo y por lo tanto experimentan más procesos de atenuación.

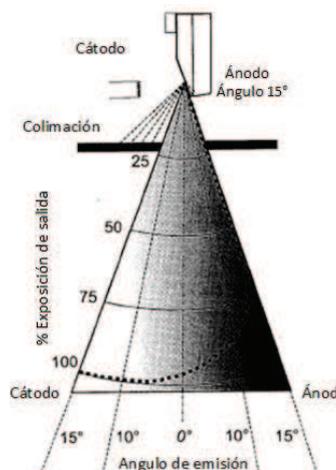


Figura 1.2. Efecto talón. Proceso de auto atenuación causada por el mismo ánodo. [Bu 02]

## Tipos de rayos X

En un tubo de rayos X se producen rayos X característicos y de frenado o bremsstrahlung, la producción de cada uno de estos se explica a continuación.

### Rayos X característicos

Cuando la diferencia de potencial en el tubo de rayos X es suficiente, los electrones interaccionan a través del campo coulombiano con los electrones atómicos que componen el blanco, produciendo ionizaciones y excitaciones, es decir se producen vacancias en las capas electrónicas, las cuales son llenadas por electrones de las capas superiores, liberándose energía en forma de rayos X. El valor de la energía que se libera corresponde a la diferencia de las energías de enlace electrónicas entre una capa y otra. En la figura 3, se muestra un esquema de la producción de los rayos X característicos.

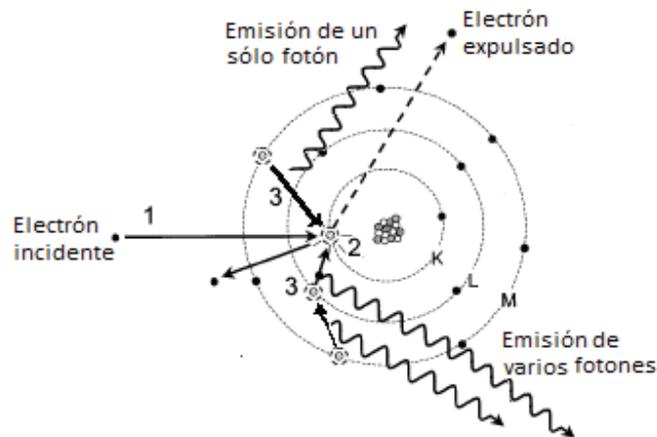


Figura 1.3. Generación de rayos X característicos. [Bu 02]

Como las energías de enlace electrónicas y sus diferencias son exclusivas de un elemento dado, los rayos X generados son nombrados característicos. En la tabla 1, se muestran valores de las energías de los rayos X de algunos materiales.

Transición	Molibdeno	Rodio	Tungsteno
$K_{\alpha 1}$	17.48	20.22	59.31
$K_{\alpha 2}$	17.37	20.07	57.98
$K_{\beta 1}$	19.61	22.72	67.23

Tabla 1. Rayos X característicos en keV, de algunos materiales con los que se fabrican ánodos. Las energías se dan en keV. [Ra 10]

Los subíndices  $\alpha$  representan las transiciones de la capa L a la capa K y los subíndices  $\beta$  las transiciones que ocurren de la capa M a la capa K.

### Rayos X de frenado o bremsstrahlung

Este tipo de radiación se produce cuando la trayectoria del electrón incidente es muy cercana a un núcleo atómico (cargado positivamente), el electrón es atraído y desacelerado por la interacción con el campo coulombiano del núcleo, causándose una pérdida en la energía cinética del electrón, y por conservación de la energía se emite radiación en forma de rayos X, con energía igual a la energía cinética perdida por los electrones. A ésta radiación se le llama radiación de frenado o bremsstrahlung, figura 1.4, esta interacción es la que produce la mayor cantidad de fotones.

El parámetro de impacto entre el electrón incidente y el núcleo determina el valor de la energía de los fotones, teniendo la energía un valor máximo igual al valor numérico de la diferencia de potencial establecida entre los electrodos.

El parámetro de impacto es la distancia existente entre la dirección de la partícula incidente (cuando se encuentra muy alejada del centro de fuerzas), y el centro de fuerzas, en este caso el centro de fuerzas es el núcleo del átomo.

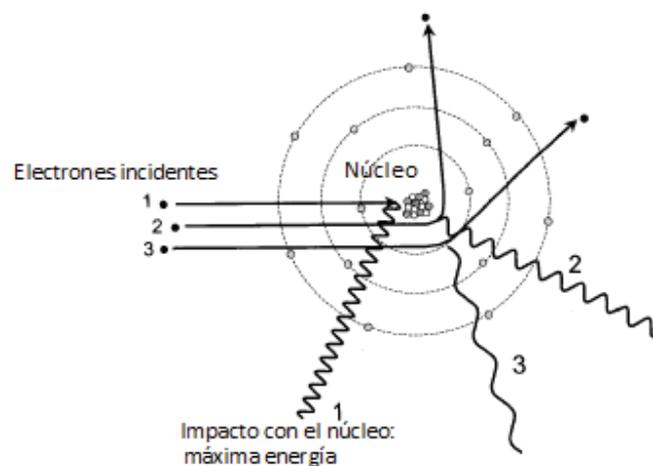


Figura 1.4. Producción de radiación de frenado. [Bu 02]

### Espectro de rayos X

Un espectro de rayos X, es una imagen gráfica o histograma de la distribución del número de rayos X producidos, ya sean característicos o de frenado en función de su energía. La distribución de los rayos X de frenado es continua, mientras que para los rayos X característicos, tenemos líneas para valores de la energía determinados. En la figura 1.5, se muestra un espectro de rayos X.

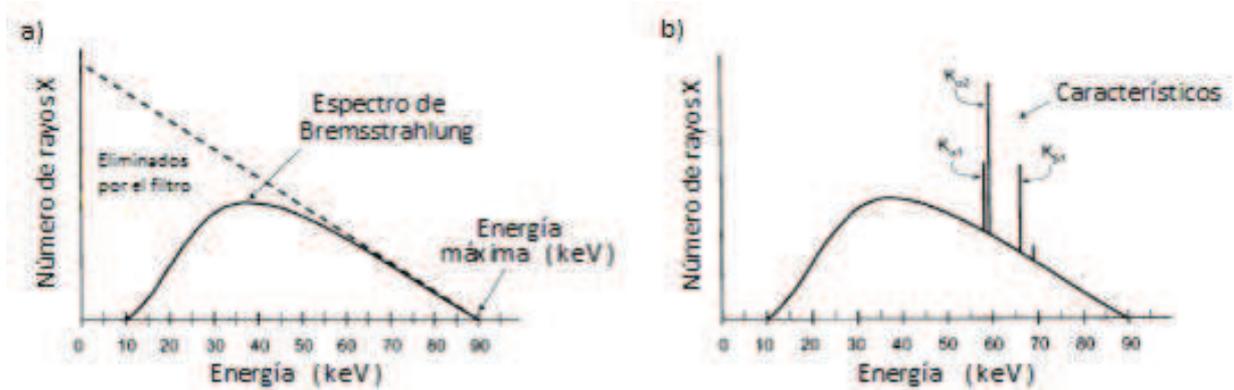


Figura 1.5. a) Espectro de rayos X bremsstrahlung para una diferencia de potencial de 90 kV. b) Espectro de radiación bremsstrahlung y característico de un blanco de tungsteno a una diferencia de 90kV. [Bu 02]

## 2. Interacción de los rayos X con la materia

La radiación ionizante es aquella radiación con energía suficiente para ionizar y excitar a la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo. La radiación ionizante se clasifica en:

- Radiación directamente ionizante (partículas cargadas ya sean pesadas o ligeras). Las partículas cargadas depositan su energía al medio a través de muchas interacciones coulombianas.
- Radiación indirectamente ionizante (partículas eléctricamente neutras y fotones). Los neutrones así como los rayos X no tienen campo coulombiano, así que transfieren su energía a los electrones contenidos en la materia, y son estas partículas cargadas las que ionizan a otros átomos del medio.

Al atravesar la materia, los fotones son dispersados o absorbidos, viajan una cierta distancia antes de interactuar con un átomo, estas interacciones se rigen estadísticamente por una probabilidad de interacción por unidad de distancia recorrida, que depende del medio y de la energía del fotón, estas probabilidades de interacción se descurtirán más adelante.

Cuando los fotones atraviesan algún material existen tres destinos finales, como se enuncian a continuación:

1. Pueden penetrar la materia sin interactuar
2. Al interactuar con la materia se absorben completamente, depositando toda su energía.
3. Pueden existir procesos de absorción y dispersión, depositando parte de su energía.

Existen cinco principales tipos de procesos que se producen por la interacción entre los rayos X y la materia, los cuales son:

- *Dispersión de Rayleigh*: para que pueda ocurrir esta interacción los fotones tienen que tener energías entre 100 keV y 10 MeV.
- *Efecto fotoeléctrico*: este proceso de interacción se puede observar cuando los fotones tienen energías menores que 1 MeV.
- *Efecto Compton*: este proceso puede ocurrir cuando los fotones tienen energías entre 0.01 y 100 MeV.
- *Producción de pares*: para que exista la probabilidad de que ocurra el proceso los fotones deben tener una energía mayor que 1.022 MeV.
- *Fotodesintegración nuclear*: este proceso puede ocurrir si las energías de los fotones son mayores que 10 MeV.

Como las energías en las que operan los equipos de radiodiagnóstico son menores que 150 keV, los procesos que nos interesan son; el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton.

### Efecto fotoeléctrico

En este proceso un fotón incidente transfiere toda su energía a un electrón situado en una de las capas atómicas internas, el fotoelectrón expulsado del átomo con energía cinética dada por:

$$T = h\nu - E_b \quad (1.1)$$

El fotoelectrón (electrón expulsado de su órbita) pierde rápidamente su energía y se mueve sólo una distancia relativamente corta desde su posición original. La energía del fotón es depositada en la materia cerca del sitio de la interacción. Este es un proceso de absorción.

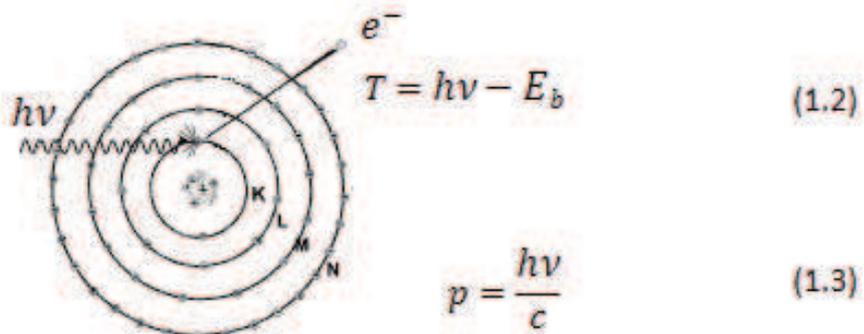


Figura 1.6. Efecto fotoeléctrico. [Bu 02]

El efecto fotoeléctrico ocurre con los electrones que están firmemente unidos al átomo, es decir, con los de mayor energía de ligadura. Para que ocurra este tipo de interacción, la energía del fotón incidente debe ser mayor que la energía de amarre de los electrones atómicos  $h\nu > E_b$ . La probabilidad de que ocurra el efecto fotoeléctrico por unidad de masa está dado por:

$$Z^3 / (h\nu)^3 \quad (1.4)$$

donde Z es el número atómico del elemento con el que interacciona el fotón y  $h\nu$  es la energía del fotón incidente.

Después de que existe interacción fotoeléctrica, el átomo queda ionizado, y la vacante que se formó es ocupada por electrones de las capas superiores, existe la probabilidad de que haya emisión de rayos X característicos.

### Efecto Compton

Esta interacción ocurre con los electrones (de valencia) más externos del átomo, en esta interacción el fotón incidente es dispersado con una reducción de su energía. El electrón es expulsado con una energía cinética T, dada por:

$$T = h\nu - h\nu' \quad (1.5)$$

Debido al cambio en la dirección del fotón incidente, a este tipo de interacción se le clasifica como un proceso de dispersión.

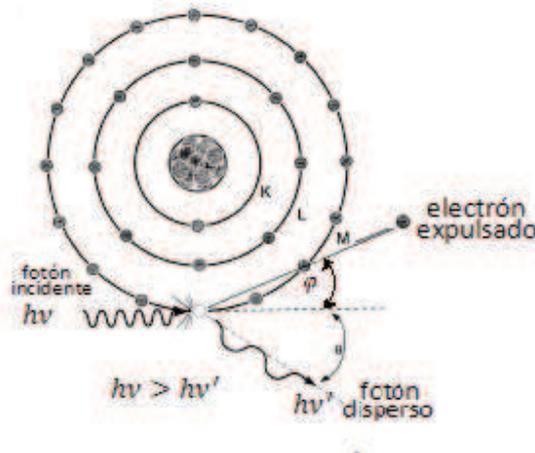


Figura 1.7. Efecto Compton. [Bu 02]

El fotón disperso puede atravesar el medio sin interactuar o puede sufrir interacciones posteriores. La energía del fotón dispersado se puede calcular en términos de la energía del fotón incidente.

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (h\nu/m_0c^2)(1 - \cos\theta)} \quad (1.6)$$

El ángulo con el que es expulsado el electrón del átomo esta dado por:

$$\cot\varphi = \left(1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}\right) \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1.7)$$

Donde

$h\nu$ : Energía del fotón incidente

$h\nu'$ : Energía del fotón disperso

$\theta$ : Ángulo del fotón disperso

$\varphi$ : Ángulo del electrón expulsado

$m_0c^2$ : Energía en reposo del electrón y es 0.511 MeV

La probabilidad de la interacción Compton aumenta para materiales con mayor densidad de electrones.

En la siguiente figura se muestran las regiones en las que se presentan con mayor probabilidad cada una de las interacciones, en función del número atómico Z del material y la energía de los fotones incidentes.

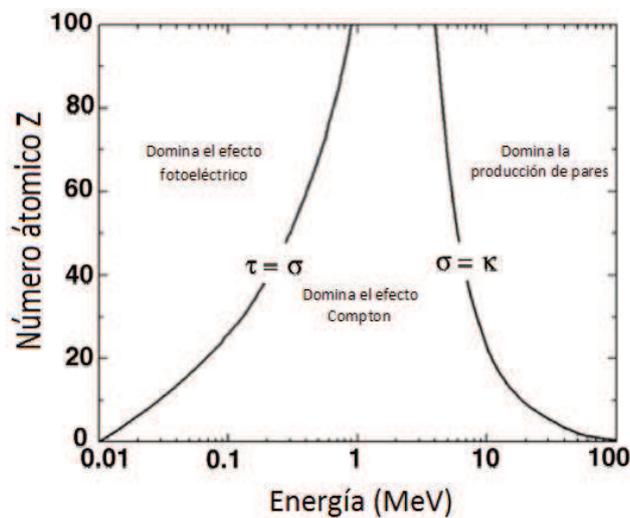
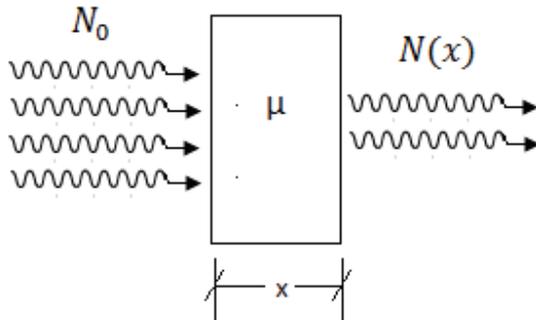


Figura 1.8. Regiones de predominación relativa de las tres principales interacciones de los rayos X con la materia. Donde  $\tau$ ,  $\sigma$  y  $\kappa$  son los coeficientes de atenuación debidos al efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares. [Po 06]

### Atenuación de los rayos X

La atenuación de un haz de rayos X, es la disminución del número de fotones debido a su interacción con el material. Los fotones se atenúan de manera exponencial en un blanco uniforme, en la figura 1.9, se muestra un haz monoenergético con  $N_0$  fotones incidiendo en un blanco

uniforme, los fotones pueden ser dispersados o absorbidos, dando como resultado que se transmitan  $N(x)$  fotones del otro lado del material.



El número de fotones que salen del material de espesor  $X$  y con coeficiente lineal de atenuación  $\mu$ , está dado por:

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} \quad (1.8)$$

En términos de la intensidad tenemos:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.9)$$

Figura 1.9. Atenuación de los rayos X.

La intensidad  $I(x)$  es el número de fotones por unidad de área y por unidad de tiempo que salen del material de espesor  $X$  y con coeficiente lineal de atenuación  $\mu$ .

### Coefficiente lineal de atenuación

El coeficiente lineal de atenuación ( $\mu$ ) está definido como la probabilidad por unidad de longitud recorrida de que un fotón interactúe con átomos del material sobre el cual está incidiendo, con unidades de  $\text{cm}^{-1}$ , este factor depende de la energía de los fotones, el número atómico y la densidad del material.

El coeficiente lineal de atenuación para fotones de una energía dada, en un determinado material comprende las contribuciones individuales de los diversos procesos físicos que pueden atenuar (absorber y dispersar) los fotones del haz y se expresa como:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (1.10)$$

donde  $\tau$ ,  $\sigma$  y  $\kappa$  son los coeficientes de atenuación debidos al efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares. En el caso de mamografía la ecuación anterior se reduce a:

$$\mu = \tau + \sigma \quad (1.11)$$

ya que la energía de los fotones que se producen en los tubos de rayos X que se utilizan en esta técnica radiográfica son menores a 40 keV y las interacciones que predominan a estas energías son: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton.

El coeficiente másico de atenuación, está dado por la expresión anterior dividida entre la densidad del materia.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho} \quad (1.12)$$

En la siguiente imagen, figura 1.10, se muestra el coeficiente másico de atenuación del Plomo en función de la energía.

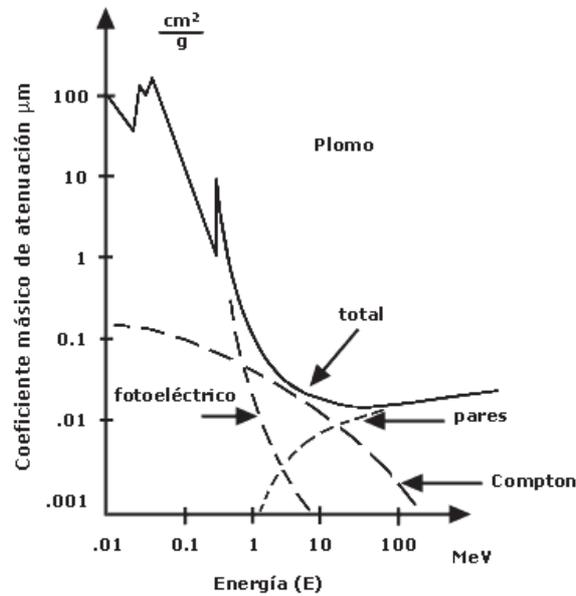


Figura 1.10. Coeficiente másico de atenuación para el Plomo.

### Espesor másico

Al cociente  $\mu/\rho$  se denomina coeficiente de másico atenuación y sus unidades son  $m^2kg^{-1}$ . En función del coeficiente másico de atenuación tenemos que la ecuación 1.9, se escribe de la siguiente manera.

$$I(x) = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}(x\rho)} \quad (1.13)$$

Donde el producto entre el espesor y la densidad del material ( $x\rho$ ) es el espesor másico de atenuación y sus unidades son:  $kg\ m^{-2}$ .

### Capa hemirreductora

Un parámetro importante que se tiene que tomar en cuenta para poder caracterizar el poder de penetración de un haz de rayos X es la capa hemirreductora., la cual está definida como el espesor de algún material absorbedor, que reduce la intensidad de la radiación a la mitad de la intensidad inicial y está dada por:

$$x_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (1.14)$$

El valor de la capa hemirreductora está dada en términos del coeficiente lineal de atenuación.

### 3. Magnitudes radiológicas

Las magnitudes radiológicas se usan para poder describir un haz de radiación, y para poder cuantificar de alguna manera los cambios que se producen en el material irradiado.

#### Exposición

La exposición es el valor absoluto de la carga total de los iones de un sólo signo producidos en aire cuando todos los electrones liberados por los fotones por unidad de masa de aire son completamente frenados en aire.

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1.15)$$

Su unidad en el SI está definida como  $Ckg^{-1}$ . Existe una unidad especial, el Roentgen (R), de tal manera que:

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} Ckg^{-1}$$

#### Tasa de exposición

La tasa de exposición es la exposición producida por unidad de tiempo.

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (1.16)$$

La unidad del SI de tasa de exposición es el  $Ckg^{-1} s^{-1}$  o el mR/h.

#### Kerma en aire

Es la energía transferida en forma de energía cinética a partículas cargadas por la radiación indirectamente ionizante (fotones o neutrones) por unidad de masa.

$$K = \frac{d(\epsilon_{tr})}{dm} \quad (1.17)$$

Donde  $d(\epsilon_{tr})$  es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas cargadas (principalmente electrones) liberadas por partículas no cargadas (fotones o neutrones) en un material de masa  $dm$  en un punto.

Las unidades son

$$Gy = Jkg^{-1} \quad (1.18)$$

La unidad antigua es el *rad* y  $1Gy = 100rad$

La tasa de kerma en aire está dada por

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} \quad (1.19)$$

#### Dosis absorbida

La dosis absorbida es la cantidad que expresa la cantidad de energía impartida por la radiación ionizante en un punto específico dentro del material irradiado, en particular el tejido corporal.

$$D = \frac{d\epsilon}{dm} \quad (1.20)$$

donde  $d\epsilon$  es la energía impartida a la materia de masa  $dm$ . Su unidad es el gray (Gy) y su equivalente es:  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ rad}$ .

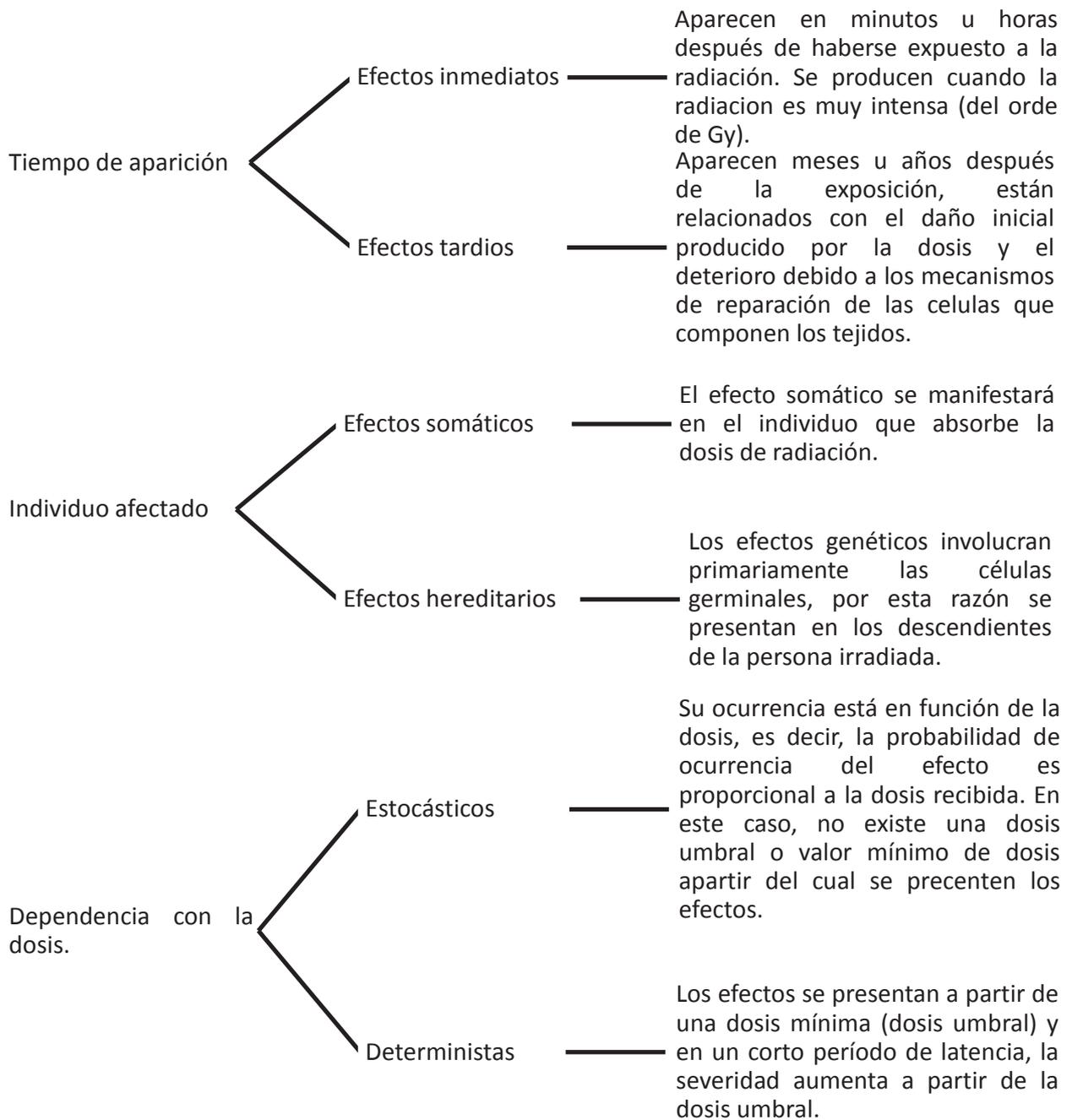
#### 4. Efectos biológicos de la radiación

Las radiaciones ionizantes son capaces de producir daños en los seres humanos cuando se exponen a ellas, esto se debe a que la radiación interacciona con los átomos de la materia viva, provocando en ellos ionizaciones y excitaciones, dando lugar a cambios importantes en células, tejidos, órganos, y en el individuo en su totalidad. El tipo y la magnitud del daño dependen del tipo de radiación, de su energía, de la dosis absorbida (energía impartida), de los componentes del tejido irradiado, y del tiempo de exposición.

Las etapas de la acción biológica de la radiación se dividen en tres: física, química y biológica.

- Etapa física: la radiación ionizante interacciona con los electrones atómicos que conforman los diferentes tejidos, produciendo ionizaciones y excitaciones.
- Etapa química: se presentan efectos como consecuencia de la interacción entre la radiación ionizante y las moléculas de agua, debido a esto se forman radicales libres que al difundirse a la molécula de ADN, la dañan.
- Etapa biológica: se inicia con la activación de reacciones para reparar el daño en la célula debidos a la obtención de compuestos químicos, las lesiones que no pueden ser reparadas producirán: muerte celular, inhibición de la división celular, mutación genética. Las consecuencias se pueden manifestar mucho tiempo después.

Los efectos de la radiación en los seres humanos se pueden clasificar como:



## Capítulo II

### FUNCIONAMIENTO DEL MASTÓGRAFO

#### 1. Mamografía

Es una imagen plana de la mama generada con rayos X. La imagen se forma debido a que los diversos tejidos mamarios, incluidos los tumorales, presentan una respuesta radiológica diferente.

La mamografía se divide en dos: de detección temprana y de diagnóstico. La mamografía de detección temprana se realiza a mujeres mayores de 40 años que no presentan ningún síntoma de la enfermedad, mientras que la de diagnóstico se realiza a mujeres con síntomas del padecimiento. El equipo empleado para realizar este tipo de valoraciones es el mastógrafo.

#### El mastógrafo

Es un equipo de rayos X que sirve para realizar estudios radiológicos de la mama para la detección de lesiones que se pueden presentar en este órgano. En la siguiente figura se muestra un esquema de los diferentes componentes que constituyen al mastógrafo.

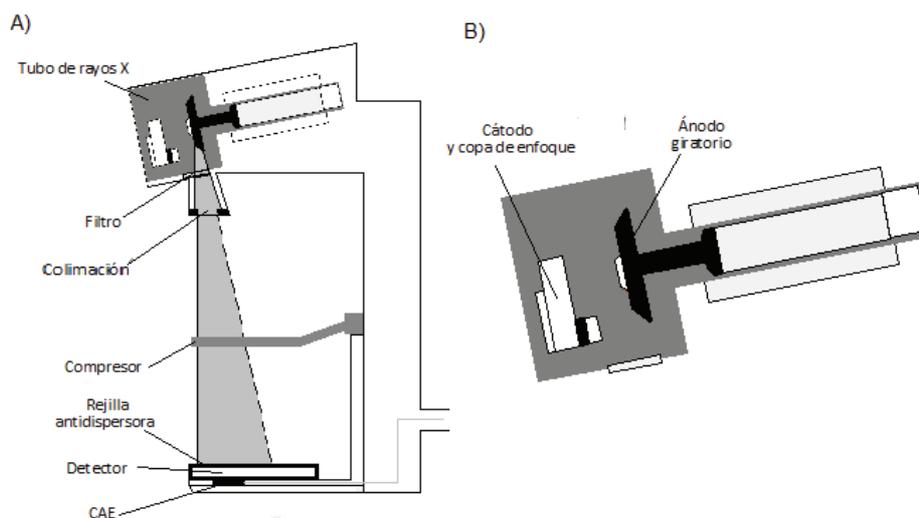


Figura 2.1. A) Esquema de un mastógrafo, B) Esquema del tubo de rayos X. Adaptado de [Bu 02]

Durante la realización de este trabajo se usaron mastógrafos analógicos y digitales, se explicará el funcionamiento de los componentes que son comunes a los dos tipos, en la siguiente sección de este capítulo se detallará el funcionamiento particular de cada uno.

#### 2. Rayos X para mamografía

Es necesario utilizar equipos radiológicos diseñados y construidos específicamente para mamografía, ya que cuando los rayos X interactúan con los tejidos que componen a la mama, ya sean tejido glandular, adiposo o tumoral, presentan una respuesta radiológica muy similar, figura

2.2, pudiendo observarse las mayores diferencias cuando los rayos X tienen energías entre 20 y 30 keV.

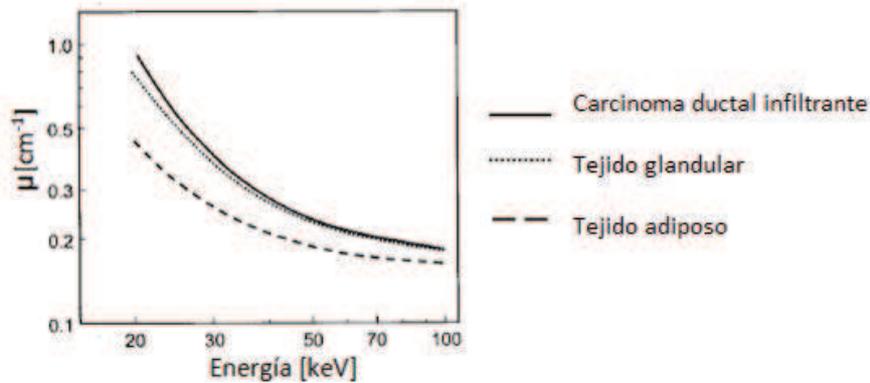


Figura 2.2. Coeficientes lineales de atenuación para diferentes tejidos que componen la mama. [Bu 02]

El haz óptimo de rayos X que se utiliza en mamografía se logra con la combinación del ánodo y del filtro.

Existe diversos materiales que generan rayos X característicos en el rango de energía de interés, comúnmente los tubos cuentan con ánodos de molibdeno (Mo) y de rodio (Rh), los rayos X característicos de estos dos tienen energías de 17.5 y 19.6 keV (Mo) y de 20.2 y 22.7 keV (Rh).

En la siguiente imagen, figura 2.3, se muestra el espectro producido por un blanco de molibdeno.

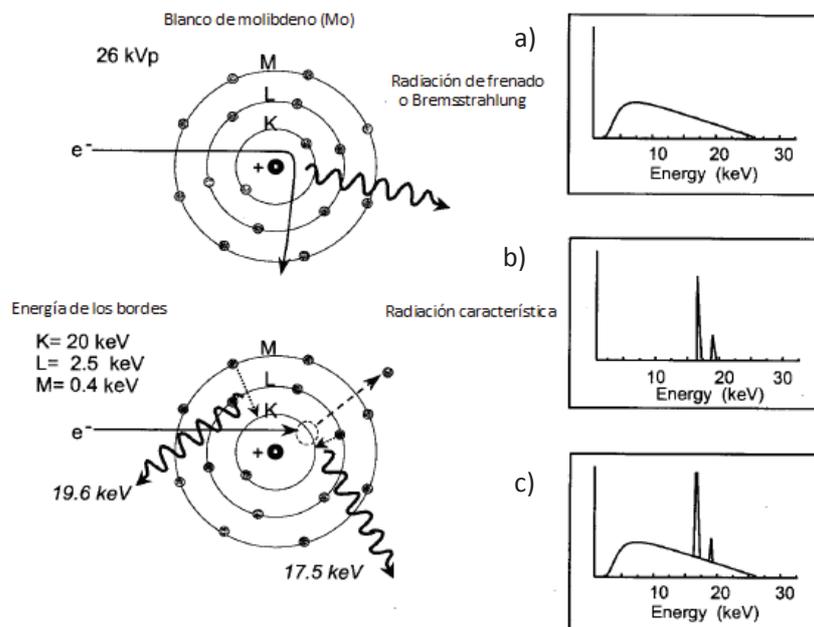


Figura 2.3. a) Espectro de los rayos X de frenado, b) Espectro de los rayos X característicos, c) Espectro de rayos X producido por un mastógrafo, con ánodo de Mo. [Bu 02].

Cuando los rayos X, producidos en el tubo, pasan a través del filtro se obtiene un relativamente estrecho. Los filtros comunes usados en la mamografía son: de molibdeno de 0.03 mm de espesor y de rodio de 0.025 mm de espesor.

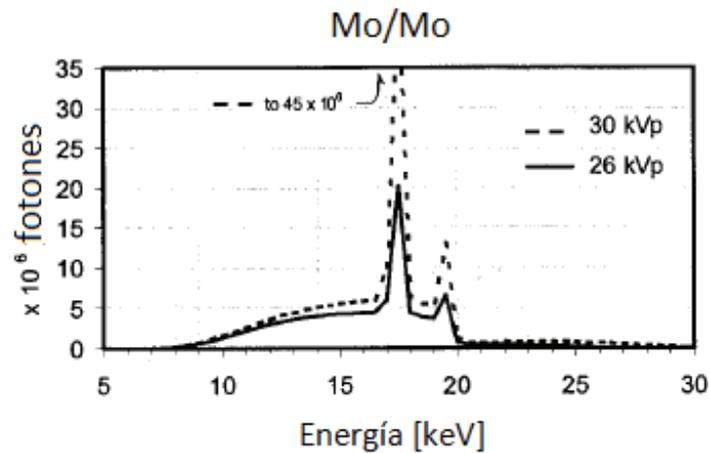


Figura 2.4. Espectro de rayos X usados en mamografía, con blanco de molibdeno y filtro de 0.03 mm de molibdeno. [Bu 02]

### Tubo de rayos X para mamografía

El tubo de rayos X para mamografía es un tubo fabricado de acero fundido y revestido con plomo, consta de dos electrodos que son el cátodo y el ánodo que se encuentran a una alta diferencia de potencial, dentro de una cápsula de vidrio que se encuentra sellada y al alto vacío.

#### Cátodo

El cátodo del tubo de rayos X del mastógrafo, es el electrodo negativo y se compone principalmente de dos filamentos de tungsteno de 0.3 y 0.1 mm, que se encuentran en una copa de enfoque, estos dos elementos son los que determinan el tamaño del punto focal. Cuando el filamento se calienta, se liberan electrones debido al efecto termoiónico. Los electrones son acelerados debido a la diferencia de potencial que existe entre los electrodos.

#### Ánodo

En los equipos de mamografía se utilizan ánodos giratorios compuestos de molibdeno (Mo) o de rodio (Rh), esto se debe a que producen un espectro de radiación óptimo para la formación de la imagen mamográfica. El ánodo es giratorio, para evitar el desgaste del material en un punto y disipar el calor que se produce.

## Efecto talón

El efecto talón es un proceso que se produce en el ánodo, y es la auto filtración que sufren los rayos X; del lado del ánodo la intensidad del haz es menor. Buscando compensar la falta de uniformidad del haz de rayos X se coloca la parte más gruesa de la mama de la paciente del lado donde se obtienen un mayor número de fotones (cátodo).

## Punto focal

El punto focal real, es la zona del ánodo en la cual inciden los electrones que provienen del cátodo, el tamaño del punto focal real o verdadero está en función del tamaño del filamento y de la copa de enfoque. Para tener una alta resolución espacial, se necesitan puntos focales muy pequeños para aumentar la nitidez de la imagen. El concepto de resolución espacial y nitidez se definen en el capítulo III.

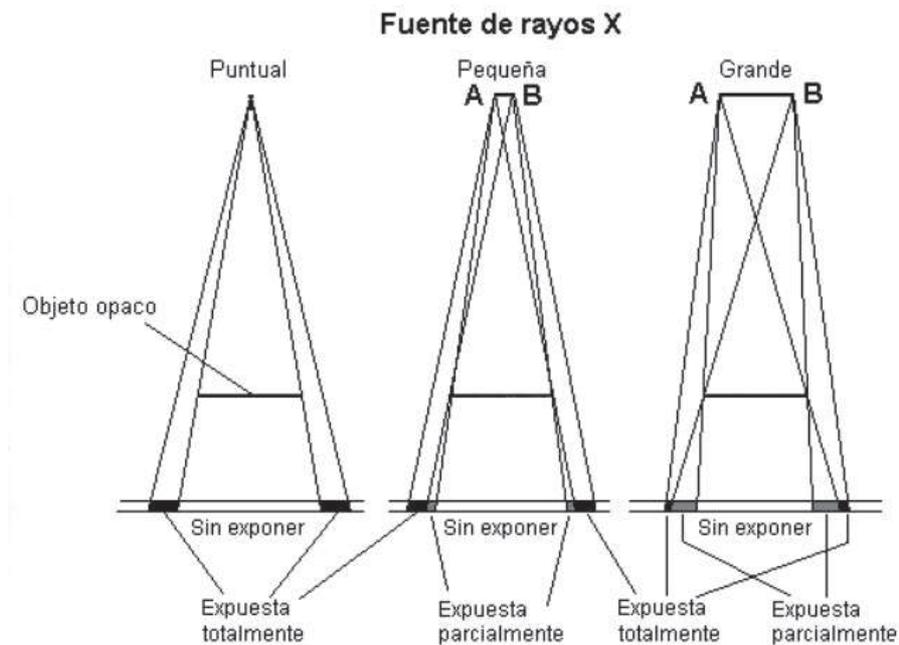


Figura 2.5. Efecto del tamaño del punto focal sobre la resolución y la nitidez. [Ru 01]

## Filtración

En los mastógrafos, el objetivo de la filtración es optimizar el espectro de rayos X. Los filtros que se utilizan usualmente son de molibdeno de 0.03 mm de espesor o de rodio de 0.025 mm de espesor. A estos filtros se les llama *filtros de borde* ya que atenúan los rayos X de menor y mayor energía a la de los bordes K de los filtros. [Mo 11]

## **Colimación**

En las imágenes mamográficas, el tamaño del campo de radiación debe de coincidir con el tamaño del detector, es por esta razón que el haz de rayos X debe estar colimado e incidir sobre el área completa del detector de imagen, ya sea película mamográfica o el detector de un equipo digital.

## **Compresión**

La compresión es factor de suma importancia en una exploración mamográfica ya que se obtienen beneficios que favorecen a la formación de la imagen. Con la compresión se obtiene:

- Un espesor de la mama más uniforme y menor, que reduce la radiación dispersa. También existe una reducción en la dosis impartida a la mama debido a que el haz de radiación atraviesa menos tejido.
- Reducción en la borrosidad de la imagen causada por el movimiento de la paciente.
- Se obtiene una mejor visualización de los tejidos, ya que con la compresión el tejido mamario se esparce, con esto evitando la superposición de los mismos.

Una compresión firme y uniforme de la mama es fundamental para mejorar la calidad de la imagen y reducir la dosis.

## **Rejilla antidispersora**

Cuando los rayos X son transmitidos a través de la mama, se produce radiación dispersa, la cual produce cambios no deseables en el contraste de la imagen. Para absorber esta radiación se coloca una rejilla entre la mama y el detector de imagen que sólo permita pasar a la radiación proveniente del haz primario. El material que las constituye es un material de baja absorción. Debido a la presencia de la rejilla, la dosis a la mama aumenta, dependiendo del valor del factor de la rejilla.

## **Control automático de exposición (CAE)**

El control automático de exposición (CAE), es un dispositivo electrónico que al principio se encargaba de regular el tiempo de producción de los rayos X, en los mastógrafos analógicos este es su objetivo. En la actualidad muchos de estos sistemas actúan seleccionando los factores de exposición (ánodo/filtro, kV, mAs) en función de las características de cada mama, espesor y atenuación.

El CAE de los sistemas analógicos se ajusta para obtener un determinado valor de la densidad óptica en la película independientemente de las características de la mama de la paciente y de los factores de la exposición utilizados. De esta forma se garantiza que la información se registra en la región lineal de la curva característica de la película.

En el caso del mastógrafo digital DR, el detector integrado puede actuar al mismo tiempo como CAE y muestrear la imagen de rayos X transmitida. En algunos casos, el CAE funciona manteniendo la relación-señal-ruido (RSR) o la relación contraste-ruido (RCR), por encima de valores determinados en cualquier punto de la imagen.

### **3. Receptor de imagen en un equipo analógico**

El receptor de imagen de un mastógrafo analógico, consiste en una película radiográfica con un sólo lado fotosensible, montada en un chasis, el cual contiene una pantalla intensificadora. La película radiográfica se coloca en contacto directo con la pantalla, a este conjunto se le denomina *sistema película-pantalla*.

#### **Chasis**

La mayoría de los chasis estos hechos de fibras de carbono de baja atenuación, esto con el objeto de maximizar la transmisión del haz de radiación. El objetivo principal del chasis es proteger la película radiográfica de la exposición a la luz, aunque también se encarga de poner en contacto la película radiográfica con la pantalla intensificadora.

#### **Película radiográfica**

La película de mamografía se compone de una superficie sensible a la luz y a los rayos X, a esta superficie se le llama emulsión, la cual se encuentra en una sola cara del soporte, éste es fabricado de plástico de gran resistencia mecánica, y finalmente sobre la capa de emulsión existe un recubrimiento delgado de gelatina que protege la superficie de la emulsión.

La gelatina radiográfica está elaborada a base de pieles y de huesos vacunos. Su principal objetivo es mantener los cristales de halogenuros de plata dispersos y prevenir la formación de grumos. Es transparente y permite que los compuestos químicos usados durante el revelado puedan penetrar hasta los cristales.

Los principales componentes de la emulsión son los halogenuros de plata y la gelatina. Los cristales de halogenuros de plata son el material sensible a la luz, y suelen ser bromuro de plata (95%) y yoduro de plata (5%). El tamaño y la concentración de los cristales de halogenuros de plata son los principales determinantes de la velocidad o sensibilidad de la película y de su contraste.

#### **Pantallas intensificadoras**

Las pantallas intensificadoras son láminas flexibles, fabricadas con tierras raras que al interactuar convierten el haz de rayos X incidente en luz. La luz que se produce es luz blanca,

pero su máxima intensidad se encuentra en región azul o verde, por esta razón se debe tener cuidado, ya que la película tiene que ser sensible a la luz emitida por la pantalla.

Una de las grandes ventajas de las pantallas intensificadoras, es que las películas radiográficas son más sensibles a la luz que a la radiación, esto permite que se utilice menos dosis de radiación que cuando se usan películas sin pantallas. Mientras que una de las desventajas es la producción de artefactos debidos a un mal contacto entre la película radiográfica y la pantalla otra es que el uso de la pantalla disminuye la resolución espacial.

### **Formación de la imagen latente**

La energía de la radiación que llega a la película después de haber atravesado el tejido que compone la mama, es absorbida por los cristales de halogenuros de plata, al observar la película después de la interacción entre la radiación (luz que se produce por la interacción de los rayos X con las pantallas intensificadoras) y la película no hay imagen visible a simple vista, para esto la imagen latente se tiene que convertir en imagen visible, el proceso encargado de esta conversión es el revelado.

Cuando la luz, que se produce por la interacción de la radiación con las pantallas intensificadoras, incide sobre la película se liberan electrones. Los electrones liberados pertenecen a los iones de yodo  $I^-$  y del bromo  $Br^-$  principalmente, estos electrones recorren una determinada distancia hasta que encuentran un defecto en el cristal, a un conjunto de defectos en el cristal se le conoce como "punto sensible", este punto actúa como una trampa de electrones, en este punto los electrones son capturados e inmovilizados, la emulsión puede tener uno o más puntos sensibles. Los iones de plata  $Ag^+$  son atraídos por los puntos sensibles, que debido a la presencia de los electrones tiene carga negativa. Ya en el punto sensible, un ion de plata se combina con el electrón formándose un átomo de plata. La presencia de la plata es la que produce las áreas oscuras que se ven en las películas reveladas y es proporcional a la cantidad de luz a la que ha sido expuesto el grano. Es por esto que es de suma importancia que los halogenuros de plata absorban la luz emitida por las pantallas intensificadoras.

### **Curva característica**

La curva característica es la forma de representar gráficamente la respuesta de una película radiográfica a su exposición a la radiación. Esta curva se obtiene cuando la película en diferentes áreas, es sujeta a una exposición escalonada cada vez mayor, hasta lograr sobreexponer a la película.

La curva característica se genera al graficar en el eje de las ordenadas el valor de la densidad óptica, que se mide en cada una de las áreas expuestas a la radiación; en el eje de las abscisas, el logaritmo en base 10 de la exposición relativa.

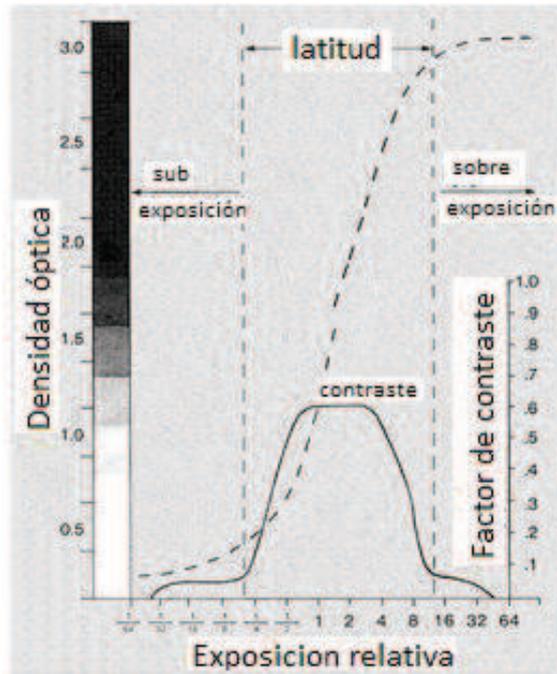


Figura 2.6. Curva característica.[Sp 87]

#### Parámetros que describen la curva característica

- Base + niebla: Es el valor de la densidad óptica, de una película que no fue expuesta a la radiación.
- Índice de velocidad: Es la sensibilidad que presenta la película radiográfica cuando es expuesta a los rayos X. Se define como el recíproco de la exposición en Roentgens que se requiere para producir una densidad óptica de  $1.0 + (B+N)$ .

$$Velocidad = \frac{1}{X(R)}, \text{ para } DO = 1.0 + (B + N) \quad (2.1)$$

- Gradiente promedio: Es la pendiente de la línea recta que une dos puntos de densidad óptica que se encuentran en la curva característica. Este valor nos indica el contraste de una película radiográfica.

$$Gradiente\ promedio = \frac{DO_2 - DO_1}{\log X_2 - \log X_1} \quad (2.2)$$

donde,  $DO_2 = 2.0 + (B + N)$ ,  $DO_1 = 0.25 + (B + N)$ ,  $X_2$  y  $X_1$  son los valores de las exposiciones correspondientes.

Las películas radiográficas tienen un gradiente promedio de 1 o mayor.

- Gamma de la película: Se define como máxima pendiente de la curva característica, es decir es el máximo valor del contraste que puede tener una película radiográfica.
- Latitud: Es el rango de valores del logaritmo de la exposición que produce una densidad óptica dentro del intervalo aceptado para el diagnóstico clínico, entre 0.25-2.0. La latitud varía inversamente con el valor del contraste, en el caso de mamografía se utilizan películas con un alto contraste, es decir con poca latitud.

#### 4. Procesado de la película

Una vez que la película radiográfica, ha sido expuesta a la radiación es necesario que se revele para hacer visible la imagen, este proceso se lleva a cabo en un cuarto oscuro, en cuatro etapas: revelado, rellenado, fijado y lavado.

##### Cuarto oscuro

Es el lugar en el cual se maneja la película radiográfica, virgen y expuesta, evitando el peligro de que se encuentre sometida a la luz ambiental o a los rayos X, provocando una densidad óptica indeseable en la imagen (velo).

El cuarto oscuro debe contar con condiciones de temperatura, de humedad y de iluminación adecuados al tipo de película que se almacena o se manipula en este lugar, esto con el fin de evitar el deterioro de la película.

Las luces auxiliares en los cuartos oscuros utilizan filtros rojos, ya que estos filtros eliminan la componente verde emitida por la lámpara, ya que las películas son sensibles a la luz de este color, con el fin de evitar un velo indeseable en la película radiográfica.

##### Revelado

Es el proceso químico que hace posible que la imagen latente que se formó en la película radiográfica después de haber sido expuesta a un haz de rayos X, se haga visible. La reacción básica es la reducción de los iones de plata  $Ag^+$  cambiando a átomos de plata metálica Ag con ayuda del revelador.

El revelador es un agente químico que hace visible la imagen latente, la solución suele contener un acelerador y un preservador que actúa como controlador general de la actividad química y limita el nivel de velo.

##### Parámetros que afectan el proceso de revelado

###### a) Temperatura del revelador

Al aumentar la temperatura del líquido revelador aumenta el valor de la densidad óptica medida en la película, en el valor de la *base + niebla* y en la velocidad. El aumento de la densidad óptica

y de la velocidad reduce la exposición a la mama, pero el aumento en la temperatura está limitado por el valor de la *base + niebla*.

b) Tiempo de revelado

El aumento en el tiempo de revelado da como consecuencia un aumento en el valor de la *base + niebla*

c) Concentración del revelador

El aumento en la concentración del revelador producirá un incremento en la velocidad y el contraste de la película radiográfica, así como un incremento ligero en el valor de base + niebla.

### **Rellenado**

Cada que una película es revelada, tanto el líquido revelador como el fijador se van gastando por lo que es preciso rellenar los depósitos para evitar que baje el nivel y la calidad de éstos y que se reduzca el tiempo de contacto con la película.

El sistema de rellenado de los depósitos de revelador y fijador de los equipos automáticos depende de la cantidad y el tiempo de renovación, y de la cantidad de películas reveladas. Este proceso consiste en la activación de un interruptor que cada vez que pasa una película por la bandeja de alimentación pone en marcha el rellenado de los depósitos. Cualquier alteración en el sistema de renovación va a alterar el contraste de la imagen.

### **Fijado**

Después del revelado de la imagen latente, la emulsión aún contiene sales de plata no expuestas y que siguen siendo fotosensibles, el resto de los halogenuros de plata sin reaccionar, debe eliminarse de la película para evitar que la película se deteriore por exposición a la luz o por envejecimiento. Para ello, el halogenuro de plata no revelado será convertido en una sal soluble por la acción del fijador.

### **Lavado**

El objetivo del lavado es remover todos los residuos dejados por el fijador, que de otra forma quedarían atrapados en la estructura del gel, deteriorando la calidad de la imagen. En el caso en el que este proceso no se realice de forma adecuada la película radiográfica se volverá café a medida que transcurra el tiempo.

### **Secado**

El propósito del secado es extraer toda el agua que se encuentra en la gelatina para restituir la película a su espesor original, y así endurecer la superficie de la emulsión fotográfica para evitar daños mecánicos cuando se manipule la película.

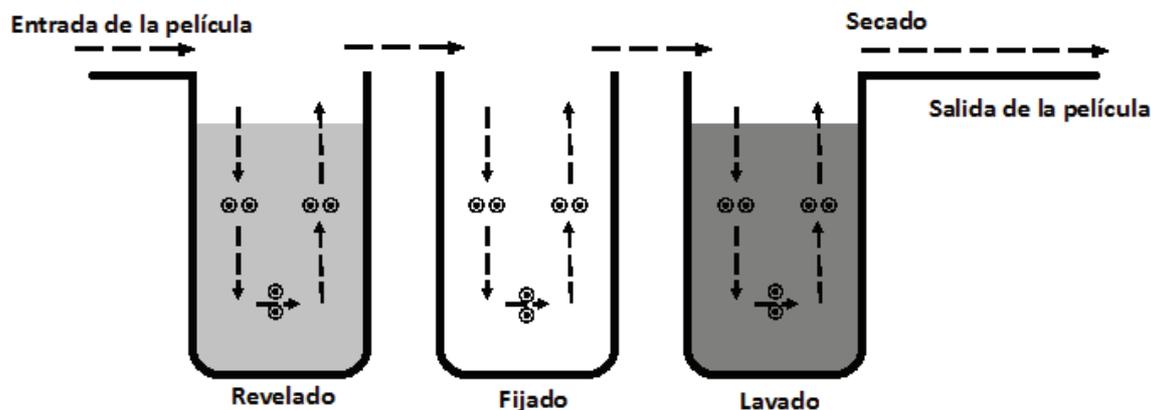


Figura 2.7. Esquema del procesamiento de la película. Adaptado de [Ra 10]

## 5. Receptor de imagen en un equipo digital DR

Los sistemas digitales DR, cuentan con un detector y un equipo de rayos X integrados. El detector puede ser de: conversión directa, conversión indirecta y de recuento de fotones. Se busca que los detectores cumplan con una serie de parámetros para mejorar la calidad de la imagen, estos parámetros son: absorción eficiente de la radiación incidente, respuesta lineal para un amplio rango de exposiciones, ruido intrínseco bajo, resolución espacial adecuada y sensibilidad adecuada que evite la irradiación excesiva del paciente, con tiempos de exposición aceptables. [Ch 10]

### Detectores de conversión directa

Estos detectores están fabricados de un material fotoconductor, el cual convierte de forma directa los rayos X en pares electrón-hueco, la carga generada es colectada y se mide como una señal eléctrica. Usualmente el material con el que son fabricados es selenio amorfo ( $\alpha$ -Se), este tipo de detectores son *detectores de panel plano*.

### Detectores de panel plano de $\alpha$ -Se

El haz de rayos X transmitido por la mama se absorbe por la capa de selenio, esta interacción produce pares electrón-hueco. La carga que se produce es colectada aplicando un campo eléctrico.

Una de las ventajas de los sistemas de selenio amorfo es su mayor eficiencia en la detección de los rayos X, en el intervalo de las energías típicas utilizadas en mamografía (20 keV-30 keV), comparado con los sistemas yoduro de cesio.

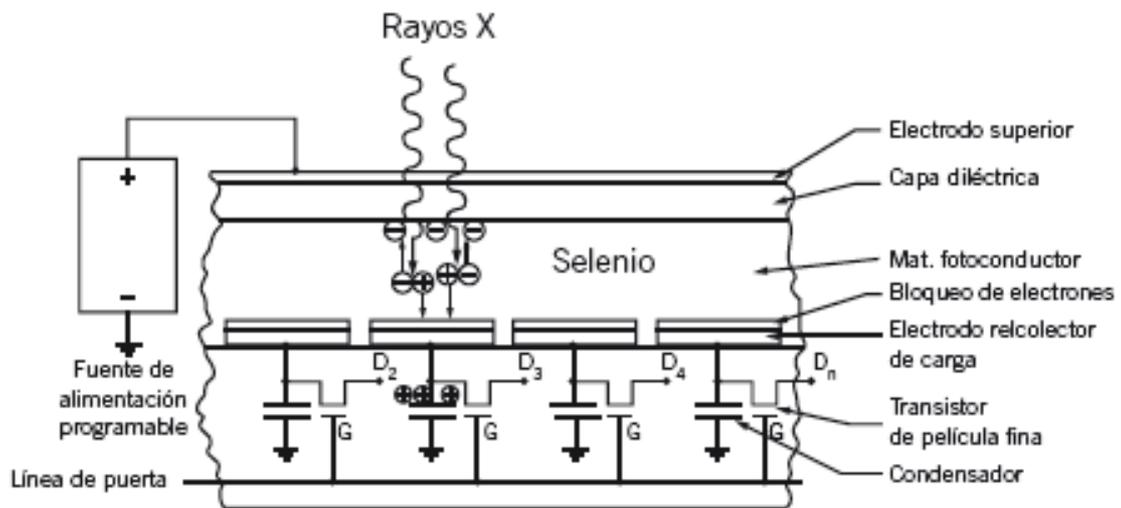


Figura 2.8. Esquema del funcionamiento de un detector de conversión directa (detector de panel plano de selenio amorfo ( $\alpha$ -Se)). [Ch 10]

### Detectores de conversión indirecta

En estos detectores los rayos X son convertidos en fotones de luz, y éstos en una señal eléctrica, es decir su funcionamiento se basa en un doble proceso de conversión. Existen dos tipos diferentes de detectores. [Ch 10]

#### 1) Detectores de panel plano

En este tipo de detectores, el material centelleante que se utiliza para la fabricación de estos detectores es el yoduro de cesio dopado con talio (ICs:Tl), una capa de éste material se deposita sobre una capa de un material fotoconductor de silicio amorfo, cuyo objetivo es convertir la luz en carga eléctrica. Las cargas eléctricas son medidas por los transistores de película fina (TFT), dando lugar a una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente.

#### 2) Dispositivos de carga acoplada (CCD)

En estos detectores los CCD se utilizan como elementos de conversión de fotones de luz en carga y lectura de la señal. EL CCD se acopla a una capa de material centelleante (ICs:Tl), a través de fibras ópticas que guían los fotones luminosos para producir una mayor tasa de interacción con los CCD. [Ch 10]

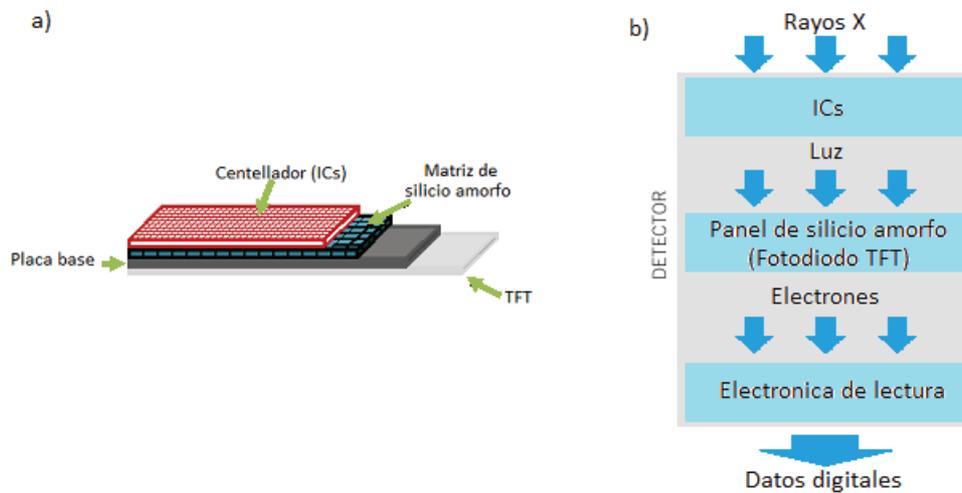


Figura 2.9. (a) Esquema del diseño y (b) Esquema del funcionamiento de los detectores de conversión indirecta de panel plano. Adaptado de [Ch 10]

### Detector de recuento de fotones

Los detectores de recuento de fotones se basan en el recuento individual de los fotones del haz de rayos X incidente, el detector es de estado sólido, en concreto de silicio cristalino (Si(B)), el cual absorbe directamente los fotones.

En este caso la anchura de la colimación del haz de rayos X y la anchura entre las placas de aluminio (Al) determinan el tamaño final del pixel. Las placas de Al dividen transversalmente al detector, tienen una longitud de 10 mm y se encuentran a una separación de  $50 \mu\text{m}$ . estas placas actúan como electrodos entre los que se aplica una diferencia de potencial para coleccionar la carga que se origina con la interacción de los rayos X y convertirla en un pulso que es contado. [Ch 10]

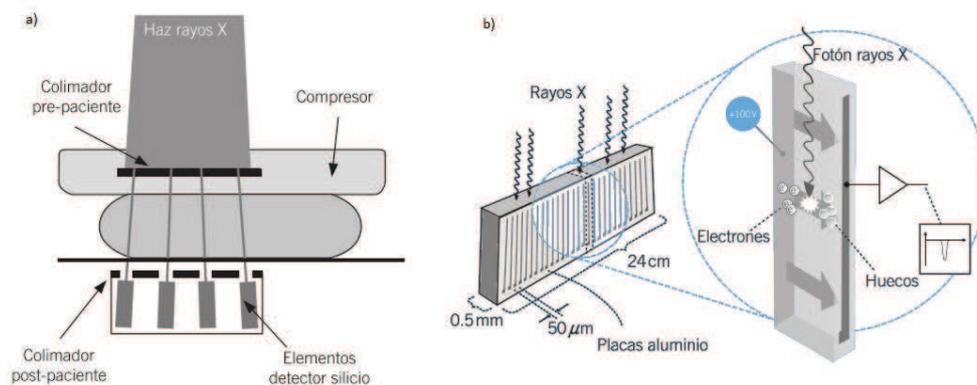


Figura 2.10. a) Funcionamiento de un detector de recuento de fotones. b) Esquema del proceso de lectura. [Ch 10]

### **Función de respuesta de los detectores**

Los detectores digitales DR presentan una respuesta que es lineal para un amplio intervalo de exposiciones, el rango dinámico mucho mayor que en los mastógrafos analógicos, del orden de 3 a 4 órdenes de magnitud.

El rango dinámico de un detector de imagen está es el intervalo de exposiciones en el cual el comportamiento del detector de imagen es lineal.

## Capítulo III

### CONTROL DE CALIDAD EN MAMOGRAFÍA

Los programas de detección temprana del cáncer de mama, tienen como objetivo encontrar tumores o alguna otra lesión en mujeres que no presentan ningún síntoma de la enfermedad. Estos programas permiten que se tenga acceso a tratamientos oportunos. Uno de los principales métodos que se utilizan en los programas de detección temprana es la mamografía.

La mamografía es la técnica radiológica más compleja debido a la constitución de la mama, por esta razón se debe efectuar en equipos especialmente diseñados para esta técnica. En este tipo de exámenes, se necesitan visualizar en las imágenes lesiones, microcalcificaciones o masas menores que 2.0-0.5 mm de diámetro, es por esto que las imágenes deben tener una **excelente calidad**.

Debido a todos estos factores, se han implementado Programas de Control de Calidad (CC), con el fin de asegurar que los componentes de los equipos de mamografía, incluyendo los procesadores de película en el caso de un mastógrafo analógico, funcionen correctamente. El control de calidad forma parte de la garantía de calidad y son las operaciones de medida destinadas a evaluar los parámetros característicos del funcionamiento de un equipo que pueden ser medidos y controlados, al objeto de verificar si sus valores se encuentran dentro de los márgenes de tolerancia exigibles para asegurar su correcta operación. [PECCR 11]

En México la institución encargada de establecer los criterios de aceptación y las pruebas que se deben realizar a los mastógrafo y a sus equipos periféricos es la Secretaría de Salud, por esta razón emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X, en la que se establecen; las pruebas que se les deben realizar a los sistemas de diagnóstico médico con rayos X, en particular a los sistemas de mamografía, ya sea fija o móvil, las frecuencias con la cual se deben realizar y los criterios de aceptación.

En diferentes países como es el caso de Estados Unidos, el Colegio Americano de Radiología (ACR) publicó en 1999 un manual para la acreditación de servicios de mamografía, Mamography Quality Control Manual, en éste se encuentran establecidas las pruebas y las funciones que tienen que llevar a cabo los médicos radiólogos, los técnicos radiólogos y los físicos médicos. En España, la Sociedad Española de Física Médica (SEFM), cuenta con un Protocolo de Control de Calidad en Mamografía Digital, en el cual se establecen las pruebas de Control de Calidad que se le deben efectuar a los equipos de mamografía digital, la frecuencia, y la persona que se debe encargar de realizarlas. Este trabajo basa la realización de las pruebas en estos tres documentos.

## 1. Criterios de calidad en la imagen mamográfica

En los programas de detección temprana del cáncer de mama, el médico radiólogo desea visualizar:

- Densidades
- Asimetrías
- Masas
- Microcalcificaciones
- Alteraciones en la piel, complejo areola-pezón y/o axila [Pe 10]

Debido al tipo de lesiones que se desean detectar en una imagen mamográfica, éstas deben contar con: alto contraste, adecuados valores de la densidad óptica, alta resolución espacial, nitidez y bajo ruido, esto en caso de ser un equipo analógico, mientras que en un equipo de mamografía digital (DR), los principales parámetros son: alta resolución espacial, nitidez, bajo ruido, adecuados valores de la relación señal – ruido y de la relación contraste – ruido, éstos parámetros entre otros cuantifica la calidad de la imagen radiográfica, y se definen en este capítulo.

La baja calidad en las imágenes puede conducir a una evaluación incorrecta de las imágenes, es por esto que la calidad de la imagen tiene que ser la adecuada para que se pueda realizar un diagnóstico acertado, sin olvidar la optimización de la dosis impartida en la mama de la paciente (dosis glandular promedio).

### Densidad óptica

La densidad óptica radiográfica se define como el grado de ennegrecimiento de una película o de una zona determinada. El intervalo útil en radiografía para las densidades ópticas varía entre 0.2 y 2.0, que si observamos la curva característica, figura 2.6, es la región lineal de la curva. La densidad óptica se define como:

$$DO = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (3.1)$$

donde  $I_0$  es la intensidad de la luz incidente, e  $I$  es la intensidad de la luz transmitida. La densidad óptica es un valor que no tiene unidades de medidas. La  $DO$  se mide con un densitómetro, éste equipo está formado por una fuente de luz blanca y un sensor el cual mide la luz que se transmite a través de la película radiográfica.

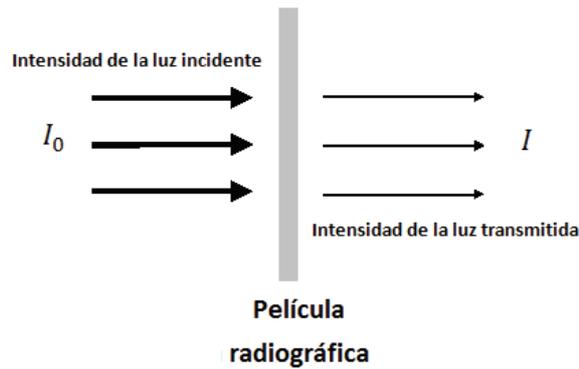


Figura 3.1. Esquema para ilustrar el concepto de densidad óptica.

### Contraste

El contraste radiográfico se refiere a la diferencia entre el valor de las densidades ópticas de la imagen mamográfica en distintas áreas adyacentes, el contraste en un equipo analógico de mamografía lo podemos expresar como:

$$C = DO_2 - DO_1 \quad (3.2)$$

En el caso del contraste en imágenes digitales existe un parámetro que se llama relación contraste-ruido y se expresa como:

$$RCR = \frac{VMP_2 - VMP_1}{\sqrt{\frac{DTP_2^2 + DTP_1^2}{2}}} \quad (3.3)$$

donde  $VMP_2$  y  $VMP_1$  son los valores promedio del valor de los píxeles contenidos en dos regiones de interés adyacentes (ROI) y  $DTP_2^2$  y  $DTP_1^2$  son la desviación típica del valor de los píxeles contenidos en las ROI.

La relación contraste-ruido (RCR): Es una medida usada para determinar la calidad de una imagen. La RCR compara la diferencia entre los valores medios de píxel en dos regiones vecinas con el nivel de ruido promedio de la imagen.

### Resolución espacial

La resolución espacial se define como la capacidad que tiene un sistema de imagen para poder distinguir dos objetos pequeños y muy cercanos como independientes. Para poder verificar la resolución espacial se usan patrones de barras, figura 4.3 b), el cual consta de grupos de líneas negras y líneas blancas que van desde 5 a 20 pares de líneas por milímetro.

Los elementos que afectan la resolución espacial del sistema son: el tamaño del punto focal; la radiación dispersa; en el caso de un equipo analógico el tamaño de los halogenuros de plata y dispersión de la luz generada en la pantalla intensificadora; mientras que en los equipos digitales DR, se busca verificar que el factor limitante de la resolución espacial sea el tamaño de pixel del detector y que ésta no se vea afectada por ningún otro factor.

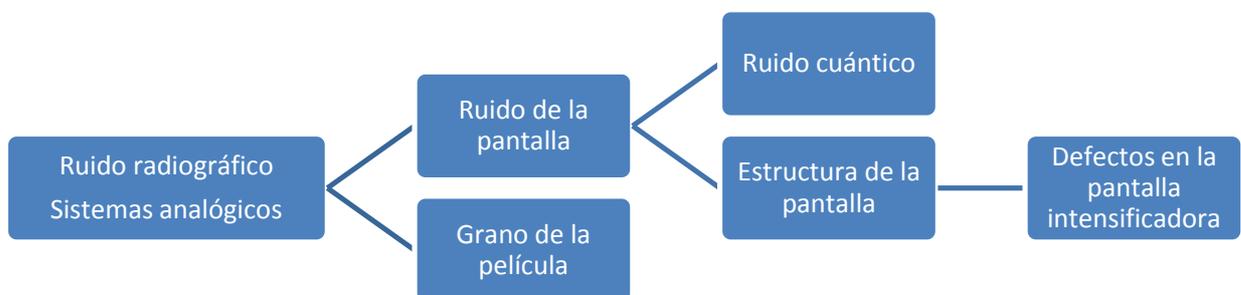
### Nitidez

La nitidez es la capacidad que tiene un sistema, de delinear un borde. En los equipos analógicos la nitidez en la imagen está en función del tamaño del grano de la película, que está relacionado directamente con la sensibilidad de la placa, en el caso de sistemas digitales la nitidez queda en función el tamaño del pixel.

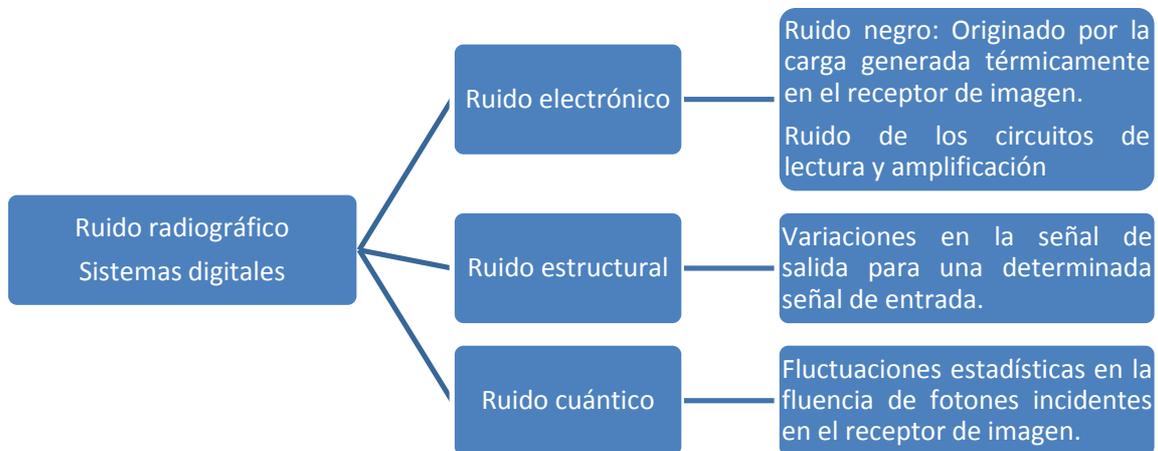
### Ruido

En las imágenes radiográficas existen diversos factores que hacen que se produzcan variaciones en la densidad óptica (equipo analógico) o en el valor medio de pixel (equipo digital) aun cuando no exista algún detalle en la imagen.

Todas las imágenes radiográficas contienen un cierto grado de ruido, en el caso de los equipos analógicos el ruido se debe a efectos cuánticos y granularidad de la película.



En el caso de las imágenes radiográficas obtenidas con equipos digitales (DR) el ruido está compuesto por ruido electrónico, ruido estructural y ruido cuántico.



El ruido cuántico es la principal componente del ruido en las imágenes radiográficas, reduce el nivel de detección de bajo contraste y afecta la resolución espacial.

La desviación típica de los valores del pixel (DTP) de una ROI de la imagen suele tomarse como un estimador del ruido. [PCCMD]

### Relación señal-ruido (RSR)

Es la relación entre la amplitud de una señal y el ruido de la misma. Dado que es deseable que los valores de señal sean altos en un sistema de imagen y el ruido sea lo más bajo posible, los valores de RSR deberán ser elevados. Para obtener el valor de la RSR tenemos:

$$RSR = \frac{VMP}{DTP} \quad (3.4)$$

donde *VMP* es el valor promedio del valor de los pixeles contenidos en una región de interés (ROI) estándar y *DTP* es la desviación típica del valor de los pixeles contenidos en la ROI.

### Calidad de imagen

Para poder evaluar la calidad de imagen en equipos analógicos o la constancia en la calidad de la imagen en equipos digitales y la dosis, existen diversos maniqués, que pretenden simular una mama de referencia con una composición 50% de tejido glandular y 50% de tejido adiposo, que comprimida tenga un espesor de 4.2 cm. El ACR cuenta con su maniquí, figura 4.12.

El maniquí de acreditación aceptado por el ACR, está diseñado para evaluar cuantitativamente la capacidad del sistema para obtener imágenes de estructuras pequeñas y de bajo contraste. El maniquí está hecho con un bloque de cera que contiene 16 objetos diferentes, los objetos simulan microcalcificaciones, estructuras fibrosas dentro de ductos y masas tumorales. La cera se encuentra dentro de un encapsulado de acrílico cuya base es de 3.3 cm de espesor y una tapa de 0.3 cm de espesor.

### **Dosis glandular promedio**

El tejido glandular es el más vulnerable de los tejidos mamarios, es decir es el que presenta más riesgo de inducción de cáncer, por esta razón es de suma importancia cuantificar la dosis glandular promedio, la cual se define como: La dosis absorbida en promedio en el tejido glandular, excluyendo la piel, de una mama comprimida uniformemente con una composición de un 50 % de tejido adiposo y un 50 % de tejido glandular

Para cuantificar la dosis impartida por los rayos X se mide la exposición a la entrada de la mama, utilizando una cámara de ionización y el maniquí de acreditación del ACR, que simula una mama comprimida de 4.5 cm de espesor y composición 50% glandular y 50% adiposa, esto bajo el protocolo del ACR.

La dosis glandular promedio se define como la dosis absorbida promedio en el volumen de mama y para calcularla tenemos:

$$D_g = D_{gN}X \quad (3.5)$$

dónde:  $D_g$  es la dosis glandular promedio [mGy],  $D_{gN}$  es el factor de conversión de exposición de entrada en la superficie a dosis glandular promedio y se puede ver en [ACR 99], y  $X$  es la exposición de entrada en la superficie [R]. En la siguiente figura podemos observar la variación de la dosis glandular y la exposición en función de la profundidad en el tejido.

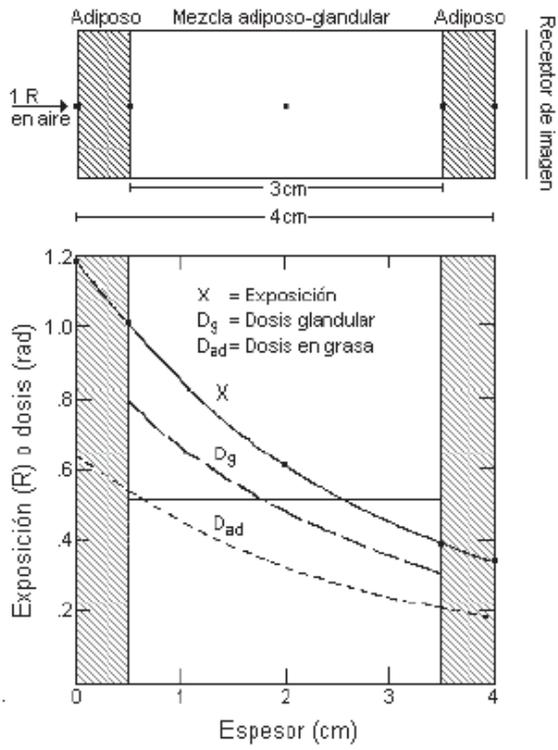


Figura 3.2. Variación de la exposición y la dosis en tejido glandular y adiposo respecto a la profundidad en el tejido. [Ra 10]

## Capítulo IV

### MÉTODO EXPERIMENTAL

Por parte del Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM), se evaluaron trece mastógrafos, entre analógicos y digitales, y sus equipos periféricos que se encuentran distribuidos en tres instituciones, las cuales participan en el Programa de Atención Integral del Cáncer de Mama (PAICMA).

Las pruebas que se realizaron a los mastógrafos y a los procesadores de película se realizaron en dos etapas de evaluación y dos visitas.

En las etapas de evaluación se realizan todas las pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los equipos, mientras que en las visitas se realizan sin previo aviso durante las jornadas de salud, y se efectúan las pruebas en las que se califica la calidad de las imágenes, en el caso de los mastógrafos analógicos, en las visitas, también se evalúa el funcionamiento del procesador de película.

#### 1. Pruebas de control de calidad

Estas pruebas se seleccionaron en base a las pruebas que se realizaron en el 2008 y 2010, las cuales se enfocan en evaluar el funcionamiento de los procesadores de película, la calidad de imagen en los equipos analógicos o la constancia de en la calidad de la imagen en los equipos digitales utilizando un maniquí que simula la mama de una paciente, acreditada por el ACR y la dosis impartida a este maniquí.

En la siguiente tabla se muestran las pruebas de control de calidad realizadas en los equipos analógicos, después las pruebas que se realizan en los analógicos y en los digitales y finalmente las que se realizan sólo en los digitales.

#### Procesador de película

Procesador	Prueba	Referencia de la prueba	Criterio de aceptación
or	Temperatura del líquido revelador	[ACR 99]	[ACR 99]
	Sensitometría	[ACR 99]	[ACR 99]

## Mastógrafo

	Prueba	Referencia de la prueba	Criterio de aceptación
<b>Analogico</b>	Tasa de kerma en aire	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	Exposición de entrada	[ACR 99]	[ACR 99]
	Resolución espacial (patrón paralelo)	[ACR 99]	[ACR 99]
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	[ACR 99]	[ACR 99]
<b>Analogico/digital</b>	Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo	[ACR 99]	[ACR 99]
	Evaluación de la colimación	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	Fuerza de compresión	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	CAE: Compensación por espesor	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	CAE: Reproducibilidad	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	Capa hemirreductora (mm Al)	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	Dosis glandular promedio (mGy)	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
	Calidad de la imagen	[NOM 229], [ACR 99]	[ACR 99]
<b>Digital</b>	Constancia de la calidad de la imagen	[PCCMD]	[PCCMD]
	Rejilla: Artefactos	[PCCMD]	[PCCMD]
	Detector: Función de respuesta	[PCCMD]	[PCCMD]
	Detector: Homogeneidad	[PCCMD]	[PCCMD]
	Resolución espacial 45°	[PCCMD]	[PCCMD]
	Distorsión geométrica	[PCCMD]	[PCCMD]

Tabla 4.1. Pruebas de CC realizadas a: los equipos analógicos y los procesadores de película asociados a éstos y a los equipos digitales DR. También se muestra la referencia de donde se tomo la prueba y de donde se tomaron los criterios de aceptación.

## 2. Material y equipo utilizado

El equipo utilizado para realizar las pruebas pertenece al Instituto de Física de la UNAM, consistiendo en:

- ▶ Cámara de ionización, marca RADCAL, modelo 20X6-6M, serie: 31208.
- ▶ Electrómetro Marca RADCAL, modelo 2026C, serie: 260720.
- ▶ Maniquí para mamografía, acreditado por el ACR, marca Gammex, serie: 800004-17535.
- ▶ Patrón de barras paralelas. De 5 a 20 pl/mm.
- ▶ Lupa 25X, marca Mitutoyo, modelo 183-202.
- ▶ Láminas de aluminio ultrapuro, marca Nuclear Associates, modelo 07-434.
- ▶ Sensitómetro dual color, marca Nuclear Associates, modelo 07-417, serie: 9808.
- ▶ Densitómetro marca Victoreen, modelo 07-424, serie: 95590.
- ▶ Termómetros digitales de vástago metálico, marca Taylor, modelo 9878.

- ▶ Báscula marca SOEHNLE, serie: BV00104
- ▶ 3 Placas de acrílico de 10 cm x 10 cm x 0.19 cm
- ▶ 4 Placa de acrílico de 18 cm x 24 cm x 2.4 cm
- ▶ Placas de acrílico de 10 cm x 15 cm x 2.0 cm
- ▶ Rejilla de contacto para mamografía, Nuclear Associates, 18-207
- ▶ Película de tinte radiocrómico, Gafchromic, XR-M
- ▶ 7 placas de acrílico de 24 cm x 30 cm x 1 cm
- ▶ 1 placa de acrílico de 24 cm x 30 cm x 0.5 cm
- ▶ Software para tratamiento de imágenes, ImageJ [1]
- ▶ Monitores de alta resolución 5 MP, Totoku (pertenecientes al Centro de Lectura de Estudios Mamográficos, INCan)
- ▶ Para el análisis de los datos se adecuaron los archivos Excel realizados por Fátima Escarcia (Sensitometría y temperatura del líquido revelados), Analyn Velasco (Mastógrafos analógicos) y Adriana Moreno (Mastógrafos digitales).

La cámara de ionización utilizada en las pruebas: capa hemirreductora, exposición de entrada, dosis glandular promedio, y función de respuesta, fue calibrada en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares el 2 de diciembre del 2008 y cuenta con el certificado No. 909 R-X (D), LCSD No. 1081. El factor de calibración es: 0.94 mR/u. esc.

El maniquí acreditado simula una mama compuesta por tejido 50% glandular-50% adiposo, de 4.2 cm de espesor.

### **3. Pruebas de CC al procesador de película**

#### **Temperatura líquido revelador**

Se verifica que la temperatura del líquido revelador del procesador de la película, se encuentre dentro de los niveles de operación establecidos por el fabricante y que la temperatura medida no difiera en  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de la temperatura mostrada en la carátula del sistema de revelado. El material usado en esta prueba es un termómetro digital de vástago metálico.

#### **Sensitometría**

En esta prueba se verifica que los valores de base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio de la película radiográfica se encuentren dentro de los valores de operación establecidos por el proveedor. En este caso se irradia una película con luz visible escalonada, es decir con diferentes intensidades, la cual es emitida por un sensitómetro, el siguiente paso es revelar la película y después se leen los valores de la DO con un densitómetro y se obtiene la curva característica. En la siguiente figura se muestra la curva característica de la película, con la cual se van a obtener los valores base+niebla y se van a calcular el índice de velocidad y el gradiente promedio.

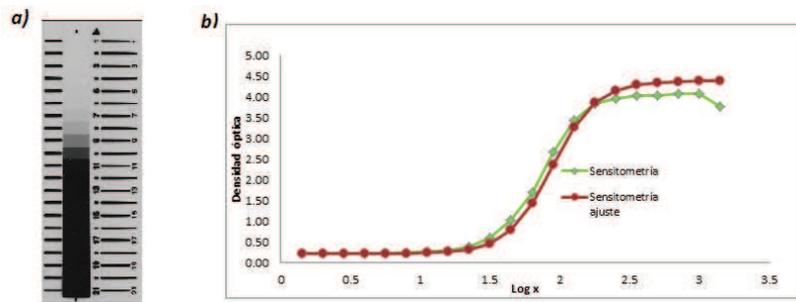


Figura 4.1. a) Imagen de la película revelada en la cual se muestra la tira sensitométrica, b) Curva característica obtenida al leer la densidad óptica en la película en cada uno de los pasos que se obtienen cuando la película es sujeta a una exposición escalonada.

#### 4. Pruebas de CC que sólo se realizan en mastógrafos analógicos

##### Tasa de kerma en aire

En esta prueba se verificó que la tasa de kerma en aire medida a 4.5 cm por encima del portachasis, con el compresor presente, para una combinación de ánodo y filtro de molibdeno (Mo/Mo), a una tensión de 28 kV y con un tiempo de operación mayor a 3s , cumpla con el criterio de aceptación de que se establece en la NOM-229-SSA1-2002 y en el ACR la cual establece que el valor de la tasa del kerma en aire debe ser mayor que 4.5 mGy/s.

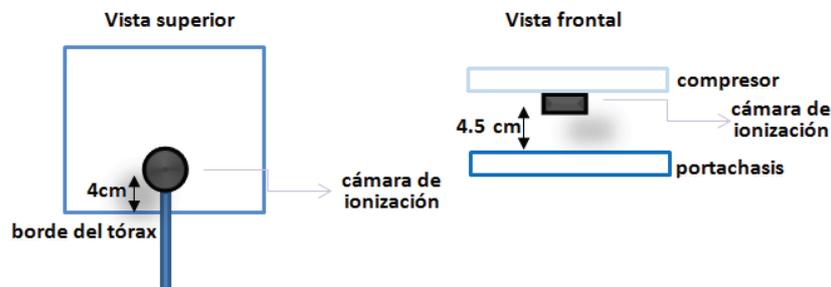


Figura 4.2. Colocación del equipo para la realización de la prueba de tasa de kerma en aire.

La cámara de ionización se montó a 4 cm del borde del tórax, a 4.5 cm sobre la superficie del portachasis y centrada lateralmente. El compresor se puso en contacto con la cámara de ionización.

##### Resolución espacial

Se evalúa la resolución del sistema completo de mamografía, en este caso la prueba está dividida en dos: resolución espacial (las barras del patrón paralelas a la dirección ánodo-cátodo) y resolución espacial ((las barras del patrón perpendiculares a la dirección ánodo-cátodo).

Para poder realizar esta evaluación se utiliza un patrón de barras que se coloca sobre un maniquí de acrílico de 4.5 cm de espesor, y éstos se encuentran sobre el portachasis. Para realizar la

evaluación de la **Resolución espacial (patrón paralelo)** el patrón se coloca a 1 cm del borde del tórax, con las barras paralelas a la dirección al eje ánodo-cátodo, mientras que para **Resolución espacial (patrón perpendicular)** el patrón de barras se coloca a 1 cm del bode del tórax, pero las barras se orientan perpendicularmente a la dirección del eje ánodo-cátodo, ver figura 4.3.

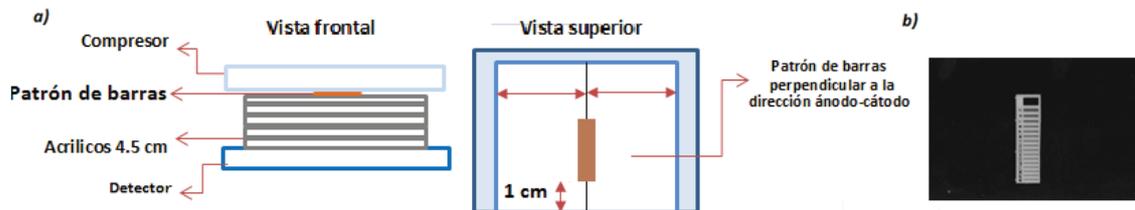


Figura 4.3. a) Esquema del montaje del equipo para la prueba de resolución, b) Imagen revelada del patrón de barras, colocado con las barras perpendiculares a la dirección ánodo-cátodo.

Para obtener los valores de los pares de líneas por milímetro (lp/mm), las placas se visualizan en un negatoscopio usando una lupa.

## 5. Pruebas de CC que se realizan en mastógrafos analógicos y digitales

En muchas de las pruebas que se realizan en los mastógrafos, se hace referencia a los factores de exposición (kV, mAs, ánodo/filtro), utilizados en condiciones clínicas, en el caso de la mastografía de detección temprana se utiliza un modo automático de operación, es decir el equipo escoge los factores de exposición. En este caso para escoger los factores de exposición se toma una imagen utilizando el maniquí acreditado por el ACR en modo automático y se registra el valor del kV, mAs, ánodo/filtro, los cuales se utilizan como los factores de exposición en condiciones clínicas.

### Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo

En esta prueba se evalúan diferentes componentes del mastógrafo como son: estabilidad mecánica, indicadores de angulación, dispositivos de bloqueo, fluidez del movimiento del mastógrafo y estado del compresor.

### Evaluación de la colimación

En esta prueba se verifica:

- Desviación entre el campo de rayos X y el campo de luz
- Desviación entre el campo de rayos X y el detector
- Alineación de los bordes del tórax del compresor y el detector

En el caso de un *mastógrafo analógico* se coloca un chasis de 18 cm × 24 cm, dentro del portachasis, y otro de 24 cm × 30 cm sobre el porta chasis, sobre este se colocan 4 monedas del

mismo tamaño en los cuatro lados del rectángulo que forman el campo de luz. En el borde de la paleta de compresión se coloca una moneda con un diámetro mayor al de las 4 monedas y se coloca a 4.2 cm del portachasis, ver figura 4.4.

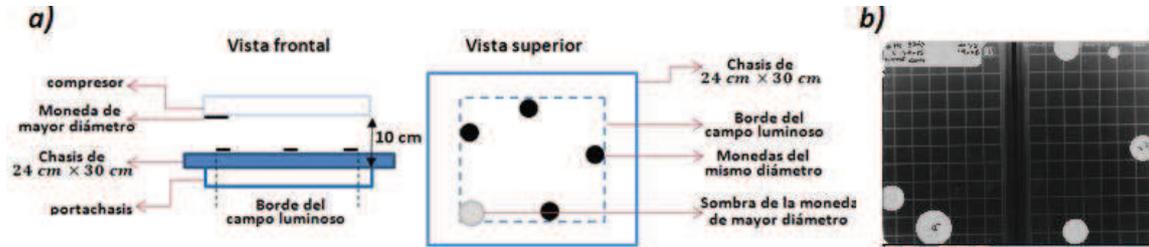


Figura 4.4 a) Montaje del equipo utilizado en la prueba de colimación en un equipo analógico, b) Película revelada ( $18\text{ cm} \times 24\text{ cm}$ ), que se coloca dentro del porta chasis, utilizada para el análisis de la colimación.

Para el análisis en esta prueba se deben tomar en cuenta las diferencias en la amplificación que existen entre las dos imágenes obtenidas.

En el caso de un equipo digital DR, el montaje es diferente ya que no se usa el chasis de  $24\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ , y en lugar de las cuatro monedas del mismo diámetro se utiliza película de tinte radiocrómico, ver figura 4.5.



Figura 4.5. a) Montaje de la prueba de colimación en un mastógrafo digital DR, b) Se puede observar una imagen radiográfica para el análisis de la prueba de colimación en un equipo digital DR, se pueden observar las imágenes de la película de tinte radiocrómico, las cuales se alinean con el borde del campo luminoso.

### Fuerza de compresión

Como ya se ha explicado anteriormente la compresión es un factor de suma importancia para la obtención de una imagen mamográfica con buena calidad. En esta prueba se verifica que la compresión proporcionada por los equipos, ya sea de forma manual o automática sea adecuada.

Para evaluar la compresión en los equipos, se utiliza una báscula la cual se coloca sobre el portachasis y bajo la paleta de compresión, envuelta en toallas.

### CAE: Compensación con el espesor

En mastógrafos analógicos, se obtienen imágenes radiográficas de diferentes espesores de acrílico, en modo automático. En las imágenes, se verifica que el valor en la densidad óptica en cada uno de los espesores se mantenga constante dentro de un rango de  $\overline{DO} \pm 0.30$ . La lectura de la densidad óptica se toma en el centro de la imagen formada por los acrílicos.

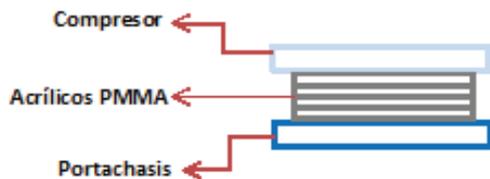


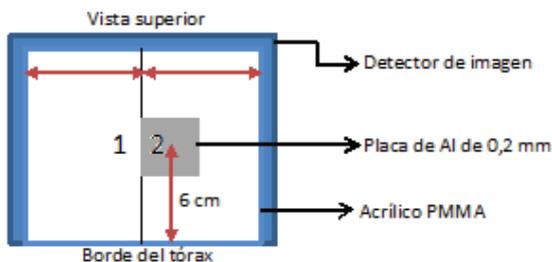
Figura 4.6. Montaje del equipo usado para CAE: Compensación con el espesor, los espesores de acrílico utilizados en esta prueba son: 2 cm, 4 cm y 6 cm.

Para evaluar **CAE: compensación con el espesor y la tensión** en los mastógrafos digitales DR, se utilizan diferentes espesores de acrílico entre 20 mm y 70 mm en incrementos de 10 mm y una placa de aluminio de 0.2 mm de espesor, de cada una de las imágenes obtenidas se calcula la relación contraste-ruido (RCR), en este caso se verifica que:

- $\frac{RCR}{RCR_{45}} > 1.05$  para espesores menores que 45 mm
- $\frac{RCR}{RCR_{45}} > 0.8$  para espesores mayores que 45 mm.

Se elige acrílico con un espesor de 45 mm, como maniquí estándar ya que equivale aproximadamente a una mama promedio de 52 mm de espesor en cuanto a atenuación y dispersión de la radiación incidente.

Para poder obtener los valores de la relación contraste ruido tenemos:



$$RCR = \frac{VMP_2 - VMP_1}{\sqrt{\frac{DTP_1^2 + DTP_2^2}{2}}} \quad (4.1)$$

Figura 4.7. Montaje del equipo utilizado para la prueba de CAE: compensación con el espesor y la tensión en un equipo digital DR.

Para esta prueba se coloca una placa de acrílico de 1 cm sobre el detector de la imagen, sobre ésta se coloca la lámina de Al y sobre esto se coloca otra placa de acrílico de 1 cm de espesor, se toma la imagen con factores de exposición correspondientes a las condiciones clínicas, se va aumentando el espesor en 1 cm de acrílico hasta llegar a 7 cm y en cada uno se toma una imagen, la placa de aluminio debe quedar siempre entre las dos primeras placas de acrílico.

### CAE: Reproducibilidad

En la prueba de CAE: reproducibilidad se verifica que los valores de los parámetros de exposición, bajo las mismas condiciones de espesor de la mama sean constantes.

Para un equipo analógico, se utiliza una cámara de ionización y el maniquí acreditado por el ACR, se hacen cuatro exposiciones en modo semiautomático, con los mismos valor de la tensión usados en condiciones clínicas, y se calcula los coeficientes de variación de la exposición a la superficie del maniquí que simula una mama y de la carga (mAs), éstos deben ser menores que 0.05, ver figura 4.8.

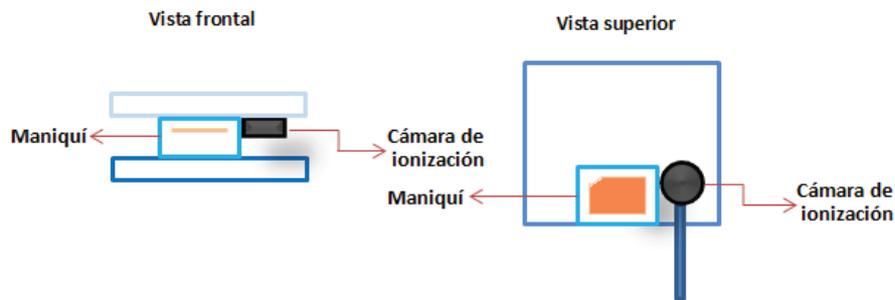


Figura 4.8. Esquema del montaje del equipo usado en la prueba de reproducibilidad para un mastógrafo analógico.

La prueba de reproducibilidad en un equipo digital DR, consistente en verificar que, bajo las mismas condiciones de espesor de la mama, el equipo produzca cinco imágenes con los mismos parámetros de exposición y que la relación señal-ruido (RSR) no varíe más del 5% entre una imagen y otra. En esta prueba el maniquí compuesto por 4.5 cm de acrílico que cubren toda la superficie del detector. El análisis se hace sobre imágenes crudas.

Para obtener el valor de la RSR tenemos:  $RSR = \frac{VMP}{DTP}$ , en este caso el VMP y la DTP, se miden en una región de interés (ROI) situada en un punto de referencia, ver figura 4.9.

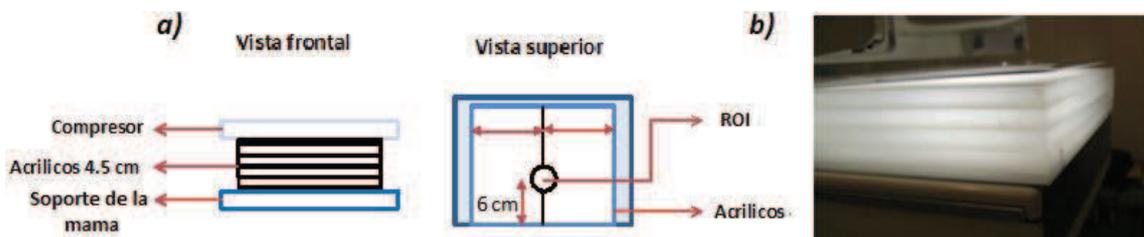


Figura 4.9. a) Esquema del montaje del equipo utilizado en la prueba de reproducibilidad para un equipo digital DR. b) imagen del dispositivo experimental.

El tamaño de la ROI es de  $4 \text{ cm}^2$ , su forma puede ser circular o cuadrada, el punto de referencia es a 6 cm del borde que corresponde a la pared del tórax.

### Capa hemirreductora CHR

En esta prueba se verifica que el valor de la CHR del haz de rayos X es la adecuada, éste es un parámetro que caracteriza la calidad del haz de rayos X.

Esta prueba se realiza utilizando placas de aluminio de 0.1 mm de espesor, las cuales se colocan sobre la paleta de compresión. La paleta de compresión se coloca lo más cerca posible del tubo de rayos X, con el fin de evitar que una mayor cantidad de radiación dispersa llegue a la cámara de ionización. Sobre el portachasis a 4.5 cm de altura se coloca el centro efectivo de la cámara de ionización, ver figura 4.10.

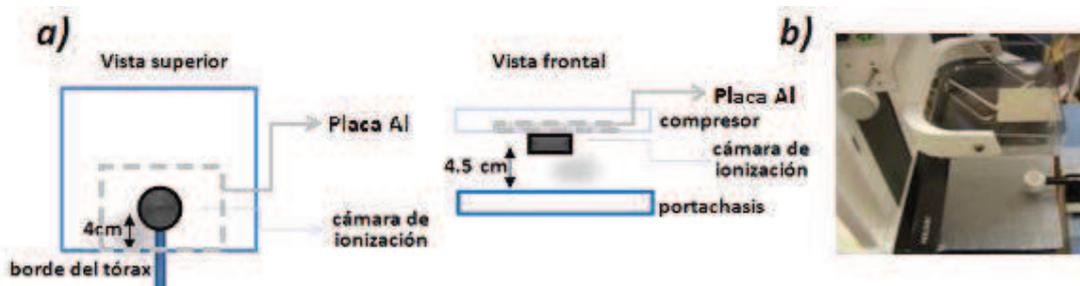


Figura 4.10. a) Esquema de la medición de la CHR, b) Medición de la CHR con una cámara de ionización, en el caso de un equipo digital DR, se coloca una placa de plomo para proteger el detector.

El valor del kV y blanco/filtro son los que se usan en condiciones clínicas, mientras que para el valor del mAs, se utiliza uno en el cual el valor de la exposición sea aproximadamente 1 R.

El primer disparo se realiza sin ninguna placa de Al y se registra el valor de la exposición, el siguiente disparo se realiza con 0.2 mm de Al y los siguientes aumentando cada vez 0.1 mm de Al, hasta llegar a un valor menor que la mitad del valor de la exposición inicial. El último disparo se vuelve a realizar sin ninguna placa de aluminio y se verifica que coincida con la lectura inicial.

Para obtener el valor de la capa hemirreductora tenemos la siguiente expresión:

$$CHR = \frac{[t_b \ln(\frac{2E_a}{E_0}) - t_a \ln(\frac{2E_b}{E_0})]}{\ln(\frac{E_a}{E_b})} \quad (4.2)$$

donde  $E_0$  es el valor de la lectura de la exposición inicial,  $E_a$  (exposición mayor que  $\frac{E_0}{2}$ ) y  $E_b$  (exposición menor que  $\frac{E_0}{2}$ ) son los valores de las lecturas de la exposición entre las cuales se encuentra  $\frac{E_0}{2}$ ,  $t_a$  y  $t_b$  son los espesores de los espesores de aluminio, correspondientes a  $E_a$  y  $E_b$ .

Los valores adecuados de la capa hemirreductora dependen del valor de la tensión, y de la combinación ánodo/filtro, el criterio de aceptación establecido en el ACR para la capa hemirreductora es el siguiente:

kV	Límite inferior de la CHR	Límite superior de la CHR		
		Mo/Mo	Mo/Rh	Rh/Rh
26	0.29	0.38	0.45	0.48
27	0.30	0.39	0.46	0.49
28	0.31	0.40	0.47	0.50
29	0.32	0.41	0.48	0.51
30	0.33	0.42	0.49	0.52
31	0.34	0.43	0.50	0.53
32	0.35	0.44	0.51	0.54

Tabla 4.2. Valores de los rangos en los que se puede encontrar el valor de la CHR, dependiendo del valor de la tensión y de la combinación ánodo/filtro, estos criterios de aceptación se establecen en el manual de CC del ACR.

#### Dosis glandular promedio

Para la realización de esta prueba se utiliza el maniquí de acreditación del ACR y la cámara de ionización, en esta prueba se verifica que el valor de la dosis glandular promedio para una mama 50% glandular y 50% adiposa sea menor que 3.0 mGy.



Figura 4.11. a) Esquema de medición de la dosis glandular promedio, b) El maniquí de acreditación se encuentra centrado sobre el soporte y la cámara de ionización se coloca junto al maniquí.

Para poder obtener el valor de la dosis glandular promedio se realizan cuatro exposiciones bajo las mismas condiciones (tensión, combinación ánodo/filtro, utilizados en condiciones clínicas), se registran los valores de la exposición y la carga (mAs).

Para obtener el valor de la dosis glandular tenemos la siguiente expresión:

$$\overline{D}_g = \bar{X} \times C_c \times f_c \quad (4.3)$$

donde  $\bar{X}$  es el valor promedio de la exposición  $[R]$ ,  $C_c$  es el coeficiente de calibración de la cámara de ionización y  $f_c$  es el factor de conversión a dosis  $mrad/R$ . El factor de conversión a dosis se encuentra en el manual de CC del ACR y depende del valor de la tensión, de la CHR y de la combinación ánodo/filtro.

Con la ecuación anterior obtenemos el valor de la dosis en mrad, para convertir a mGy tenemos la siguiente relación.

$$1 Gy = 100 rad$$

Este valor que se calcula es una aproximación del valor de la dosis glandular promedio impartida a la mama de una paciente.

### Calidad de imagen

Esta es una de las pruebas más importantes en un programa de CC, se realiza con el propósito de observar cambios en la calidad de la imagen mamográfica, y para realizarla se utilizó como referencia la imagen de un maniquí para mamografía (maniquí de acreditación ACR).

Para realizar esta prueba se coloca el maniquí de acreditación sobre el soporte de la mama, centrado lateralmente sobre el maniquí se coloca un disco de acrílico de 4 mm de espesor en una región en la que no interfiera con los objetos al interior del maniquí que vamos a visualizar, esto en el caso de que el equipo sea analógico, cuando el equipo es digital DR no se coloca el disco de acrílico, ver figura 4.12.

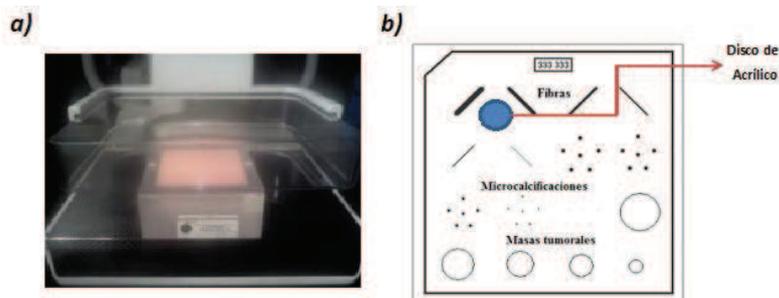


Figura 4.12. a) Imagen del montaje del equipo para la prueba de control de calidad, se puede observar que el maniquí se encuentra centrado lateralmente, b) Esquema del maniquí de acreditación del ACR, se observan 6 fibras, 5 grupos de microcalcificaciones y 5 masas. En el caso de que el equipo sea analógico se coloca un disco de acrílico de 4 mm de espesor como se muestra en la figura.

## 6. Pruebas de CC que se realizan en mastógrafos digitales

### Rejilla: Artefactos

En esta prueba se verifica que las imágenes de acrílico de 4.5 cm de espesor no muestren artefactos producidos por la rejilla.

En este caso se colocan 4.5 cm de acrílico cubriendo el detector de imagen, se registran los parámetros de exposición (ánodo/filtro, kV, mAs). Las imágenes obtenidas se visualizan en los monitores de interpretación, utilizando todas las herramientas posibles (zoom, variación de la anchura, nivel de la ventana, etc.)

### Detector: Función de respuesta

El objetivo de esta prueba es verificar que la relación que existe entre el valor medio de pixel (VMP) y el kerma en aire a la entrada del detector (KAD) es lineal, y que el coeficiente de determinación de la relación lineal que existe entre KAD-VMP sea mayor que 0.99. Primero se determina el KAD utilizando una cámara de ionización, la cual se coloca a 4.5 cm sobre el detector de imagen. Para la obtención del KAD se requiere retirar la rejilla antidispersora y la paleta de compresión y el maniquí de 4.5 cm de acrílico próximo al tubo de rayos X para evitar la radiación dispersa. En este caso por facilidad de manejo se colocó una lámina de Al de 2 mm de espesor la cual equivale en cuanto a atenuación a 4.5 cm de acrílico, ver figura 4.13.

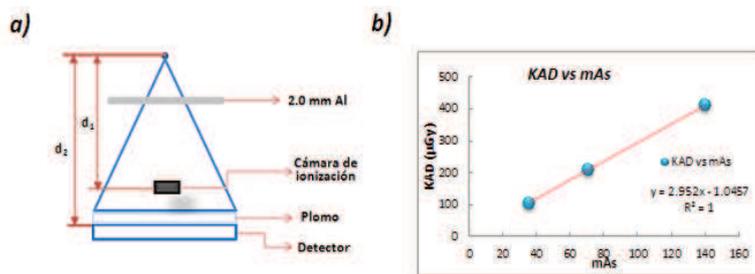


Figura 4.13. a) Geometría para medir KAD, es importante proteger el detector con plomo, b) Determinación de la relación KAD-mAs.

Se realizan tres exposiciones con combinación ánodo/filtro de Mo/Mo, a una tensión en el tubo de rayos X de 28 kV y con tres valores distintos del mAs, con los valores de la exposición medidos se obtienen los valores del KAD, corrigiendo por la distancia foco detector de acuerdo con la siguiente expresión:

$$KAD(mGy) = X[mR] \times f_c \times 0.00873 \left[ \frac{mGy}{mR} \right] \times \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (4.4)$$

donde  $X[mR]$  es el valor de la exposición medido con la cámara de ionización,  $f_c$  es el factor de calibración de la cámara de ionización,  $0.00873 \left[ \frac{mGy}{mR} \right]$  es el factor de conversión de exposición a kerma en aire,  $d_1$  es la distancia foco-centro efectivo de la cámara de ionización y  $d_2$  distancia foco-receptor de imagen.

Con los valores obtenidos del KAD y los valores del mAs de cada una de las exposiciones se obtiene la relación que existe entre el KAD-mAs, ver figura 4.13 b).

Para la determinación de la *función de respuesta* se retira la cámara de ionización y se obtienen imágenes en modo manual del maniquí estándar que se mantiene en la misma posición, las imágenes se deben obtener eligiendo un conjunto de valores del mAs (entre 10 y 200 mAs que cubran un intervalo amplio de valores clínicamente representativos). Con base en la relación que se obtuvo  $KAD - mAs$ , se obtienen el valor del KAD para cada una de las imágenes. Sobre las imágenes se mide el VMP y DTP de una ROI situada en el punto de referencia, a los valores del VMP y del KAD se les ajusta la ecuación de una línea recta y se obtiene el valor del coeficiente de determinación, el cual debe ser mayor que 0.99 ( $R^2 > 0.99$ ).

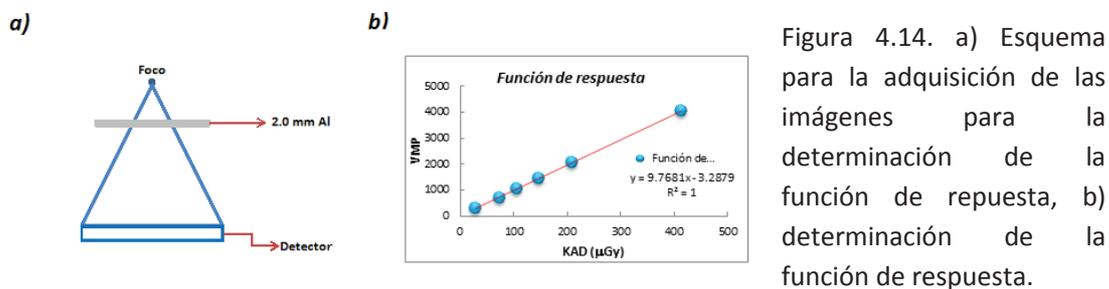


Figura 4.14. a) Esquema para la adquisición de las imágenes para la determinación de la función de repuesta, b) determinación de la función de respuesta.

### Detector: homogeneidad

El objetivo de esta prueba es verificar que:

La homogeneidad en la respuesta de los elementos que constituyen el receptor de imagen, para esto se verifica:

- La desviación máxima de los VMP medidos en las ROI's individuales de la imagen deben ser  $\leq \pm 15\%$  con respecto al VMP de la imagen completa
- La desviación máxima de RSR de las ROI's individuales debe ser  $\leq \pm 20\%$  respecto al valor promedio de RSR de todas la ROI's.

En esta prueba se coloca el maniquí estándar sobre el detector de imagen y se obtiene una imagen. La imagen cruda se visualiza con una anchura de ventana de  $\pm 10\%$  del VMP para detectar la presencia de artefactos, si en la imagen no se observan artefactos, se mide el VMP y la DTP de una ROI de  $1 \text{ cm}^2$ , situándola en distintos puntos de la imagen cruda barriendo la mayor área posible evitando los bordes laterales y posterior de la imagen (margen de 2 cm), ver figura 4.15.

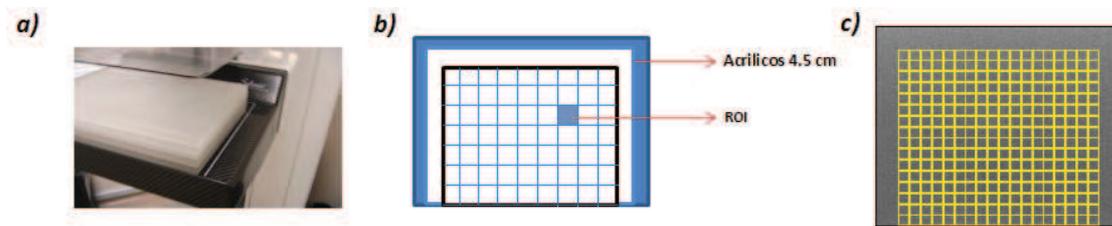


Figura 4.15. a) Colocación del maniquí estándar para la prueba de homogeneidad, b) Esquema del barrido de la ROI en la imagen radiográfica del maniquí estándar, c) Imagen radiográfica analizada con software de tratamiento de imágenes (Image J).

### Resolución espacial 45°

Con esta prueba se verifica que el factor que limita la resolución espacial en los equipos digitales DR es el tamaño de pixel del detector, la resolución asociada al detector se puede calcular con la siguiente expresión:

$$pl/mm = \frac{1}{2(\text{espacio entre pixeles})} \quad (4.5)$$

En esta prueba se utiliza un patrón de barras paralelas el cual se coloca sobre 4.5 cm de acrílico que se encuentran situados sobre el detector de imagen, el patrón de barras se coloca de tal manera que forma un ángulo de 45° con el eje ánodo-cátodo, a 1cm de a pared del tórax, ver figura 4.16. El patrón de barras se coloca a 45° con el fin de evitar interferencias con los elementos del detector o con las líneas de barrido del monitor.

Las imágenes se toman en modo automático y se evalúan en los monitores de visualización, contando el número de pares de líneas.

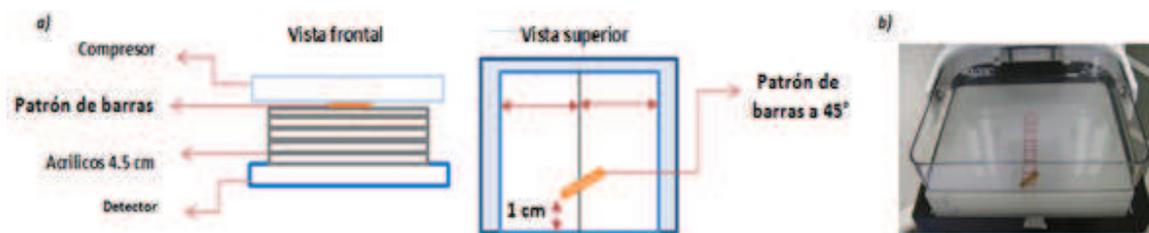


Figura 4.16. a) esquema del montaje del equipo para la prueba de resolución espacial en un equipo digital, b) El patrón de barras se coloca sobre 4.5 cm de acrílico y la paleta de compresión se encuentra a contacto.

### Distorsión geométrica

En esta prueba se verifica que las imágenes de una rejilla de contacto para mamografía no muestren distorsiones.

Para esta prueba se necesita una rejilla de contacto para mamografía la cual se coloca sobre 4.5 cm de acrílico y este montaje se coloca sobre el detector de imagen, la paleta de compresión se coloca lo más

cercana posible al tubo de rayos X, ver figura 4.17. Los parámetros de exposición para la obtención de la imagen son automáticos.



Figura 4.17. Imagen del montaje del equipo para la prueba de distorsión geométrica

Si en la imagen se observan distorsiones se tiene que determinar el si el origen del problema se encuentra en el detector o en el monitor de visualización.

## Capítulo V

### RESULTADOS

#### 1. Resultados 2011

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de CC realizadas a los 13 mastógrafos y a 3 procesadores de película. Los resultados se presentan divididos en tres, de acuerdo a las instituciones en las cuales se realizaron las pruebas (FUCAM, UMDAI e INCAN).

Los resultados de las pruebas se expresan de la siguiente forma:

S: Sí cumple	P: Preventivo	N: No cumple	NO PROCEDE	--:No se evaluó	N/D: No disponible
--------------	---------------	--------------	------------	-----------------	--------------------

### Resultados FUCAM

#### • Etapa 1

En el caso de FUCAM, se evaluaron 4 unidades móviles en las cuales se encuentran instalados 2 mastógrafos analógicos en cada una y dos procesadores de película. Estos últimos instalados en la clínica de FUCAM.

#### ❖ Pruebas al procesador de película

##### 1) Temperatura del líquido revelador

Temperatura del líquido revelador	Fecha	Procesador 1		Resultado	Procesador 2		Resultado
		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	25/04/2011	33.5	33.4±0.1	S	34.0	34.6±0.1	N
	09/05/2011	33.9	33.8±0.1	S	33.6	33.9±0.1	S
	23/05/2011	34.0	33.8±0.1	S	33.7	33.6±0.1	S

Tabla 5.1. Resultados de la prueba de Temperatura del líquido revelador, realizada en la primer etapa de evaluación.

#### *Criterio de aceptación.*

- En [NOM 229] se establece que la temperatura de las soluciones que intervienen en el proceso de revelado no deben diferir en  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  del valor señalado por el fabricante. En este caso la temperatura señalada por el fabricante es  $34^{\circ}\text{C}$ .
- La diferencia entre la temperatura medida y la temperatura que se muestra en la carátula del equipo revelador no debe ser mayor que  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

## 2) Sensitometría

En la siguientes tablas, se muestran los valores obtenidos de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para cada uno de los procesadores pertenecientes a FUCAM.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	25/04/2011	0.25	1.74	4.19	S
	09/05/2011	0.25	1.7	4.15	P
	23/05/2011	0.26	1.74	4.49	P

Sensitometría	Procesador 2				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	25/04/2011	0.28	1.71	4.34	N
	09/05/2011	0.26	1.71	4.45	N
	23/05/2011	0.26	1.74	4.54	P

Tabla 5.2. Resultados de la prueba de Sensitometría.

*Criterio de aceptación.* Los valores de B+N, índice de velocidad y gradiente promedio, deben de encontrarse dentro del rango de los niveles de operación proporcionados por el fabricante.

En este caso los parámetros no fueron proporcionados por el fabricante, así que se obtuvieron los niveles de operación utilizados para todo el año 2011 y son los siguientes:

Niveles de operación	
Base + Niebla	0.25-0.27
Índice de velocidad	1.73-1.75
Gradiente promedio	4.12-4.28

Tabla 5.3. Niveles de operación de los procesadores de película establecidos por parte del IFUNAM.

### ❖ Pruebas a los mastógrafos analógicos

Los resultados de las pruebas realizadas a los mastógrafos analógicos se presentan en tres bloques: General, Dosis e Imagen. De esta forma se pueden visualizar fácilmente los resultados generales de las pruebas realizadas a cada uno de los equipos.

#### - General

- Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo
- Evaluación de la colimación
- Fuerza de compresión

- CAE: Compensación con el espesor
- CAE: Repetibilidad
- Tasa de kerma en aire
- **Dosis**
  - Capa hemirreductora
  - Exposición de entrada
  - Dosis glandular promedio
- **Imagen**
  - Calidad de imagen
    - Densidad óptica al centro del maniquí
    - Contraste
    - Fibras
    - Microcalcificaciones
    - Masas
    - Puntuación del maniquí
    - Artefactos
  - Resolución espacial

## General

### 1) Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo

CUERPO DEL MASTOGRAFO	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Estabilidad mecánica de la unidad	--	S	--	S	--	S	S	S
Indicador de inclinación	--	S	--	S	--	S	S	S
Dispositivos de bloqueo	--	S	--	S	--	S	S	S
Campo luminoso	--	P	--	S	--	S	S	S
Fluidez del movimiento	--	S	--	S	--	S	S	S
Inspección del estado de los compresores	--	S	--	S	--	S	S	S
Soporte del detector libre de vibraciones	--	S	--	S	--	S	S	S
Deslizamiento suave del detector dentro	--	S	--	S	--	S	S	S
Desactivación de auto descompresión	--	S	--	S	--	S	S	S
Descompresión manual disponible	--	S	--	S	--	S	S	S
Mampara plomada	--	S	--	S	--	S	S	S
PANEL DE MANDOS								
Interruptores e indicadores	--	S	--	S	--	S	S	S
Visualización	--	S	--	S	--	S	S	S
Tabla de técnicas	--	N/A	--	N/A	--	N/A	N/A	N/A
<b>Resultado</b>	--	P	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.4. Resultado de la prueba de Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo.

El estado general del mastógrafo se tiene que encontrar en óptimas condiciones, para que las pacientes no estén expuestas a bordes filosos durante la exposición, y todos los componentes del mastógrafo se deben de encontrar en correcto funcionamiento.

Los mastógrafos 3-1A, 4-1A y 5-1A, no se encontraban en disponibles para la evaluación.

## 2) Evaluación de la colimación

### a) Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso

Desviación entre el campo de rayos X y el campo luminoso	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Suma como % de la DFI (bordes derecho e izquierdo)	--	1.23	--	0.54	--	0.85	1.38	1.31
Suma como % de la DFI (bordes anterior y tórax)	--	3.00	--	0.62	--	6.31	0.77	1.15
<b>Resultado</b>	--	N	--	S	--	N	S	S

Tabla 5.5. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso.

*Criterio de aceptación:* En el ACR, se establece que la suma de las desviaciones de los bordes derecho-izquierdo no debe ser mayor que el 2% de la distancia foco receptor de imagen (DFI). Así mismo para la suma de las desviaciones de los bordes anterior-tórax.

### b) Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen

Desviación entre el campo de rayos X y el receptor de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Suma como % de la DFI borde izquierdo	--	0.15	--	0.46	--	-0.15	0.64	-0.31
Suma como % de la DFI borde derecho	--	0.08	--	0.15	--	0.31	0.31	0.69
Suma como % de la DFI borde anterior	--	-3.5	--	-0.31	--	-0.27	0.15	-0.23
Suma como % de la DFI bordes tórax	--	0.38	--	0.31	--	0.00	0.15	0.31
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.6. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el campo de rayos X no debe exceder al receptor de imagen por cualquiera de sus lados en más del 2% de la DFI. En el borde de lado de la pared del

tórax el campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen. El campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen por mas del 2% de la DFI en los bordes izquierdo y derecho, o por mas del 4% de la DFI en el lado interior.

**c) Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen.**

Diferencia entre el borde de la paleta de compresión y el borde del receptor de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Diferencia como % de la DFI	--	0	--	0.15	--	0.15	0.85	0.08
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.7. Resultados de la evaluación de la Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el borde del compresor que limita con el tórax no debe estar dentro del receptor de imagen

**3) Fuerza de compresión**

Fuerza de compresión	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Modo motorizado [kg] ( $\pm 0.5$ kg)	--	15	--	18	--	18	17	18
Modo manual [kg] ( $\pm 0.5$ kg)	--	15	--	18	--	18	17	18
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.8. Resultados de la prueba de Fuerza de compresión.

*Criterio de aceptación:* La fuerza de compresión aplicada en modo manual debe alcanzar al menos 11.3 kg fuerza. La compresión realizada en modo motorizado debe estar entre 11.3 y 20.4 kg fuerza.

**4) CAE: Compensación con el espesor**

CAE: Compensación con el espesor	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO}$ ( $\pm 0.01$ )	--	1.62	--	1.9	--	1.59	1.66	1.96
Intervalo permisible	--	1.32-1.92	--	1.6	--	1.29-1.89	1.36-1.96	1.66-2.26
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.9. Resultados de la prueba de CAE: Compensación con el espesor.

*Criterio de aceptación:* El CAE funciona adecuadamente si la densidad óptica al centro de la película se encuentra dentro de  $\pm 0.30$  del promedio, cuando se varían la tensión y el espesor de los acrílicos (2.0 cm, 4.0 cm y 6.0 cm).

5) CAE: Repetibilidad

CAE: Reproducibilidad		kV	mAs	Coeficientes de variación	Exposición [mR]	Coeficientes de variación	Resultado	
Ánodo/Filtro Mo/Mo								
Unidad Móvil	3	1A	--	--	--	--	--	
			--	--		--		
			--	--		--		
			--	--		--		
		2B	28	47	0	0.678	0.002	S
			28	47		0.675		
			28	47		0.677		
			28	47		0.676		
	4	1A	--	--	--	--	--	
			--	--		--		
			--	--		--		
			--	--		--		
		2B	28	47	0	0.696	0.002	S
			28	47		0.699		
			28	47		0.698		
			28	47		0.698		
	5	1A	--	--	--	--	--	
			--	--		--		
			--	--		--		
			--	--		--		
		2B	28	42	0	0.624	0.002	S
			28	42		0.622		
			28	42		0.622		
			28	42		0.623		
6	1A	28	40	0	0.609	0.002	S	
		28	40		0.61			
		28	40		0.609			
		28	40		0.611			
	2B	28	46	0	0.693	0.001	S	
		28	46		0.693			
		28	46		0.694			
		28	46		0.694			

Tabla 5.10. Resultados de la prueba de CAE: Repetibilidad.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que, el coeficiente de variación de la exposición (mR) y de la carga (mAs) debe ser menor que 0.05.

6) Tasa de kerma en aire

Tasa de kerma en aire	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
kv	--	28	--	28	--	28	28	28
mAs	--	210	--	210	--	200	250	250
Tasa de kerma en aire [mGy/s]	--	9.5±0.4	--	9.6±0.4	--	9.8±0.4	10.6±0.4	10.1±0.4
Tasa de kerma en aire [mGy/s]	--	9.5	--	9.6	--	9.8	10.6	10.1
<b>Resultado</b>	--	S	--		--		S	S

Tabla 5.11. Resultados de la prueba Tasa de kerma en aire.

*Criterio de aceptación:* la Tasa de kerma en aire no debe ser menor que 4.5 mGy/s (513 mR/s), para una tensión de 28 kV.

Dosis

1) Capa hemirreductora

Capa hemirreductora	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
kV	--	28	--	28	--	28	28	28
mAs	--	60	--	60	--	60	60	60
CHR [mmAl]	--	0.38±0.01	--	0.38±0.01	--	0.38±0.01	0.38±0.01	0.37±0.01
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S
kV	--	27	--	27	--	27	27	27
mAs	--	60	--	60	--	60	60	60
CHR [mmAl]	--	0.36±0.01	--	0.37±0.01	--	0.37±0.01	0.37±0.01	0.36±0.01
<b>Resultado</b>	--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.12. Resultados de la prueba de Capa hemirreductora.

*Criterio de aceptación:* En [NOM 229] establece que la CHR mínima para una tensión menor que 30 kV será al menos 0.30 mm Al, el valor de la CHR nunca podrá ser mayor que 0.60 mm Al.

## 2) Exposición de entrada

Exposición de entrada		Unidad Móvil							
		3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo		Equipo							
		1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Promedio	Exposición [R]	--	0.75±0.03	--	0.77±0.03	--	0.69±0.03	0.61±0.02	0.77±0.03
	Carga [mAs]	--	59	--	58	--	52	40	58
Desviación estándar	Exposición [R]	--	0.001	--	0.001	--	0.001	0.001	0.002
	Carga [mAs]	--	0	--	0	--	0	0	0
Coeficientes de variación	Exposición [R]	--	0.001	--	0.001	--	0.002	0.002	0.003
	Carga [mAs]	--	0	--	0	--	0	0	0
<b>Resultado</b>		--	S	--	S	--	S	S	S

5.13. Resultados de la prueba de Exposición de entrada.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que el coeficiente de variación para la exposición y la carga no debe ser mayor que 0.05.

## 3) Dosis glandular promedio

Dosis glandular promedio		Unidad Móvil							
		3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo		Equipo							
		1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Kv		--	28	--	28	--	28	28	28
DGP [mGy]		--	1.21±0.05	--	1.25±0.05	--	1.12±0.04	1.09±0.04	1.22±0.05
<b>Resultado</b>		--	S	--	S	--	S	S	S
kV		--	27	--	27	--	27	27	27
DGP [mGy]		--	1.28±0.05	--	1.34±0.05	--	1.21±0.05	1.18±0.05	1.35±0.05
<b>Resultado</b>		--	S	--	S	--	S	S	S

Tabla 5.14. Resultados de la prueba de Dosis glandular promedio.

*Criterio de aceptación:* En [NOM 229] En [NOM 229] y En [ACR 99] se establece que la dosis glandular promedio en un nivel orientativo debe ser menor que 3mGy.

## Imagen

### 1) Calidad de imagen

Calidad de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO}_c (\pm 0.01)$	--	1.72	--	1.93	--	1.66	1.73	1.66
$\Delta DO$	--	0.54	--	0.59	--	0.52	0.58	0.52
Fibras	--	5	--	4	--	4	5	4
Microcalcificaciones	--	3	--	3	--	3	3	3
Masas	--	3	--	3	--	3	4	3
Puntuación del maniquí	--	11	--	10	--	10	12	10
Artefactos	--	Si hay	--	Si hay	--	No hay	No hay	Si hay
<b>Resultado</b>	--	P	--	P	--	S	S	P

Tabla 5.15. Resultados de la evaluación de la Calidad de imagen.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que para una tensión de 28 kV, se debe cumplir que la densidad óptica al centro del maniquí de acreditación del ACR ( $\overline{DO}_c$ ) debe ser mayor que 1.2, la diferencia entre las densidades ópticas ( $\Delta DO$  contraste debido al disco de acrílico de 4 mm) debe ser mayor que 0.4. La puntuación de la imagen del maniquí debe ser mayor que 10, pero se deben de visualizar: número de fibras  $\geq 4$ , número de microcalcificaciones  $\geq 3$ , número de masas  $\geq 3$ .

### 2) Resolución espacial

Resolución espacial	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Pares de líneas [pl/mm] paralelas al eje ánodo – cátodo	--	13	--	14	--	13	15	15
<b>Resultado</b>		S		S		S	S	S
Pares de líneas [pl/mm] perpendiculares al eje ánodo – cátodo	--	9	--	8	--	9	9	9
<b>Resultado</b>	--	N	--	N	--	N	N	N

Tabla 5.16. Resultados de la evaluación de la Resolución espacial.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo a [ACR 99], la resolución espacial mínima con las barras orientadas paralelamente a la dirección del eje ánodo–cátodo debe ser 13 pl/mm, y en la dirección perpendicular al eje ánodo–cátodo debe ser 11 pl/mm.

• **Etapa 2**

❖ **Pruebas al procesador de película**

**1) Temperatura del líquido revelador**

Temperatura del líquido revelador	Fecha	Procesador 1		Resultado	Procesador 2		Resultado
		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	22/11/2011	33.8±0.1	33.7±0.1	S	33.8±0.1	33.8±0.1	S
23/11/2011	34±0.1	33.9±0.1	S	33.8±0.1	33.8±0.1	S	

Tabla 5.17. Resultado de la prueba de Temperatura del líquido revelador.

*Criterio de aceptación.*

- En [NOM 229] se establece que la temperatura de las soluciones que intervienen en el proceso de revelado no deben diferir en  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  del valor señalado por el fabricante. En este caso la temperatura señalada por el fabricante es  $34^{\circ}\text{C}$ .
- La diferencia entre la temperatura medida y la temperatura que se muestra en la carátula del equipo revelador no debe ser mayor que  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

**2) Sensitometría**

En la siguientes tablas, se muestran los valores obtenidos de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para cada uno de los procesadores pertenecientes a FUCAM.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	22/11/2011	0.23	1.76	4.11	N
23/11/2011	0.24	1.76	4.11	N	

Sensitometría	Procesador 2				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	22/11/2011	0.24	1.71	4.34	N
23/11/2011	0.247	1.71	4.32	N	

Tabla 5.18. Resultados de la prueba de Sensitometría realizada a los procesadores de película en la segunda etapa de evaluación.

*Criterio de aceptación.* Los valores de B+N, índice de velocidad y gradiente promedio, deben de encontrarse dentro del rango de los niveles de operación proporcionados por el fabricante.

❖ Pruebas a los mastógrafos

**General**

**1) Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo**

CUERPO DEL MASTOGRAFO	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Estabilidad mecánica de la unidad	S	--	S	--	S	S	S	S
Indicador de inclinación	S	--	S	--	S	S	S	S
Dispositivos de bloqueo	S	--	S	--	S	S	S	S
Campo luminoso	S	--	S	--	S	S	S	S
Fluidez del movimiento	S	--	S	--	S	N	S	S
Inspección del estado de los	S	--	S	--	S	S	S	S
Soporte del detector libre de	S	--	S	--	S	S	S	S
Deslizamiento suave del detector	S	--	S	--	S	S	S	S
Desactivación de auto	S	--	S	--	S	S	S	S
Descompresión manual	S	--	S	--	S	S	S	S
Mampara plomada	S	--	S	--	S	S	S	S
PANEL DE MANDOS								
Interruptores e indicadores	S	--	S	--	S	S	S	S
Visualización	S	--	S	--	S	S	S	S
Tabla de técnicas	N/A	--	N/A	--	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	P	S	S

Tabla 5.19. Resultados de la Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo.

El estado general del mastógrafo se tiene que encontrar en óptimas condiciones, para que las pacientes no estén expuestas a bordes filosos durante la exposición, y todos los componentes del mastógrafo se deben de encontrar en correcto funcionamiento.

1) Evaluación de la colimación

a) Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso

Desviación entre el campo de rayos X y el campo luminoso	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Suma como % de la DFI (bordes derecho e izquierdo)	2.46	--	0.92	--	1.54	0.77	2.38	1.38
Suma como % de la DFI (bordes anterior y tórax)	6.85	--	1.54	--	1.54	1.23	2.31	1.38
<b>Resultado</b>	N	--	S	--	S	S	N	S

Tabla 5.20. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso

*Criterio de aceptación:* En el ACR, se establece que la suma de las desviaciones de los bordes derecho e izquierdo no debe ser mayor que el 2% de la distancia foco receptor de imagen (DFI).

b) Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen

Desviación entre el campo de rayos X y el receptor de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Suma como % de la DFI borde izquierdo	0.15	--	0.63	--	0.23	0.17	0.46	0.23
Suma como % de la DFI borde derecho	0.26	--	0.03	--	0.08	0.15	0.61	0.32
Suma como % de la DFI borde anterior	0.31	--	0.03	--	0.46	0.23	0.31	0.31
Suma como % de la DFI bordes tórax	0.46	--	0.28	--	0.38	0.25	0.09	0.45
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	s	S

Tabla 5.21. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el campo de rayos X no debe exceder al receptor de imagen por cualquiera de sus lados en más del 2% de la DFI. En el borde de lado de la pared del tórax el campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen. El campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen por más del 2% de la DFI en los bordes izquierdo y derecho, o por más del 4% de la DFI en el lado interior.

c) **Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen**

Diferencia entre el borde de la paleta de compresión y el borde del receptor de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Diferencia como % de la DFI	0.62	--	0.15	--	0.62	0.15	0.08	0.31
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.22. Resultados de la evaluación de la Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el borde del compresor que limita con el tórax no debe estar dentro del receptor de imagen.

**2) Fuerza de compresión**

Fuerza de compresión	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Modo motorizado [kg] ( $\pm 0.5$ kg)	17.5	--	17	--	17.3	17.3	17.5	17
Modo manual ( $\pm 0.5$ kg) [kg]	18	--	18	--	18	18	17.5	18
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.23. Resultados de la prueba de Fuerza de compresión.

*Criterio de aceptación:* La fuerza de compresión aplicada en modo manual debe alcanzar al menos 11.3 kg fuerza. La compresión realizada en modo motorizado debe estar entre 11.3 y 20.4 kg fuerza.

**3) CAE: Compensación con el espesor**

CAE: Compensación con el espesor	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO}$ ( $\pm 0.01$ )	1.61	--	1.48	--	1.16	1.34	1.51	1.71
Intervalo permisible	1.31-1.91	--	1.18-1.78	--	1.16-1.76	1.04-1.64	1.21-1.81	1.41-2.01
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.24. Resultados de la prueba de CAE: Compensación con el espesor.

*Criterio de aceptación:* El CAE funciona adecuadamente si la densidad óptica al centro de la película se encuentra dentro de  $\pm 0.30$  del promedio, cuando se varían la tensión y el espesor de los acrílicos (2.0 cm, 4.0 cm y 6.0 cm). Los valores de la tensión se varían usando valores clínicos.

#### 4) CAE: Repetibilidad

CAE: Reproducibilidad			kV	mAs	Coeficientes de variación	Exposición [mR]	Coeficientes de variación	Resultado
Ánodo/Filtro Mo/Mo								
Unidad Móvil	3		28	47	0	0.698	0.001	S
			28	47		0.698		
			28	47		0.697		
			28	47		0.698		
		2B	--	--	--	--	--	--
			--	--		--		
			--	--		--		
			--	--		--		
	4	1A	28	43	0	0.645	0.001	S
			28	44		0.646		
			28	43		0.644		
			28	43		0.646		
		2B	--	--	--	--	--	--
			--	--		--		
			--	--		--		
			--	--		--		
	5	1A	28	43	0	0.644	0.001	S
			28	43		0.642		
			28	43		0.644		
			28	43		0.643		
		2B	28	44	0	0.659	0.001	S
			28	45		0.661		
			28	45		0.66		
			28	45		0.661		
6	1A	28	41	0	0.615	0.005	S	
		28	41		0.619			
		28	41		0.622			
		28	41		0.621			
	2B	28	47	0	0.705	0.002	S	
		28	47		0.705			
		28	47		0.708			
		28	47		0.706			

Tabla 5.25. Resultados de la prueba de CAE: Repetibilidad

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que, el coeficiente de variación de la exposición (mR) y de la carga (mAs) debe ser menor que 0.05.

### 5) Tasa de kerma en aire

Tasa de kerma en aire	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Kv	28.0	--	28.0	--	28.0	28.0	28.0	28.0
mAs	100.0	--	100.0	--	100.0	100.0	100.0	100.0
Tasa de kerma en aire [mGy/s]	11.2±0.4	--	11.4±0.5	--	11.4±0.5	11.3±0.5	10.2±0.5	11.2±0.4
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.26. Resultados de la prueba de Tasa de kerma en aire.

*Criterio de aceptación:* la Tasa de kerma en aire no debe ser menor que 4.5 mGy/s (513 mR/s), para una tensión de 28 kV.

### Dosis

#### 1) Capa hemirreductora

Capa hemirreductora	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Kv	28	--	28	--	28	28	28	28
MAs	60	--	60	--	60	60	60	60
CHR [mmAl]	0.38±0.01	--	0.38±0.01	--	0.38±0.01	0.38±0.01	0.38±0.01	0.37±0.01
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S
kV	28	--	27	--	27	27	27	27
mAs	60	--	60	--	60	60	60	60
CHR [mmAl]	0.36±0.01	--	0.37±0.01	--	0.37±0.01	0.37±0.02	0.36±0.01	0.36±0.01
<b>Resultado</b>	S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.27. Resultados de la prueba de capa hemirreductora.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 establece que la CHR mínima para una tensión menor que 30 kV será al menos 0.30 mm Al, el valor de la CHR nunca podrá ser mayor que 0.60 mm Al.

## 2) Exposición de entrada

Exposición de entrada		Unidad Móvil							
		3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo		Equipo							
		1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Promedio	Exposición [R]	0.70±0.03	--	0.65±0.03	--	0.64±0.03	0.66±0.03	0.62±0.02	0.71±0.03
	Carga [mAs]	47	--	43.3	--	43	44.8	41	47
Desviación estándar	Exposición [R]	0.001	--	0.001	--	0.001	0.001	0.003	0.001
	Carga [mAs]	0	--	0.5	--	0	0.5	0	0
Coeficientes de variación	Exposición [R]	0.001	--	0.001	--	0.001	0.001	0.005	0.002
	Carga [mAs]	0	--	0.012	--	0	0.011	0	0
<b>Resultado</b>		S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.28. Resultados de la prueba de Exposición de entrada.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que el coeficiente de variación para la exposición y la carga no debe ser mayor que 0.05.

## 3) Dosis glandular promedio

Dosis glandular promedio		Unidad Móvil							
		3		4		5		6	
Ánodo/Filtro Mo/Mo		Equipo							
		1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
kV		28	--	28	--	28	28	28	28
DGP [mGy]		1.25±0.05	--	1.16±0.05	--	1.15±0.05	1.19±0.05	1.11±0.04	1.27±0.05
<b>Resultado</b>		S	--	S	--	S		S	S
kV		27	--	27	--	27	27	27	27
DGP [mGy]		1.32±0.05	--	1.24±0.05	--	1.24±0.05	1.29±0.05	1.20±0.05	1.35±0.05
<b>Resultado</b>		S	--	S	--	S	S	S	S

Tabla 5.29. Resultados de la prueba de dosis glandular promedio.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 y En [ACR 99] se establece que la dosis glandular promedio en un nivel orientativo debe ser menor que 3mGy.

## Imagen

### 1) Calidad de imagen

Calidad de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO_c} (\pm 0.01)$	1.61	--	1.49	--	1.51	1.4	1.14	1.69
$\Delta DO$	0.51	--	0.47	--	0.49	0.45	0.48	0.53
Fibras	4	--	4	--	5	4	5	5
Microcalcificaciones	3	--	3	--	3	3	3	2.5
Masas	4	--	4	--	4	4	4	4
Puntuación del maniquí	11	--	11	--	12	11	12	11.5
Artefactos	Si hay	--	Si hay	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay
<b>Resultado</b>	P	--	P	--	P	P	N	N

Tabla 5.30. Resultados de la prueba de Calidad de imagen.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que para una tensión de 28 kV, se debe cumplir que la densidad óptica al centro del maniquí de acreditación del ACR ( $\overline{DO_c}$ ) debe ser mayor que 1.2, la diferencia entre las densidades ópticas ( $\Delta DO$  contraste debido al disco de acrílico de 4 mm) debe ser mayor que 0.4. La puntuación de la imagen del maniquí debe ser mayor que 10, pero se deben de visualizar: número de fibras  $\geq 4$ , número de microcalcificaciones  $\geq 3$ , número de masas  $\geq 3$ .

### 2) Resolución espacial

Resolución espacial	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
Pares de líneas [pl/mm] paralelas al eje ánodo – cátodo	11	--	12	--	13		12	12
<b>Resultado</b>	N	--	N	--	S		N	N
Pares de líneas [pl/mm] perpendiculares al eje ánodo – cátodo	8	--	8	--	8		8	9
<b>Resultado</b>	N	--	N	--	N		N	N

Tabla 5.31. Resultado de la prueba de Resolución espacial.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo a [ACR 99], la resolución espacial mínima con las barras orientadas paralelamente a la dirección del eje ánodo–cátodo debe ser 13 pl/mm, y en la dirección perpendicular al eje ánodo–cátodo debe ser 11 pl/mm.

- **Visita 1**

Las pruebas que se realizan en las visitas a los mastógrafos y los equipos periféricos son:

- 1) Temperatura del líquido revelador
- 2) Sensitometría
- 3) Calidad de imagen

En las siguientes tablas se muestran los valores que se obtuvieron en las pruebas.

**1) Temperatura del líquido revelador**

Temperatura del líquido revelador	Fecha	Procesador 1		Resultado	Procesador 2		Resultado
		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	03/08/2011	34.0±0.1	34.0±0.1	S	34.0±0.1	34.0±0.1	S
	04/08/2011	34.0±0.1	33.8±0.1	S	33.8±0.1	34.0±0.1	S

Tabla 5.32. Resultados de la prueba de Temperatura del líquido revelador.

**2) Sensitometría**

En las siguientes tablas, se muestran los valores obtenidos de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para cada uno de los procesadores pertenecientes a FUCAM, obtenidos en la visita 1.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	03/08/2011	0.25	1.73	4.61	P
	04/08/2011	0.25	1.73	4.49	P

Sensitometría	Procesador 2				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	03/08/2011	0.25	1.73	4.63	P
	04/08/2011	0.26	1.73	4.55	P

Tabla 5.33. Resultados de la prueba de Sensitometría.

### 3) Calidad de imagen

Calidad de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO_c} (\pm 0.01)$	--	1.64	--	1.55	--	1.58	1.63	--
$\Delta DO$	--	0.55	--	0.53	--	0.51	0.55	--
Fibras	--	4	--	5	--	5	4	--
Microcalcificaciones	--	3	--	3	--	3	3	--
Masas	--	4	--	4	--	4	4	--
Puntuación del maniquí	--	11	--	12	--	12	11	--
Artefactos	--	Si hay	--	Si hay	--	Si hay	Si hay	--
<b>Resultado</b>	--	P	--	P	--	P	P	--

Tabla 5.34. Resultados de la prueba de Calidad de imagen.

## • Visita 2

### 1) Temperatura del líquido revelador

Temperatura del líquido revelador	Fecha	Procesador 1		Resultado	Procesador 2		Resultado
		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]		Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	16/11/2011	34.0±0.1	33.9±0.1	S	34.0±0.1	34.0±0.1	S

Tabla 5.35. Resultados de la prueba de Temperatura del líquido revelador.

### 2) Sensitometría

En la siguientes tablas, se muestran los valores obtenidos de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para cada uno de los procesadores pertenecientes a FUCAM, obtenidos en la visita 2.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	16/11/2011	0.25	1.76	4.11	P

Sensitometría	Procesador 2				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	16/11/2011	0.26	1.71	4.34	P

Tabla 5.36. Resultado de la prueba de Sensitometría.

### 3) Calidad de imagen

Calidad de imagen	Unidad Móvil							
	3		4		5		6	
	Equipo							
	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
$\overline{DO_c} (\pm 0.01)$	1.66	--	1.51	--	--	1.45	1.53	1.64
$\Delta DO$	0.51	--	0.46	--	--	0.46	0.49	0.54
Fibras	5	--	4	--	--	5	4	4
Microcalcificaciones	3	--	3	--	--	3	3	3
Masas	4	--	4	--	--	4	4	4
Puntuación del maniquí	12	--	11	--	--	12	11	11
Artefactos	Si hay	--	Si hay	--	--	Si hay	Si hay	Si hay
<b>Resultado</b>	P	--	P	--	--	P	N	N

Tabla 5.37. Resultados de la prueba de Calidad de imagen.

## Resultados UMDAI

- **Etapa 1**

En UMDAI, se evaluaron 2 mastógrafos analógicos y un procesador de película.

- ❖ **Pruebas al procesador de película**

- 1) Temperatura del líquido revelador**

Temperatura del líquido revelador	Procesador 1			Resultado
	Fecha	Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	05/04/2011	33.5±0.1	33.5±0.1	

Tabla 5.38. Resultados de la prueba de Temperatura del líquido revelador.

*Criterio de aceptación.*

- En [NOM 229] se establece que la temperatura de las soluciones que intervienen en el proceso de revelado no deben diferir en  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  del valor señalado por el fabricante. En este caso la temperatura señalada por el fabricante es  $34^{\circ}\text{C}$ .
- La diferencia entre la temperatura medida y la temperatura que se muestra en la carátula del equipo revelador no debe ser mayor que  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

- 2) Sensitometría**

En la siguientes tablas, se muestran los valores obtenidos de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para cada uno de los procesadores pertenecientes a UMDAI.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	05/04/2011	0.21	1.75	3.83	

Tabla 5.39. Resultados de la prueba de Sensitometría.

*Criterio de aceptación. Los valores de B+N, índice de velocidad y gradiente promedio, deben de encontrarse dentro del rango de los niveles de operación proporcionados por el fabricante.*

Los valores de los niveles de operación para UMDAI son los siguientes:

Niveles de operación	
Base + Niebla	0.22-0.28
Índice de velocidad	1.63-1.87
Gradiente promedio	4.22-4.68

Tabla 5.40. Niveles de operación del procesador de película perteneciente a UMDAI.

#### ❖ Pruebas a los mastógrafos

##### General

##### 1) Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo

CUERPO DEL MASTOGRAFO	UMDAI	
	Equipo	
	Lorad	Senographe
Estabilidad mecánica de la unidad	S	S
Indicador de inclinación	P	S
Dispositivos de bloqueo	S	S
Campo luminoso	S	S
Fluidez del movimiento	S	S
Inspección del estado de los compresores	S	S
Soporte del detector libre de vibraciones	S	S
Deslizamiento suave del detector dentro del	S	S
Desactivación de auto descompresión disponible	S	S
Descompresión manual disponible	P	S
Mampara plomada	S	S
<b>PANEL DE MANDOS</b>		
Interruptores e indicadores	S	S
Visualización	S	S
Tabla de técnicas	N/A	N/A
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.41. Resultados de la Evaluación mecánica estado general del mastógrafo.

El estado general del mastógrafo se tiene que encontrar en óptimas condiciones, para que las pacientes no estén expuestas a bordes filosos durante la exposición, y todos los componentes del mastógrafo se deben de encontrar en correcto funcionamiento.

## 2) Evaluación de la colimación

### a) Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso

Desviación entre el campo de rayos X y el campo luminoso	Equipo	
	Lorad	Senographe
Suma como % de la DFI (bordes derecho e izquierdo)	0.62	0
Suma como % de la DFI (bordes anterior y tórax)	0.31	1.71
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.42. Resultados de la evaluación de la coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso.

*Criterio de aceptación:* En el ACR, se establece que la suma de las desviaciones de los bordes derecho e izquierdo no debe ser mayor que el 2% de la distancia foco receptor de imagen (DFI).

### b) Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen

Desviación entre el campo de rayos X y el receptor de imagen	Equipo	
	Lorad	Senographe
Suma como % de la DFI borde izquierdo	1.08	0.62
Suma como % de la DFI borde derecho	1.38	0.92
Suma como % de la DFI borde anterior	-0.15	1.11
Suma como % de la DFI bordes tórax	1.23	0.08
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.43. Resultados de la evaluación de la coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el campo de rayos X no debe exceder al receptor de imagen por cualquiera de sus lados en más del 2% de la DFI. En el borde de lado de la pared del tórax el campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen. El campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen por más del 2% de la DFI en los bordes izquierdo y derecho, o por más del 4% de la DFI en el lado interior.

### c) Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen.

Diferencia entre el borde de la paleta de compresión y el borde del receptor de imagen	Equipo	
	Lorad	Senographe
Diferencia como % de la DFI	0.62	0.76
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.44. Resultados de la evaluación de la Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el borde del compresor que limita con el tórax no debe estar dentro del receptor de imagen.

### 3) Fuerza de compresión

Fuerza de compresión	Equipo	
	Lorad	Senographe
Modo motorizado [kg] (±0.5)	12.5	12.8
Modo manual [kg] (±0.5)	36	36.5
<b>Resultado</b>	N	N

Tabla 5.45. Resultados de la prueba de Fuerza de compresión.

*Criterio de aceptación:* La fuerza de compresión aplicada en modo manual debe alcanzar al menos 11.3 kg fuerza. La compresión realizada en modo motorizado debe estar entre 11.3 y 20.4 kg fuerza.

### 4) CAE: Compensación con el espesor

CAE: Compensación con el espesor	Equipo	
	Lorad	Senographe
$\overline{DO}$ (±0.01)	1.25	1.34
Intervalo permisible	0.95-1.55	1.04-1.64
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.46. Resultados de la prueba de CAE: Compensación con el espesor.

*Criterio de aceptación:* El CAE funciona adecuadamente si la densidad óptica al centro de la película se encuentra dentro de  $\pm 0.30$  del promedio, cuando se varían la tensión y el espesor de los acrílicos (2.0 cm, 4.0 cm y 6.0 cm). Los valores de la tensión se varían usando valores clínicos.

### 5) CAE: Repetibilidad

CAE: Reproducibilidad		kV	mAs	Coeficientes de variación	Exposición [mR]	Coeficientes de variación	Resultado
Ánodo/Filtro Mo/Mo							
Equipo	Lorad	28	52	0	0.840	0.001	S
		28	52		0.841		
		28	52		0.840		
		28	52		0.841		
	Senographe	28	73	0	0.831	0.002	S
		28	74		0.830		
		28	73		0.828		
		28	74		0.832		

Tabla 5.47. Resultados de la prueba de CAE: Repetibilidad

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que, el coeficiente de variación de la exposición (mR) y de la carga (mAs) debe ser menor que 0.05.

### Dosis

#### 1) Capa hemirreductora

Capa hemirreductora	Equipo	
Ánodo/Filtro	Lorad	Senographe
Mo/Mo		
kV	28	28
mAs	60	71
CHR [mmAl]	0.35±0.01	0.31±0.01
<b>Resultado</b>	S	S
kV	26	--
mAs	75	--
CHR [mmAl]	0.33±0.01	--
<b>Resultado</b>	S	--

Tabla 5.48. Resultados de la prueba de Capa hemirreductora.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 establece que la CHR mínima para una tensión menor que 30 kV será al menos 0.30 mm Al, el valor de la CHR nunca podrá ser mayor que 0.60 mm Al.

## 2) Exposición de entrada

Exposición de entrada		Equipo	
Ánodo/Filtro Mo/Mo		Lorad	Senographe
Promedio	Exposición [R]	0.84±0.03	0.83±0.03
	Carga [mAs]	47	74
Desviación estándar	Exposición [R]	0.001	0.002
	Carga [mAs]	0	1
Coeficientes de variación	Exposición [R]	0.001	0.002
	Carga [mAs]	0	0.01
<b>Resultado</b>		S	S

Tabla 5.49. Resultados de la prueba de Exposición de entrada.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que el coeficiente de variación para la exposición y la carga no debe ser mayor que 0.05.

## 3) Dosis glandular promedio

Dosis glandular promedio	Equipo	
Ánodo/Filtro Mo/Mo	Lorad	Senographe
kV	28	28
DGP [mGy]	1.41±0.06	1.49±0.06
<b>Resultado</b>	S	S
kV	26	--
DGP [mGy]	1.76±0.07	--
<b>Resultado</b>	S	--

Tabla 5.50. Resultados de la prueba de Dosis glandular promedio.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 y En [ACR 99] se establece que la dosis glandular promedio en un nivel orientativo debe ser menor que 3mGy.

## Imagen

### 1) Calidad de imagen

Calidad de imagen	Equipo	
	Lorad	Senographe
$\overline{DO_c} (\pm 0.01)$	1.67	1.95
$\Delta DO$	0.58	0.56
Fibras	5	5
Microcalcificaciones	3	3
Masas	3	4
Puntuación del maniquí	11	12
Artefactos	Sí hay	Sí hay
<b>Resultado</b>	P	P

Tabla 5.51. Resultados de la prueba de Calidad de imagen.

*Criterio de aceptación:* En [ACR 99] se establece que para una tensión de 28 kV, se debe cumplir que la densidad óptica al centro del maniquí de acreditación del ACR ( $\overline{DO_c}$ ) debe ser mayor que 1.2, la diferencia entre las densidades ópticas ( $\Delta DO$  contraste debido al disco de acrílico de 4 mm) debe ser mayor que 0.4. La puntuación de la imagen del maniquí debe ser mayor que 10, pero se deben de visualizar: número de fibras  $\geq 4$ , número de microcalcificaciones  $\geq 3$ , número de masas  $\geq 3$ ,

### 2) Resolución espacial

Resolución espacial	Equipo	
	Lorad	Senographe
Pares de líneas [pl/mm] paralelas al eje ánodo – cátodo	16	13
<b>Resultado</b>	S	S
Pares de líneas [pl/mm] perpendiculares al eje ánodo – cátodo	13	12
<b>Resultado</b>	S	S

Tabla 5.52. Resultados de la prueba de Resolución espacial.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo a [ACR 99], la resolución espacial mínima con las barras orientadas paralelamente a la dirección del eje ánodo–cátodo debe ser 13 pl/mm, y en la dirección perpendicular al eje ánodo–cátodo debe ser 11 pl/mm.

- **Visita 1**

**1) Temperatura del líquido revelador**

Temperatura del líquido revelador	Procesador 1			Resultado
	Fecha	Temperatura carátula [°C]	Temperatura medida[°C]	
	28/06/11	33.7±0.1	33.5±0.1	S

Tabla 5.53. Resultados de la prueba de Temperatura del líquido revelador.

**2) Sensitometría**

En siguiente tabla, se muestran el valor obtenido de la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio para el procesador perteneciente a UMDAI, obtenidos en la visita 1.

Sensitometría	Procesador 1				Resultado
	Fecha	B+N	Índice de velocidad	Gradiente promedio	
	28/06/11	0.26	1.73	4.11	P

Tabla 5.54. Resultados de la prueba de Sensitometría.

**3) Calidad de imagen**

Calidad de imagen	Equipo	
	Lorad	Senographe
$\overline{DO_c} (\pm 0.01)$	1.86	1.74
$\Delta DO$	0.7	0.65
Fibras	4	4
Microcalcificaciones	3	3
Masas	4	4
Puntuación del maniquí	11	11
Artefactos	Si hay	Si hay
<b>Resultado</b>	P	P

Tabla 5.55. Resultados de la prueba de calidad de imagen.

En el caso de UMDAI, sólo se realizaron la primera etapa y la primera visita.

## Resultados INCan

- **Etapa 1**

En el INCan se evaluaron 3 mastógrafos DR, dos marca Hologic y uno marca Senographe. Las pruebas que se realizaron en los 3 equipos son las siguientes:

- ❖ **Pruebas a los mastógrafos DR**

Los resultados de las pruebas realizadas a los mastógrafos DR se presentan en tres bloques.

- **General**

- Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo
- Evaluación de la colimación
- Fuerza de compresión
- CAE: Compensación con el espesor
- CAE: Repetibilidad

- **Dosis**

- Capa hemirreductora
- Dosis glandular promedio

- **Imagen**

- Rejilla: Artefactos
- Detector: Función de respuesta
- Detector: Homogeneidad
- Calidad de imagen
- Puntuación del maniquí
- Artefactos
- Resolución espacial 45°
- Distorsión geométrica

## General

### 1) Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo

CUERPO DEL MASTOGRAFO	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Estabilidad mecánica de la unidad	S	S	S
Indicador de inclinación	S	S	S
Dispositivos de bloqueo	S	S	S
Campo luminoso	P	P	P
Fluidez del movimiento	S	S	S
Inspección del estado de los compresores	S	S	S
Soporte del detector libre de vibraciones	S	S	S
Deslizamiento suave del detector dentro del soporte	N/A	N/A	N/A
Desactivación de auto descompresión disponible	S	S	S
Descompresión manual disponible	S	S	S
Mampara plomada	S	S	S
<b>PANEL DE MANDOS</b>			
Interruptores e indicadores	S	S	S
Visualización	S	S	S
Tabla de técnicas	N/A	N/A	N/A
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.56. Resultados de la Evaluación mecánica y estado general del mastógrafo.

El estado general del mastógrafo se tiene que encontrar en óptimas condiciones, para que las pacientes no estén expuestas a bordes filosos durante la exposición, y todos los componentes del mastógrafo se deben de encontrar en correcto funcionamiento.

### 2) Evaluación de la colimación

#### a) Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso

Desviación entre el campo de rayos X y el campo luminoso	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Suma como % de la DFI (bordes derecho e izquierdo)	0.68	--	0.38
Suma como % de la DFI (bordes anterior y tórax)	0.08	--	0.45
<b>Resultado</b>	S	--	S

Tabla 5.57. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso.

*Criterio de aceptación:* En el ACR, se establece que la suma de las desviaciones de los bordes derecho-izquierdo no debe ser mayor que el 2% de la distancia foco receptor de imagen (DFI). Así mismo para la suma de las desviaciones de los bordes anterior-tórax.

**b) Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen**

Desviación entre el campo de rayos X y el receptor de imagen	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Suma como % de la DFI borde izquierdo	0.15	--	0.76
Suma como % de la DFI borde derecho	0	--	0.45
Suma como % de la DFI borde anterior	0.15	--	0.45
Suma como % de la DFI bordes tórax	0.15	--	0.15
<b>Resultado</b>	S	--	S

Tabal 5.58. Resultados de la evaluación de la Coincidencia entre el campo de rayos X y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el campo de rayos X no debe exceder al receptor de imagen por cualquiera de sus lados en más del 2% de la DFI. En el borde de lado de la pared del tórax el campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen. El campo de rayos X no se debe encontrar dentro del receptor de imagen por más del 2% de la DFI en los bordes izquierdo y derecho, o por más del 4% de la DFI en el lado interior.

**c) Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen**

Diferencia entre el borde de la paleta de compresión y el borde del receptor de imagen	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Diferencia como % de la DFI	0	--	0.61
<b>Resultado</b>	S	--	S

Tabla 5.59. Resultados de la evaluación de la Alineación de los bordes de la pared del tórax de la paleta de compresión y el receptor de imagen.

*Criterio de aceptación:* De acuerdo con el ACR, el borde del compresor que limita con el tórax no debe estar dentro del receptor de imagen.

### 3) Fuerza de compresión

Fuerza de compresión	Equipo					
	Senographe DS		Hologic 1		Hologic 2	
	Medida	Nominal	Medida	Nominal	Medida	Nominal
Modo motorizado [kg] (±0.5)	19	22	14	16.9	15	16.9
Diferencia	3		2.9		1.9	
Modo manual [kg] (±0.5)	28	29	15	29.3	27	28.7
Diferencia	1		14.3		1.7	
<b>Resultado</b>	P		N		S	

Tabla 5.60. Resultados de la prueba de Fuerza de compresión.

*Criterio de aceptación:* La fuerza de compresión aplicada en modo manual debe alcanzar al menos 11.3 kg fuerza. La compresión realizada en modo motorizado debe estar entre 11.3 y 20.4 kg fuerza. El Protocolo de CC en Mamografía Digital establece que: la fuerza de compresión en modo manual no debe superar los 30.6 kg y la compresión nominal debe coincidir en  $\pm 2$  kg con la compresión medida.

### 4) CAE: Compensación con el espesor

CAE: Compensación con el espesor	Equipo								
	Senographe DS			Hologic 1			Hologic 2		
	RCR	$RCR/RCR_{45}$	Resultado	RCR	$RCR/RCR_{45}$	Resultado	RCR	$RCR/RCR_{45}$	Resultado
20 [mm]	-13.23	1.75	S	-11.36	1.64	S	-5.79	1.71	S
30 [mm]	-10.25	1.35	S	-9.84	1.42	S			
40 [mm]	-8.16	1.08	S	-7.90	1.14	S	-3.87	1.15	S
45 [mm]	-7.57			-6.94			-3.38		
50 [mm]	-7.19	0.95	S	-6.13	0.88	S	-2.94	0.87	S
60 [mm]	-6.38	0.84	S	-5.44	0.78	N			
70 [mm]	-5.60	0.74	N	-4.56	0.66	N	-1.96	0.58	N
<b>Resultado</b>	P			P			P		

Tabla 5.61. Resultados de la prueba de CAE: Compensación con el espesor.

*Criterio de aceptación:* para espesores menores que 45 mm de acrílico el cociente  $RCR/RCR_{45}$ , debe tener un valor mayor que 1.05, para espesores mayores el cociente  $RCR/RCR_{45}$  debe tener un valor mayor que 0.8.

### 5) CAE: Repetibilidad

CAE: Repetibilidad	Equipo								
	Senographe DS			Hologic 1			Hologic 2		
Imagen	VMP	DTP	RSR	VMP	DTP	RSR	VMP	DTP	RSR
1	854	17	51	400	8	50	409	9	45
2	854	17	51	422	9	49	414	9	45
3	853	17	51	422	8	50	407	9	46
4				415	8	50			
5				409	8	50			
$RSR_{max} - RSR_{min} / RSR_{min} [\%]$	0.29			3.08			0.21		
<b>Resultado</b>	S			S			S		

Tabla 5.62. Resultados de la prueba de CAE: Repetibilidad.

*Criterio de aceptación:* la diferencia entre los valores de la RSR para las 5 imágenes debe ser menor que  $\pm 5\%$ , los parámetros de exposición que son seleccionados automáticamente por el equipo deben ser los mismos.

### Dosis

#### 1) Capa hemirreductora

Capa hemirreductora	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Ánodo/Filtro	Mo/Mo	Mo/Mo	Mo/Mo
kV	28	28	28
mAs	63	65	70
CHR [mmAl]	0.37±0.01	0.36±0.01	0.37±0.01
<b>Resultado</b>	S	S	S
Ánodo/Filtro	Rh/Rh	--	--
kV	29	--	--
mAs	90	--	--
CHR [mmAl]	0.45±0.01	--	--
<b>Resultado</b>	S	--	--

Tabla 5.63. Resultados de la prueba de Capa hemirreductora.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 establece que la CHR mínima para una tensión menor que 30 kV será al menos 0.30 mm Al, el valor de la CHR nunca podrá ser mayor que 0.60 mm Al.

## 2) Dosis glandular promedio

Dosis glandular promedio	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Ánodo/Filtro	Mo/Mo	Mo/Mo	Mo/Mo
kV	28	28	28
mAs	63	65	
DGP [mGy]	0.75±0.03	1.48±0.06	0.69±0.03
<b>Resultado</b>	S	S	S
<b>Ánodo/Filtro</b>	Rh/Rh	--	--
kV	29	--	--
mAs	90	--	--
DGP [mGy]	0.96±0.04	--	--
<b>Resultado</b>	S	--	--

Tabla 5.64. Resultados de la prueba de Dosis glandular promedio.

*Criterio de aceptación:* En la NOM-229-SSA1-2002 y En [ACR 99] se establece que la dosis glandular promedio en un nivel orientativo debe ser menor que 3mGy.

## Imagen

### 1) Rejilla: Artefactos

Rejilla: Artefactos	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
	No hay	--	No hay
<b>Resultado</b>	S	--	S

Tabla 5.65. Resultados de la prueba de Rejilla: Artefactos.

*Criterio de aceptación: Las líneas de la rejilla no deben verse en las imágenes.*

### 1) Detector: Función de respuesta

Detector: Función de respuesta	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
<b>m</b>	--	3.288±0.002	4.422±0.003
<b>b</b>	--	106.47±0.88	9.38±1.47
Función de respuesta	--	$VMP = 3.3KAD + 106.5$	$VMP = 4.422KAD - 9.38$
Coefficiente de determinación [ $R^2$ ]	--	1	0.99
<b>Resultado</b>	--	S	S

Tabla 5.66. Resultados de la prueba Detector: Función de respuesta.

*Criterio de aceptación: El coeficiente de determinación de la función de respuesta  $R^2$  tiene que ser mayor que 0.99.*

### 2) Detector: Homogeneidad

Detector: Homogeneidad	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
VMP de la imagen completa	2464.5	411.7	414.1
DTP de la imagen completa	86.2	86.4	35.2
RSR de la imagen completa	2457.3	4.8	408.9
VMP promedio de las ROIs	28.6	396.6	11.8
DTP promedio de las ROIs	16.0	8.4	9.5
RSR promedio de las ROIs	153.6	47.5	43.6
ROIs en los que el VMP difiere en más de ± 15% del VMP de la imagen completa	0	0	0
ROIs cuya RSR difiere en más de ± 20% del promedio	0	0	0
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.67. Resultados de la prueba Detector: Homogeneidad.

*Criterio de aceptación: El Protocolo de CC en Mamografía Digital establece que la desviación máxima del VMP de los ROI's individuales con respecto al VMP de la imagen completa debe ser menor o igual que ±15%.*

### 3) Constancia de la calidad de imagen

Constancia de la calidad de imagen	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Fibras	5	5	5
Microcalcificaciones	3	4	3
Masas	4	4	4
Puntuación del maniquí	12	12	11
Artefactos	No hay	No hay	No hay
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.68. Resultados de la prueba Calidad de imagen.

*Criterio de aceptación: En [ACR 99] se establece que la puntuación de la imagen del maniquí debe ser mayor que 10, pero se deben de visualizar: número de fibras  $\geq 4$ , número de microcalcificaciones  $\geq 3$ , número de masas  $\geq 3$ .*

### 4) Resolución espacial

Resolución espacial	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Pares de líneas	7	11	10
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.69. Resultados de la prueba de Resolución espacial.

*Criterio de aceptación: De acuerdo al Protocolo de CC en Mamografía Digital, la resolución espacial no debe ser menor que la resolución asociada al tamaño de pixel del detector.*

### 5) Distorsión geométrica

Distorsión geométrica	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
	No hay	--	No hay
<b>Resultado</b>	S	--	S

Tabla 5.70. Resultados de la prueba de Distorsión geométrica.

*Criterio de aceptación: En las imágenes obtenidas de la rejilla de contacto para mamografía, no se tiene que observar ninguna distorsión.*

En el caso del INCAN, el análisis de los resultados de la segunda etapa se realizó en las mismas instalaciones de ese Instituto, posteriormente, se intentó recuperar los resultados, no habiéndose

encontrado estos en el PACS, sin embargo en el capítulo VI se muestra en la tabla 6.7 el resumen de los resultados obtenidos.

- **Visita 1**

Las pruebas que se realizan en las visitas a los mastógrafos DR son:

- 1) Constancia de la calidad de imagen
- 2) Puntuación del maniquí
- 3) Homogeneidad

En las siguientes tablas se muestran los valores que se obtuvieron en las pruebas realizadas a cada uno de los mastógrafos DR.

**1) Constancia de la calidad de imagen**

Constancia de la calidad de la imagen	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Fibras	4.5	5	5
Microcalcificaciones	4.5	4	4
Masas	4.5	4	5
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.71. Resultados de la prueba de Constancia de la calidad de imagen.

**2) Puntuación del maniquí**

Puntuación del maniquí	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
	13.5	13	14
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.72. Resultados de la puntuación del maniquí.

**3) Homogeneidad**

Homogeneidad	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.73. Resultados de la prueba de Homogeneidad.

- **Visita 2**

**1) Constancia de la calidad de imagen**

Constancia de la calidad de la imagen	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Fibras	5	5.5	5.5
Microcalcificaciones	4	4	4
Masas	4.5	4.5	4.5
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.74. Resultados de la prueba de Constancia de la calidad de imagen.

**2) Puntuación del maniquí**

Puntuación del maniquí	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
	13.5	14	14
<b>Resultado</b>	S	S	S

Tabla 5.75. Resultados de la Puntuación de maniquí.

**3) Homogeneidad**

Homogeneidad	Equipo		
	Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Resultado	S	S	S

Tabla 5.76. Resultados de la prueba de Homogeneidad.

## Capítulo VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en la evaluación realizada a los mastógrafos administrados por FUCAM, a los mastógrafos pertenecientes a UMDAI y a INCAN, los cuales participan en PAICMA-2011. También se muestran los resultados de las pruebas realizadas a cada uno de los equipos asociados al procesamiento de las imágenes en cada una de estas tres instituciones.

De igual manera se hará una comparación de los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas a los mastógrafos que participaron en PAICMA-2008, 2010 y 2011.

#### Discusión de los resultados PAICMA-2011

##### FUCAM

###### Procesadores de película

El cuarto oscuro en el cual se encuentran los procesadores de película en donde son reveladas las placas obtenidas en las unidades móviles se encuentra en buenas condiciones de limpieza.

Prueba	Etapa 1						Etapa 2				
	Cuarto Oscuro						Cuarto Oscuro				
	25-abr		09-may		23-may		22-nov		23nov		
	P-1	P-2	P-1	P-2	P-1	P-2	P-1	P-2	P-1	P-2	
Temperatura del líquido revelador	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Sensitometría	S	N	P	N	P	P	N	N	N	N	N

Tabla 6.1. Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los procesadores de película, en la Etapa 1 y Etapa 2 FUCAM.

Prueba	Visita 1				Visita 2	
	Cuarto Oscuro				Cuarto Oscuro	
	03-ago	03-ago	05-ago	05-ago	16-nov	16-nov
	P-1	P-2	P-1	P-2	P-1	P-2
Temperatura del líquido revelador	S	S	S	S	S	S
Sensitometría	P	P	P	P	P	P

Tabla 6.2. Resumen de los resultados obtenidos a los procesadores de película, en la visita 1 y visita 2 FUCAM.

De acuerdo a la prueba de la *temperatura del líquido revelador*, el Procesador 1 cumplió en su totalidad con la evaluación. El procesador 2 falló en una de las dieciséis veces que se realizó esta

prueba a lo largo de todo el 2011. En las Tablas 6.1 y 6.2 se muestran los resultados generales de la prueba de la temperatura del líquido revelador.

Con relación a la prueba de *sensitometría* ninguno de los dos procesadores cumplió con los niveles de referencia establecidos por el IFUNAM en abril del 2011. Estos deben ser proporcionados por el fabricante, los resultados generales se encuentran en las Tablas 6.1 y 6.2.

### **Mastógrafos**

En las tablas 6.3 y 6.4, se muestra un resumen general de los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas a los equipos de mamografía administrados por FUCAM.

		Etapa 1								Etapa 2							
		3		4		5		6		3		4		5		6	
Prueba		1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B	1A	2B
General	Evaluación mecánica y estado general	--	P	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
	Evaluación de la colimación	--	N S S	--	S S S	--	N S S	S S S	S S S	N S S	--	S S S	--	S S S	S S S	S S S	N S S
	Fuerza de compresión	--	S	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
	CAE: Capacidad de desempeño	--	S	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
	CAE: Reproducibilidad	--	S	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
	Tasa de kerma en aire	--	S	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al $\pm 3\%$ )	--	0.38	--	0.38	--	0.38	0.38	0.37	0.38	--	0.38	--	0.38	0.38	0.38	0.38
	Exposición de entrada	--	S	--	S	--	S	S	S	S	--	S	--	S	S	S	S
	Dosis glandular promedio (mGy $\pm 3\%$ )	--	1.21	--	1.25	--	1.12	1.09	1.22	1.25	--	1.16	--	1.15	1.19	1.11	1.27
Imagen	Calidad de la imagen	--	P	--	P	--	S	S	S	P	--	N	--	P	P	N	N
	Densidad óptica al centro ( $DO_c \pm 0.01$ )	--	1.72	--	1.93	--	1.66	1.73	1.66	1.61	--	1.49	--	1.51	1.4	1.48	1.69
	Contraste ( $\Delta DO$ )	--	0.54	--	0.59	--	0.25	0.58	0.52	0.51	--	0.47	--	0.49	0.45	0.48	0.53
	Fibras	--	5	--	4	--	4	5	4	4	--	4	--	5	4	5	4
	Microcalcificaciones	--	3	--	3	--	3	3	3	3	--	3	--	3	3	3	2
	Masas	--	3	--	3	--	3	4	3	4	--	4	--	4	4	4	3
	Puntuación del maniquí	--	11	--	10	--	10	12	10	11	--	11	--	12	11	12	9
	Artefactos	--	Si hay	--	Si hay	--	No hay	No hay	Si hay	Si hay	--	Si hay	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay
	Resolución espacial (patrón paralelo)	--	S	--	S	--	S	S	S	N	--	N	--	S	N	N	N
Resolución espacial (patrón perpendicular)	--	N	--	N	--	N	N	N	N	--	N	--	N	N	N	N	

Tabla 6.3. Resumen de los resultados obtenidos en la etapa 1 v etapa 2 de las pruebas realizadas a los mastógrafos FUCAM.

Prueba	Visita 1								Visita 2							
	Unidad 3		Unidad 4		Unidad 5		Unidad 6		Unidad 3		Unidad 4		Unidad 5		Unidad 6	
	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B	1-A	2-B
Calidad de la imagen	--	P	--	P	--	P	P	--	P	--	P	--	--	P	N	N
Densidad óptica al centro (DO <sub>c</sub> ±0.01)	--	1.64	--	1.55	--	1.58	1.63	--	1.66	--	1.51	--	--	1.45	1.53	1.64
Contraste (ΔDO)	--	0.55	--	0.53	--	0.51	0.55	--	0.51	--	0.46	--	--	0.46	0.49	0.54
Fibras	--	4	--	5	--	5	4	--	5	--	4	--	--	5	4	4
Microcalcificaciones	--	3	--	3	--	3	3	--	3	--	3	--	--	3	3	3
Masas	--	4	--	4	--	4	4	--	4	--	4	--	--	4	4	4
Puntuación del maniquí	--	11	--	12	--	12	11	--	12	--	11	--	--	12	11	11
Artefactos	--	Si hay	--	Si hay	--	Si hay	Si hay	--	Si hay	--	Si hay	--	--	Si hay	Si hay	Si hay

Tabla 6.4. Resumen de los resultados obtenidos en las visitas 1 y 2 FUCAM.

Respecto a la prueba de *evaluación mecánica y funcionamiento general del mastógrafo*, en la Etapa 1 el mastógrafo 3-2B cumplió parcialmente con la evaluación, ya que se detectó que uno de los botones que encienden el campo luminoso, no funcionaba, mientras que los otros 4 mastógrafos cumplieron satisfactoriamente. En el caso de la Etapa 2 los 6 mastógrafos que fueron evaluados cumplieron satisfactoriamente con la prueba, Tabla 6.3.

En las pruebas de *colimación*, en la Etapa 1 se encontró que en los mastógrafos 3-2B y 5-2B hay una desviación entre el campo luminoso y el campo de rayos X, no cumpliendo con los criterios de aceptación establecidos tanto en la NOM229-SSA1-2002 como en el protocolo del ACR, los cuales establecen que la suma de desviaciones del lado izquierdo más derecho, y posterior más anterior, no deben sobrepasar el 2% de la distancia fuente-receptor de imagen. Los equipos restantes obtuvieron calificaciones satisfactorias en las 3 pruebas concernientes a la colimación. En el caso de la Etapa 2, en los mastógrafos 3-1A y en el 6-1A, también se observó una desviación entre el campo luminoso y el campo de rayos X, este problema se tiene que resolver en el momento que sea detectado, ya que debido a esta desviación se puede perder información valiosa de los tejidos que se encuentran más próximos al tórax. Los 4 equipos restantes obtuvieron calificaciones satisfactorias, Tabla 6.3.

La prueba de fuerza de *compresión* requiere que la fuerza medida se encuentre dentro del rango de 11.3 y 20.4 kg fuerza. En la Etapa 1 los 5 equipos que fueron evaluados cumplieron satisfactoriamente con la prueba. En lo referente a la evaluación en la Etapa 2 los 6 equipos, cumplieron satisfactoriamente, Tabla 6.3.

Respecto a las pruebas realizadas al *Control Automático de Exposición (CAE)*, se realizan 2 pruebas, la primera es *CAE: Compensación con el espesor*, en la cual se verifica que el equipo analógico mantenga una densidad óptica cercana a la densidad óptica promedio, al variar el espesor del maniquí de acrílico de prueba. En la Etapa 1 los 5 equipos obtuvieron calificaciones satisfactorias. En la Etapa 2 de evaluación los 6 mastógrafos cumplieron satisfactoriamente, Tabla 6.3.

La segunda prueba es *CAE: reproducibilidad*, la cual consiste en verificar que bajo las mismas condiciones de espesor de la mama y tensión en el tubo, se generen exposiciones y valores en la carga semejantes. Los 5 equipos que fueron evaluados en la Etapa 1 obtuvieron calificaciones satisfactorias ya que cumplen correctamente con los criterios de aceptación establecidos para esta prueba. En el caso de los 6 equipos que fueron evaluados en la Etapa 2, todos ellos cumplieron satisfactoriamente con los criterios de aceptación, Tabla 6.3.

Respecto a la prueba de *tasa de kerma en aire*, la cual establece que la tasa de exposición para una combinación de ánodo y filtro de molibdeno (Mo/Mo) debe ser mayor que 4.5 mGy/s (513 mR/s), tanto los 5 equipos evaluados en la Etapa 1 como los 6 que se evaluaron en la Etapa 2 cumplen con los criterios de aceptación que establece en [NOM 229] y en [ACR 99], Tabla 6.3.

Las *capas hemirreductoras* fueron medidas con una cámara de ionización calibrada, para una combinación de Mo/Mo a una tensión nominal de 28 kV. Los equipos evaluados en la primera y en la segunda etapa cumplen con el criterio de aceptación del ACR de ser mayores que o iguales a 0.31 mm Al y menores que 0.40 mm, Tabla 6.3.

La *exposición de entrada* y la *dosis glandular promedio* en la Etapa 1 fueron medidas en 5 mastógrafos y en la Etapa 2 en 6. En las dos etapas se cumplió con lo establecido tanto en el manual del ACR como en [NOM 229], los cuales establecen que la dosis glandular promedio no debe exceder de 3 mGy por proyección cráneo-caudal, Tabla 6.3.

La *calidad de las imágenes mamográficas* obtenidas a partir del maniquí acreditado por el ACR deben cumplir:

1. La densidad óptica al centro del maniquí debe encontrarse dentro del intervalo de 1.20 a 2.00.
2. El contraste debe cumplir con un valor de al menos 0.40.
3. La imagen del maniquí de acreditación del ACR debe mostrar al menos 4 fibras, 3 grupos de microcalcificaciones y 3 masas, es decir debe obtener una puntuación de al menos 10.
4. De acuerdo a [ACR 99] y a [NOM 229] no deben existir artefactos en las imágenes.

En la Etapa 1 se evaluó la calidad de la imagen en los mastógrafos 3-2B, 4-2B, 5-2B, 6-1A y 6-2B, verificándose que cumplen con los tres primeros criterios de aceptación antes mencionados, sin embargo los equipos 3-2B y 4-2B obtuvieron calificaciones preventivas ya que en las imágenes se observaban artefactos. En el caso de la Etapa 2 los mastógrafos 3-1A, 4-1A, 5-1A, 5-2B, 6-1A y 6-2B cumplieron satisfactoriamente con los 3 primeros criterios pero al igual que en la Etapa 1, los equipos 3-1A, 5-1A y 5-2B obtuvieron calificaciones preventivas debidas a la misma situación, la presencia de artefactos. Los equipos 4-1A, 6-1A y 6-2B obtuvieron calificaciones no satisfactorias debidas a la alta presencia de artefactos, Tabla 6.3.

Esta prueba también es realizada en las visitas 1 y 2, Tabla 6.4. En la Visita 1 fueron evaluados 4 mastógrafos, el 3-2B, 4-2B, 5-2B y 6-1A, todos ellos cumplieron satisfactoriamente con los 3 primeros criterios de aceptación, en el caso de la Visita 2 los mastógrafos evaluados fueron: 3-1A,

4-1A, 5-2B, 6-1A y 6-2B. Los mastógrafos 3-1A, 4-1A y 5-2B, cumplieron con los 3 criterios arriba mencionados; sin embargo las imágenes producidas presentan artefactos, es por esto que obtuvieron una calificación preventiva. Los mastógrafos 6-1A y 6-2B, obtuvieron una calificación no satisfactoria, debido a la alta presencia de artefactos. Estos dos mastógrafos cumplieron con los criterios 1, 2 y 3 arriba mencionados.

En la evaluación realizada en el 2011, sólo los mastógrafos 5-2B, 6-1A y 6-2B, en la Etapa 1 cumplieron totalmente con todos los requisitos establecidos por el ACR para calidad de imagen.

Respecto a la prueba de *resolución espacial* se tiene que los 5 equipos evaluados en la Etapa 1 presentan problemas cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo ya que obtienen una calificación de 9 pl/mm, cuando debiera obtenerse un resultado de 11 pl/mm o más.

En el caso de la Etapa 2 los 6 equipos presentaron el mismo problema que en la Etapa 1, al evaluar las imágenes producidas al colocar el patrón con las barras paralelas al eje ánodo-cátodo, sólo el mastógrafo 5-1A cumple al poderse visualizar 13 pl/mm. El problema con la resolución espacial había sido detectado desde la Etapa 1 de evaluación siendo más evidente en la Etapa 2, ya que, no sólo no cumple en la dirección perpendicular al eje ánodo-cátodo, sino que tampoco en la dirección paralela.

Cabe mencionar que esta prueba se establece en el manual del ACR, no siendo así En [NOM 229]. En este caso, la legislación de Estados Unidos establece que la fuente del problema debe identificarse y corregirse antes de que transcurran 30 días contados a partir de la fecha en que se realizó la prueba.

De las 20 evaluaciones de la calidad de imagen realizadas a lo largo del 2011 a los mastógrafos administrados por FUCAM, se pudo observar que sólo en tres evaluaciones se obtuvieron calificaciones satisfactorias, cumpliendo con los 4 parámetros que se evalúan en esta prueba, 12 fueron calificaciones preventivas y las restantes fueron no satisfactorias. Cabe hacer notar que 19 de las 20 revisiones cumplieron con: la densidad óptica al centro de la imagen, el contraste y la puntuación del maniquí, no siendo así al evaluar la presencia de artefactos en la imagen mamográfica, ya que en 17 de las imágenes se visualizaron artefactos, no cumpliéndose con los criterios establecidos En [ACR 99] y en la normativa mexicana. La presencia de los artefactos debido principalmente al polvo, que se observan como puntos en las imágenes, al desgaste de las pantallas intensificadoras y al proceso de revelado. Debido a la necesidad de detectar estructuras pequeñas en la mama femenina, como son las microcalcificaciones o a que los artefactos pueden simular elementos de interés diagnóstico, es necesario que en las imágenes mamográfica **no** se visualicen artefactos.

Al evaluar a los 2 procesadores de película, que se encuentran instalados en la clínica de FUCAM, se observó que la prueba de temperatura del líquido revelador se cumple casi en su totalidad, excepción hecha del procesador 2 durante la etapa 1. Al evaluar los parámetros que componen la prueba de sensitometría se observó que sólo en 2 de 8 de las pruebas realizadas a los dos

procesadores se cumplió con los niveles de operación. El proceso de revelado de las imágenes mamográficas se encuentra sumamente relacionado con la calidad de la imagen, es por esto que es de suma importancia que se cuente con una comunicación constante con el fabricante y/o el proveedor y que se realicen pruebas de CC con mayor frecuencia con el fin de tener un mejor monitoreo del funcionamiento de los equipos.

Al evaluar la dosis glandular promedio de cada uno de los 8 equipos a lo largo del 2011, se encontró que en su totalidad los equipos cumplieron con los criterios establecidos En [ACR 99] y En [NOM 229]. Las otras dos pruebas radiológicas que fueron realizadas a los mastógrafos, y que son muy importantes al evaluar el funcionamiento de los equipos, la capa hemirreductora y la exposición de entrada, se cumplieron satisfactoriamente en todas las revisiones realizadas a los mastógrafos.

En relación con las pruebas realizadas para evaluar al estado general del mastógrafo, se observó que los equipos se encuentran en su mayoría funcionando adecuadamente, sin embargo en la prueba de colimación se observó en 4 de 8 ocasiones en que se realizó la prueba, que hay una desviación entre el campo luminoso y el campo de rayos X. Éste problema está asociado al constante movimiento de los mastógrafos y es muy importante que los sistemas de colimación de los equipos de mamografía sean sometidos a mantenimiento correctivo con mayor frecuencia

## UMDAI

En UMDAI la evaluación realizada en el 2011 sólo consistió en la Etapa 1 y la Visita 1.

### Procesadores de película

Prueba	Etapa 1
	Cuarto Oscuro
	01-abr
Temperatura del líquido revelador	S
Sensitometría	N

Tabla 6.5. Resumen de los resultados obtenidos al realizar las pruebas al procesador de película en la Etapa 1 UMDAI.

Prueba	Visita 1
	Cuarto Oscuro
	28-jul
Temperatura del líquido revelador	S
Sensitometría	P

Tabla 6.6. Resumen de los resultados obtenidos al realizar las pruebas al procesador de película en la visita 1 UMDAI.

El procesador de película propiedad de UMDAI cumplió con la prueba de la *temperatura* del líquido revelador tanto en la Etapa 1 de evaluación como en la Visita 1, tablas 6.5 y 6.6.

En cuanto a las sensitometrías, a partir de los valores obtenidos para la base+niebla, el índice de velocidad y el gradiente promedio se establecieron, por parte del IFUNAM, los niveles de operación con los que se trabajaron durante todo este año, en esta instalación. Es de suma importancia que estos valores se verifiquen por parte del proveedor, y en su caso, se hagan los ajustes pertinentes. En la Etapa 1 de evaluación la calificación fue no satisfactoria y en la Visita 1 la calificación que se obtuvo fue preventiva ya que el valor del gradiente promedio, que fue de 4.11, está por debajo del valor mínimo requerido, tablas 6.5 y 6.6.

## Mastógrafos

Prueba		Etapa 1					
		Mastógrafo					
		LORAD M-IV			SENOGRAPHE 800T		
General	Evaluación mecánica y estado general	S			S		
	Evaluación de la colimación	S	S	S	S	S	S
	Fuerza de compresión	N			N		
	CAE: Compensación con el espesor	S			S		
	CAE: Reproducibilidad	S			S		
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al $\pm 3\%$ )	0.35			0.38		
	Exposición de entrada	S			S		
	Dosis glandular promedio (mGy $\pm 3\%$ )	1.4			1.69		
Imagen	Calidad de la imagen	P			P		
	Densidad óptica al centro ( $DO_c \pm 0.01$ )	1.67			1.95		
	Contraste ( $\Delta DO$ )	0.58			0.56		
	Fibras	5			5		
	Microcalcificaciones	3			3		
	Masas	3			4		
	Puntuación del maniquí	11			12		
	Artefactos	Sí hay			Sí hay		
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S			S		
Resolución espacial (patrón perpendicular)	S			S			

Tabla 6.7. Resumen de los resultados obtenidos al realizar las pruebas a los mastógrafos en la Etapa 1 realizada a los equipos pertenecientes a UMDAI.

Prueba	Visita 1	
	LORAD M-IV	SENOGRAPHE 800T
Calidad de la imagen	P	P
Densidad óptica al centro ( $DO_c \pm 0.01$ )	1.86	1.74
Contraste ( $\Delta DO$ )	0.7	0.65
Fibras	4	4
Microcalcificaciones	3	3
Masas	4	4
Puntuación del maniquí	11	11
Artefactos	Si hay	Si hay

Tabla 6.8. Resumen de los resultados obtenidos al realizar las pruebas a los mastógrafos en la Visita 1 a UMDAI.

Con relación a la prueba de la *evaluación mecánica*, los dos mastógrafos obtuvieron calificaciones satisfactorias, tabla 6.7.

La prueba de *colimación* incluye 3 evaluaciones: coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, alineación del campo de radiación y el detector de imagen y alineación de los bordes que limitan con el tórax, de la placa de compresión y del receptor de imagen. Ambos mastógrafos cumplieron con las 3 pruebas, tabla 6.7.

La prueba de fuerza de *compresión* se realizó en ambos equipos, y ninguno de los dos cumplió con los criterios de aceptación, obteniendo calificaciones no satisfactorias, tabla 6.7.

La prueba de *Control Automático de Exposición* (CAE) consta de dos evaluaciones: verificar que el mastógrafo mantenga una densidad óptica cercana a la densidad óptica promedio al variar el

espesor del maniquí de acrílico de prueba, y verificar que, bajo las mismas condiciones de espesor de la mama y tensión en el tubo, se generen exposiciones similares. Estas pruebas se aplicaron a los 2 mastógrafos, ambos cumplieron satisfactoriamente tabla 6.7.

La *capa hemirreductora (CHR)* fue medida en los 2 equipos, con una cámara de ionización calibrada, para una combinación de Mo/Mo. La CHR en los dos equipos se midió a una tensión nominal de 28 kV. El mastógrafo Senographe 800T produjo una CHR de 0.38 mm Al, mientras que en el mastógrafo Lorad se produjo un valor de 0.35 mm Al. Ambos mastógrafos cumplieron con el criterio de aceptación del ACR de ser mayores que o iguales a 0.31 mm Al y menores que 0.40 mm Al tabla 6.7.

La *exposición de entrada* y la *dosis glandular promedio* fueron medidas en los 2 mastógrafos cumpliendo satisfactoriamente con lo determinado tanto en el manual del ACR como En [NOM 229], los cuales establecen que la dosis glandular promedio por proyección no debe exceder de 3 mGy tabla 6.7.

La *tasa de kerma* en aire medida en ambos mastógrafos cumple con el criterio de aceptación de la NOM-229-SSA1-2002, el cual establece que para ánodo y filtro de molibdeno, la tasa de kerma en aire medida a 4.5 cm por encima de la superficie del portachasis, con el compresor presente, no debe ser menor que 4.50 mGy/s tabla 6.7.

La *calidad de las imágenes mamográficas* obtenidas a partir del maniquí acreditado por el ACR debe cumplir:

1. La densidad óptica al centro del maniquí debe encontrarse dentro del intervalo de 1.20 a 2.00.
2. El contraste debe cumplir con un valor de al menos 0.40.
3. La imagen del maniquí de acreditación del ACR debe mostrar al menos 4 fibras, 3 grupos de microcalcificaciones y 3 masas, es decir debe obtener una puntuación de al menos 10.
4. De acuerdo a [ACR 99] y a [NOM 229] no deben existir artefactos en las imágenes.

En la Etapa 1 de evaluación, ambos mastógrafos cumplieron con el primer criterio de tener una densidad óptica, al centro de la imagen del maniquí, entre 1.20 y 2.00. En relación al contraste los 2 equipos cumplieron con este parámetro. La puntuación de las imágenes analizadas, producidas con ambos equipos, cumplen con los requisitos establecidos en el ACR. En las dos imágenes se visualizaron artefactos no cumpliendo con este criterio, por esta razón las calificaciones obtenidas por los dos equipos fueron preventivas tabla 6.7.

En la Visita 1 realizada a UMDAI, los dos equipos cumplieron con los criterios 1, 2 y 3, no siendo así para el criterio 4, ya que en las imágenes de ambos mastógrafos se observó la presencia de pequeños artefactos, a causa de polvo en la pantalla del chasis, obteniendo una calificación preventiva tabla 6.8.

En relación a la *resolución espacial* entregada por los 2 equipos, a través de la prueba realizada con un patrón de barras, se tiene que ambos cumplen con el criterio de aceptación del ACR, que consiste en visualizar 11 pl/mm o más, cuando las líneas se orientan perpendicularmente al eje ánodo-cátodo, y al menos 13 pl/mm cuando las líneas se presentan paralelas al eje ánodo-cátodo tabla 6.7.

En el caso de UMDAI se evaluó la calidad de la imagen mamográfica en dos ocasiones, a cada uno de los mastógrafos, teniendo como resultado calificaciones preventivas. Al evaluar la densidad óptica al centro de la imagen, el contraste y la puntuación del maniquí se observó que los dos equipos cumplieron con los criterios de aceptación establecidos para estos parámetros, sin embargo, en las cuatro imágenes examinadas se observaron artefactos. Como ya se ha mencionado anteriormente, las imágenes mamográficas no deben tener defecto alguno, ya que se busca identificar anomalías muy pequeñas en la mama femenina o en muchos casos los artefactos pueden simular objetos de interés diagnóstico.

Al evaluar el funcionamiento del procesador de película se pudo observar lo siguiente: se cumple con el criterio de aceptación establecido para la prueba de temperatura del líquido revelador, y al evaluar la sensitometría, en una ocasión (50%), no se cumplió con los niveles de operación establecidos por el IFUNAM. La relación entre el proceso de revelado y la calidad de imagen es muy estrecha y es necesario que se vigile el funcionamiento del proceso de revelado, con el fin de obtener imágenes mamográficas de alta calidad.

Las 3 pruebas radiológicas, dosis glandular promedio, capa hemirreductora y exposición de entrada, hechas en la etapa 1 de evaluación a los equipos de mamografía cumplieron con los criterios de aceptación establecidos para cada una de ellas.

Con relación al estado general de los mastógrafos, en la etapa 1, se observó que los dos equipos funcionaban correctamente. Es de suma importancia que todos los componentes de los equipos se encuentren funcionando correctamente.

## INCan

### Mastógrafos digitales tipo DR

	Prueba	Etapa 1						Etapa 2								
		Mastógrafo						Mastógrafo								
		Senographe		Hologic 1		Hologic 2		Senographe		Hologic 1		Hologic 2				
<b>General</b>	Evaluación mecánica	S		S		S		S		S		S				
	Evaluación de la colimación	S	S	S	N/	N/	N/	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	Fuerza de compresión	P		N		S		S		S		S				
	CAE: Compensación por espesor	P		P		P		P		P		P				
	CAE: Repetibilidad	S		S		S		S		S		S				
<b>Dosis</b>	Capa hemirreductora (mm Al)	0.37		0.36		0.37		0.37		0.36		0.37				
	Dosis glandular promedio (mGy)	0.75		1.48		0.69		0.94		1.61		1.39				
	Rejilla: Artefactos	S		N/D		S		S		S		S				
	Detector: Función de respuesta	N/D		S		S		S		S		S				
<b>Imagen</b>	Detector: Homogeneidad	S		S		S		S		S		S				
	Constancia de la calidad de la imagen	S		S		S		S		S		S				
	Fibras	5		5		5		5		5		5				
	Microcalcificaciones	3		4		3		3		4		3				
	Masas	4		4		4		4		4		4				
	Puntuación del maniquí	12		12		11		12		12		11				
	Artefactos	No hay		No hay		No hay		No hay		No hay		No hay				
	Resolución espacial 45°	S		S		S		S		S		S				
	Distorsión geométrica	S		N/D		S		N/D		N/D		N/D				

Tabla 6.9. Resumen de los resultados obtenidos en la Etapa 1 y Etapa 2 de las pruebas realizadas a los mastógrafos INCAN.

Prueba	Visita 1						Visita 2		
	Mastógrafo						Mastógrafo		
	Senographe DS		Hologic 1		Hologic 2		Senographe DS	Hologic 1	Hologic 2
Constancia de la calidad de la imagen	S		S		S		S	S	S
Fibras	4.5		5		5		5	5.5	5.5
Microcalcificaciones	4.5		4		4		4	4	4
Masas	4.5		4		5		4.5	4.5	4.5
Puntuación del maniquí	13.5		13		14		13.5	14	14
Homogeneidad	S		S		S		S	S	S

Tabla 6.10. Resumen de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los mastógrafos en la visita 1 y visita 2 INCAN.

Con base en los resultados de la *evaluación mecánica*, los 3 mastógrafos cumplieron con las condiciones apropiadas de funcionamiento, sin embargo los espejos de los equipos Senographe DS y Hologic 1 se encontraron empolvados durante la revisión. Se recomienda mantener las condiciones de limpieza adecuadas para evitar que el polvo afecte las imágenes obtenidas.

La prueba de *colimación* en los mastógrafos digitales evalúa los mismos tres aspectos que se valoran en los mastógrafos analógicos, las pruebas son las siguientes: evaluación de la coincidencia

del campo luminoso con el campo de radiación, alineación del campo de radiación y el detector de imagen, y alineación de los bordes que limitan con el tórax, de la placa de compresión con el receptor de imagen. Los mastógrafos Senographe DS y Hologic 2 cumplieron satisfactoriamente todas las pruebas de colimación. Con relación al Hologic 1 no se dispuso de información (no hubo imagen) para poder hacer el análisis de la prueba, tabla 6.9.

La prueba de fuerza de *compresión* incluye la evaluación de los modos motorizado y manual. En ambos casos la compresión debe encontrarse en el intervalo de 13 a 20 kg, además de que las compresiones nominal y medida, deben coincidir en  $\pm 2$  kg. Los tres mastógrafos cumplieron con el criterio de que la compresión se encuentre dentro del intervalo de 13 a 20 kg. Sin embargo, el mastógrafo Senographe DS cumplió parcialmente con la prueba, ya que en el modo motorizado se encontró que la diferencia entre el valor medido y el nominal fue mayor que 2kg, mientras que en el modo manual cumplió satisfactoriamente con los criterios de aceptación. El mastógrafo Hologic 1 no cumplió con la prueba, ya que en ambos modos de operación el valor medido y el valor nominal difirieron en más de 2kg. El mastógrafo Hologic 2 cumplió satisfactoriamente con los criterios de aceptación de la prueba, tabla 6.9.

Para el *Control Automático de Exposición* (CAE), se realizaron dos pruebas. La primera consistió en evaluar la compensación que produce el CAE al variar el espesor de un maniquí de acrílico. El objetivo es verificar que la relación contraste–ruido (RCR) en imágenes de una placa de aluminio de 0.2mm de espesor, es estable y se mantiene en un intervalo determinado, con respecto al valor de la RCR de un maniquí de acrílico de 4.5 cm de espesor, independientemente del espesor de la mama. La segunda prueba fue la de repetibilidad, consistente en verificar que, bajo las mismas condiciones de espesor de la mama, el equipo produzca la imagen con los mismos parámetros de exposición y que la RSR no varíe más del 5% entre una imagen y otra, tabla 6.9.

Los 3 mastógrafos cumplieron parcialmente en la prueba de compensación por espesor, tabla 6.9. En el mastógrafo Senographe DS no se cumplió con el criterio de que la RCR (7.0 cm)/RCR (4.5 cm) fuese mayor que 0.8. En el mastógrafo Hologic 1 no se cumplió que la RCR (6.0 cm)/RCR (4.5 cm) y la RCR (7.0 cm)/RCR (4.5 cm) fuesen mayores que 0.8. Y finalmente, para el mastógrafo Hologic 2 no se cumplió que la RCR (7.0 cm)/RCR (4.5 cm) fuese mayor que 0.8, figura 6.1.

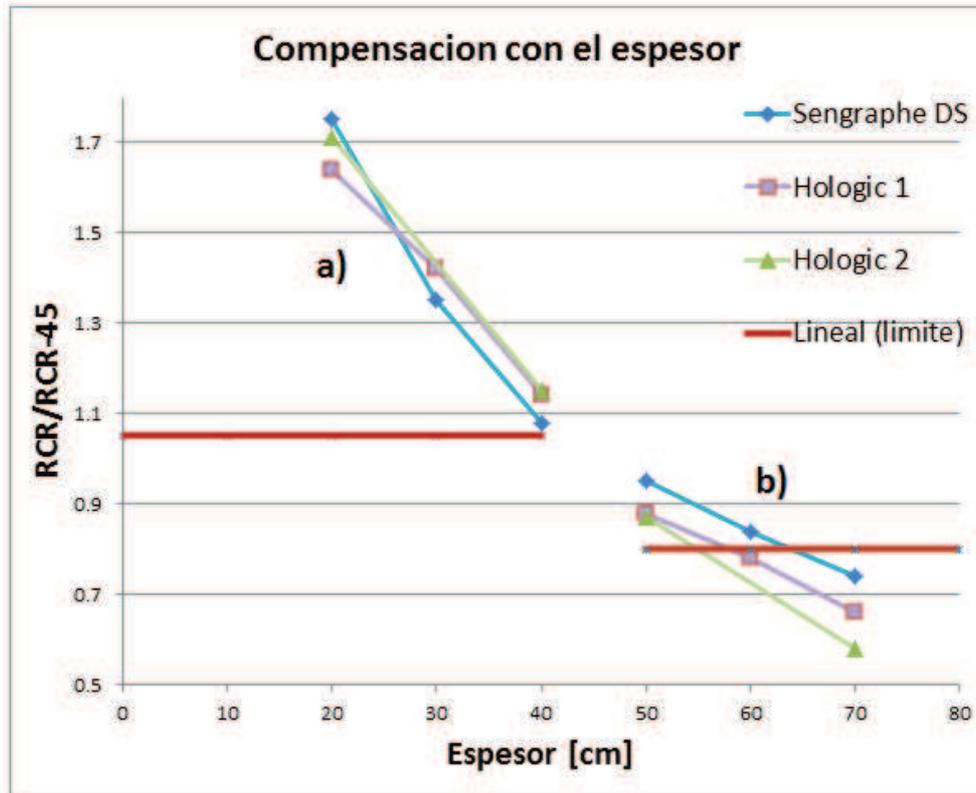


Figura 6.1. Resultados obtenidos en la prueba de compensación con el espesor realizada en la Etapa 1 a los tres mastógrafos pertenecientes a al INCAn. En esta graficase puede observar. a) comportamiento de la  $RCR/RCR_{45}$  para espesores de acrílico menores que 4.5 cm, b) comportamiento  $RCR/RCR_{45}$  para espesores mayores que 4.5 cm.

Las *capas hemirreductoras (CHR)* fueron medidas en los 3 equipos, con una cámara de ionización calibrada, para una combinación de Mo/Mo a una tensión nominal de 28 kV. Todas cumplen con los criterios de aceptación del ACR: para el Senographe DS, el valor de la CHR fue de 0.37mm de Al; para el Hologic 1 fue de 0.36 mm de Al y para el Hologic 2 fue de 0.37 mm de Al. Cabe mencionar que las CHR fueron determinadas con el compresor puesto, tabla 6.9.

Se determinó la *dosis glandular promedio* para los 3 mastógrafos. Los 3 equipos cumplen con lo establecido tanto en el manual del ACR como En [NOM 229], que a la letra dice que la dosis glandular promedio no debe exceder de 3 mGy por proyección, tabla 6.9.

En la prueba *Rejilla: Artefactos*, se evaluaron la posible presencia de artefactos, en las imágenes de una malla, producidas por cada uno de los mastógrafos. En el Senographe DS y el Hologic 2, se observó que ninguna de las imágenes mostró artefactos, por lo que cumplieron con el criterio de aceptación del Protocolo de CC en Mamografía Digital. Para el caso del Hologic 1 no hubo imagen disponible con la cual se pudiera evaluar la prueba, tabla 6.9.

Se determinó la *función de respuesta del detector* para los 2 mastógrafos. Los equipos evaluados, Hologic 1 y Hologic 2, cumplieron satisfactoriamente con el criterio de aceptación establecido en el Protocolo de CC en Mamografía Digital para esta prueba, que relaciona el valor medio de pixel medido en la imagen con el kerma en aire a la entrada del detector, cuya dependencia debe ser lineal y tener un coeficiente de determinación superior a 0.99, tabla 6.9.

Se evaluó la *homogeneidad del detector* de los 3 equipos. Esto se realizó mediante el análisis de imágenes de un maniquí de acrílico de 4.5 cm de espesor. El criterio de aceptación de esta prueba, establecido por el Protocolo de CC en Mamografía Digital, indica que: la discrepancia entre el valor de la relación señal-ruido (RSR) de regiones de 1cm<sup>2</sup> que barren toda la imagen y el valor promedio de la RSR de dichas regiones debe ser menor que o igual a  $\pm 20\%$  y, la discrepancia entre el valor medio de pixel de regiones de 1cm<sup>2</sup> que barren toda la imagen y el valor medio de pixel de la imagen global debe ser menor que o igual a  $\pm 15\%$ . Los 3 mastógrafos cumplieron satisfactoriamente con esta prueba.

La *constancia en la calidad de las imágenes mamográficas* obtenidas a partir del maniquí acreditado por el ACR, se evaluó en los 3 mastógrafos, verificándose la puntuación del maniquí. Se deben observar en las imágenes al menos 4 fibras, 3 grupos de microcalcificaciones y 3 masas. Las imágenes obtenidas en la Etapa 1 cumplieron con los requisitos de puntuación, tabla 6.9.

De acuerdo a [ACR 99] y la [NOM 229] no deben existir artefactos en las imágenes. Las imágenes producidas en los 3 mastógrafos cumplen satisfactoriamente con esta condición, con lo que para esta prueba los tres mastógrafos obtuvieron calificaciones satisfactorias.

En las Visitas 1 y 2 se evaluó la *constancia de la calidad de la imagen* de los mastógrafos Senographe DS, Hologic 1 y Hologic 2 con base en lo establecido en el Protocolo de CC en Mamografía Digital. Los 3 sistemas de mamografía digital cumplieron con el criterio de aceptación arriba mencionado, tabla 6.10.

Se determinó la *resolución espacial* entregada por los 3 equipos, a través de la prueba realizada con un patrón de barras colocado a 45° con respecto al eje ánodo-cátodo. Los 3 equipos cumplieron satisfactoriamente con el criterio de aceptación establecido por el Protocolo de CC en Mamografía Digital, que consiste en que la resolución espacial determinada no debe ser inferior a la resolución espacial asociada con el tamaño de píxel del detector, la cual, en el caso del mastógrafo Senographe DS es de 5 pl/mm, mientras que para los Hologic 1 y 2 es de 7 pl/mm.

La resolución espacial para el Senographe DS fue de 6 pl/mm, para el Hologic 1 fue de 8 pl/mm y para el Hologic 2 fue de 9 pl/mm.

Se evaluó la *distorsión geométrica* mediante imágenes de una malla de contacto para mamografía. Esta prueba requiere que las imágenes de un objeto cuadrulado no muestren distorsiones. Las imágenes obtenidas en los mastógrafos Senographe DS y Hologic 2, fueron evaluadas en monitores de alta resolución del área de interpretación del INCAN, ninguna de las imágenes

obtenidas presentaron distorsiones, por lo tanto, se considera que cumplen con el criterio de aceptación. Para el caso del Hologic 1 no hubo imagen disponible, tabla 6.9.

Adicionalmente, en las Visitas 1 y 2 se realizó la prueba de *Homogeneidad*, en la cual los equipos obtuvieron calificaciones satisfactorias, tabla 6.10.

Para esta prueba los 3 equipos obtuvieron una calificación satisfactoria, cumpliendo con criterios establecidos por el fabricante.

En el INCan se evaluaron la constancia de la calidad de la imagen, en dos ocasiones, en cada uno de los equipos. Los 3 equipos evaluados cumplieron con la homogeneidad del detector de imagen, la puntuación del maniquí, la resolución espacial, la distorsión geométrica y al evaluar las imágenes no se visualizaron artefactos, cumpliéndose con los criterios establecidos en el Protocolo de CC en Mamografía Digital.

En las pruebas de dosis glandular promedio y de capa hemirreductora realizadas a cada uno de los equipos se observó que se cumplió con lo establecido para cada una de las pruebas. Cumpliéndose con los dos principales objetivos de la realización de las pruebas de CC, que son: imágenes mamográficas de buena calidad y optimización de la dosis glandular depositada en la mama femenina por exposición.

Al evaluar el estado general de los mastógrafos pertenecientes al INCan, se observa que al revisar el CAE en la prueba de compensación con el espesor, los 3 equipos, en espesores de 60 cm y 70 cm no cumplen con lo establecido en el Protocolo de CC en Mamografía Digital. El CAE es el encargado de controlar los parámetros de exposición (kV, mAs, blanco/filtro), por esta razón es muy importante que funcione adecuadamente para cualquier espesor de la mama.

### **Discusión global resultados PAICMA-2011**

Para poder visualizar el comportamiento de todos los mastógrafos en las pruebas de calidad de imagen, dosis y capa hemirreductora, en las figuras 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5 se muestran gráficas de control de los resultados.

En la figura 6.2 se puede observar que al evaluar la puntuación del maniquí en las imágenes obtenidas por cada uno mastógrafos que participaron en el ejercicio de PAICMA-2011, sólo en una ocasión un equipo no cumplió con los límites establecidos para esta prueba.

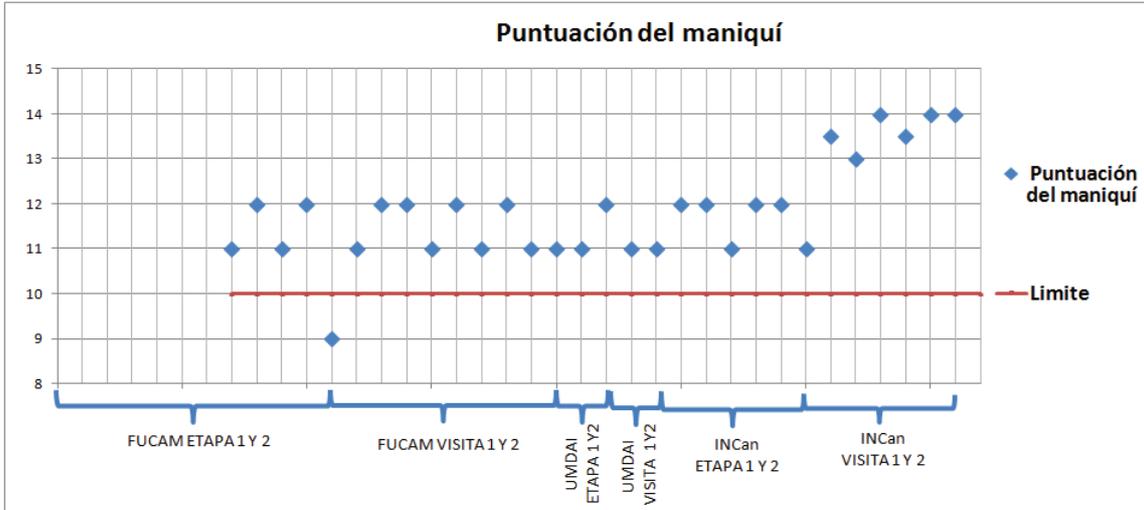


Figura 6.2. Resultados obtenidos en la valoración de la puntuación del maniquí realizada a cada uno de los mastógrafos de FUCAM, UMDAI e INCAN que participaron en PAICMA-2011.

En la figura 6.3 se observa una gráfica de control de los resultados obtenidos en la realización de la prueba de calidad de imagen, como se puede observar en el caso de los mastógrafos analógicos (FUCAM y UMDAI) los resultados no son los óptimos, ya que en las imágenes obtenidas por estos equipos se visualizaron artefactos, no cumpliendo con lo establecido En [ACR 99] y la [NOM 229]. En el caso de los mastógrafos pertenecientes al INCAN, los equipos cumplieron con los parámetros evaluados en la calidad de la imagen en todas las realizaciones de las pruebas.

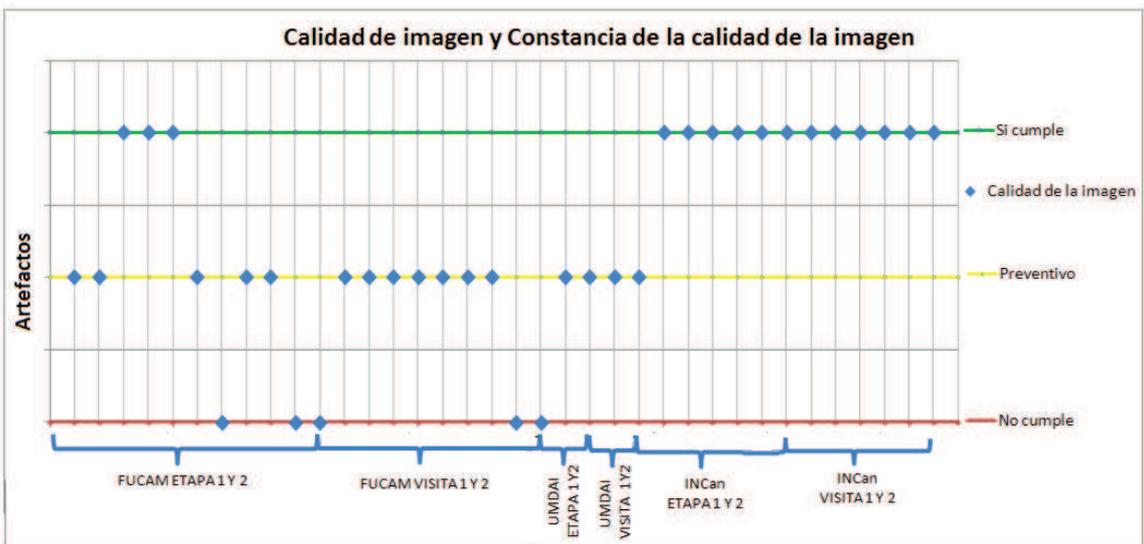


Figura 6.3. Resultados obtenidos en la valoración de la calidad de imagen (incluye puntuación del maniquí y artefactos) realizada a los mastógrafos de FUCAM, UMDAI y los resultados obtenidos al evaluar la constancia de la calidad de imagen (incluye puntuación del maniquí y artefactos) en el INCAN que participaron en PAICMA-2011.

En la figura 6.4, se muestra una gráfica de control con los resultados obtenidos en la prueba de dosis glandular promedio, como se puede observar en todas las evaluaciones realizadas a los equipos que participaron en el ejercicio de PAICMA-2011, siempre se cumplió con lo establecido para esta prueba.

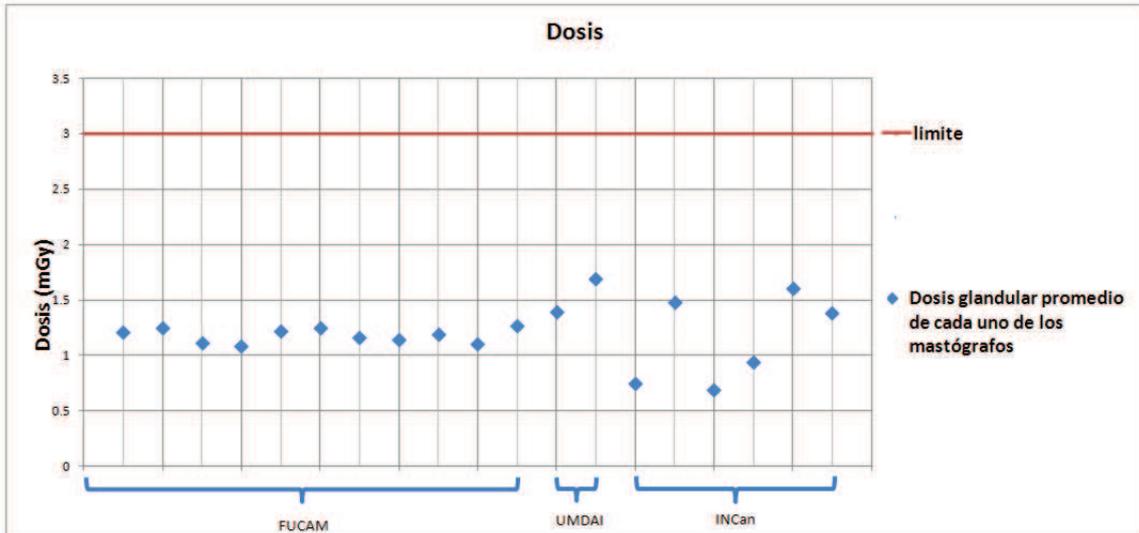


Figura 6.4. Resultados obtenidos en la valoración de la dosis glandular promedio realizada a los mastógrafos de FUCAM, UMDAI e INCAN que participaron en PAICMA-2011.

Otra prueba que es muy importante al evaluar el funcionamiento de los mastógrafos es la capa hemirreductora. En la siguiente figura se muestran resultados obtenidos para las evaluaciones realizadas a cada uno de los mastógrafos pertenecientes a las instituciones que participaron en PAICMA-2011, figura 6.5.

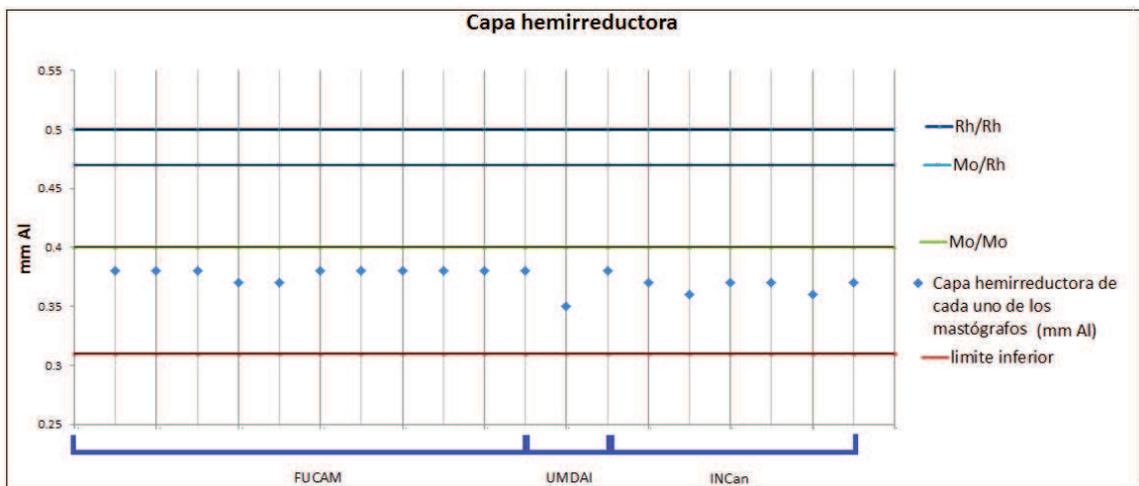


Figura 6.5. Resultados obtenidos en la valoración de la capa hemirreductora realizada a cada uno de los mastógrafos de FUCAM, UMDAI e INCAN que participaron en PAICMA-2011.

En la siguiente figura se muestra una gráfica del porcentaje de cumplimiento de las pruebas para cada una de las instituciones participantes en PAICMA 2011.

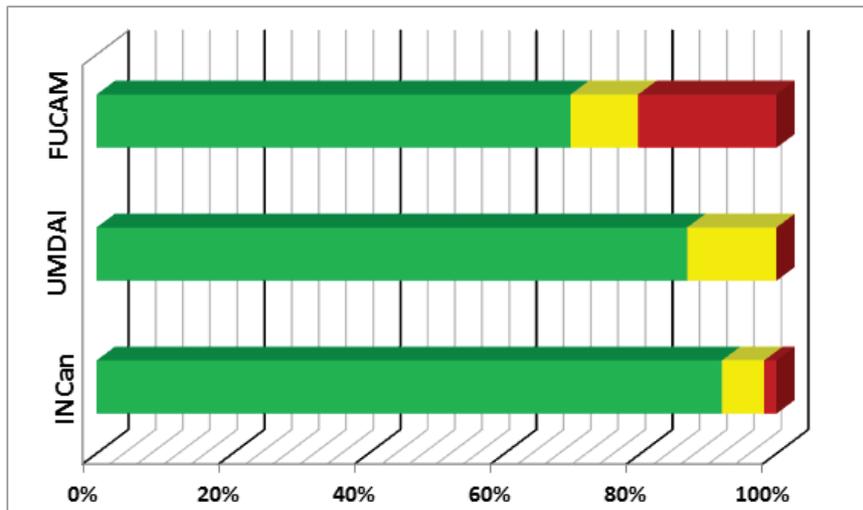


Figura 6.7. Porcentaje de cumplimiento de todas las pruebas realizadas a los mastógrafos administrados por FUCAM y los mastógrafos pertenecientes a UMDAI y al INCan.

Se puede observar que FUCAM cumple con un 70% de las pruebas aplicadas (área verde), el porcentaje de calificaciones preventivas es aproximadamente del 10% (área amarilla) y se debe principalmente a la presencia de artefactos, el porcentaje de calificaciones no satisfactorias es aproximadamente del 20% (área roja) y se debe a la falta de resolución espacial, a la presencia de artefactos y a la colimación.

En el caso de UMDAI, se observa que cumple con un 85% de las pruebas aplicadas (área verde), el porcentaje de calificaciones preventivas es aproximadamente del 15% (área amarilla) y se debe principalmente a la presencia de algunos artefactos.

En el caso del INCan, se observa que cumple con un 90% de las pruebas aplicadas (área verde), el porcentaje de calificaciones preventivas es aproximadamente del 8% (área amarilla) y se debe principalmente al funcionamiento del CAE en la prueba de compensación con el espesor, el porcentaje de calificaciones no satisfactorias es aproximadamente del 2% (área roja) y se debe a las fallas observadas en la prueba de fuerza de compresión.

### **Discusión global PAICMA-2008, 2010 y 2011.**

Los resultados que se obtuvieron en las evaluaciones del 2008, 2010 y 2011 se van a mostrar en las siguientes tablas en forma de semáforos globales de cada uno de los mastógrafos, con la intención de que se puedan visualizar de manera más fácil.

#### **FUCAM**

En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos para 6 mastógrafos administrados por FUCAM y sus equipos de procesamiento de imagen, que participaron en PAICMA-2008, 2010 y 2011.

Procesadores de película

		Procesador 1																																		
		FUCAM-2008												FUCAM-2010						FUCAM-2011																
Prueba		26-mar	28-mar	31-mar	02-abr	30-jun	21-jul	28-jul	04-ago	05-ago	08-ago	12-ago	15-ago	19-ago	22-ago	26-ago	02-sep	07-jun	14-jun	21-jun	28-jun	23-sep	11-oct	18-oct	08-nov	29-nov	25-abr	09-may	23-may	03-ago	05-ago	16-nov	22-nov	23-nov		
Temperatura del líquido revelador		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Sensitometría		S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N/D	P	P	S	P	P	P	P	S	P	S	P	P	P	N	N	N	

		Procesador 2																																			
		FUCAM-2008												FUCAM-2010						FUCAM-2011																	
Prueba		26-mar	28-mar	31-mar	02-abr	30-jun	21-jul	28-jul	04-ago	05-ago	08-ago	12-ago	15-ago	19-ago	22-ago	26-ago	02-sep	07-jun	14-jun	21-jun	28-jun	23-sep	24-sep	11-oct	18-oct	08-nov	19-nov	29-nov	25-abr	09-may	23-may	03-ago	05-ago	16-nov	22-nov	23-nov	
Temperatura del líquido revelador		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S
Sensitometría		S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N/D	P	P	S	S	S	S	P	P	P	P	N	N	P	P	P	N	N	N

Tabla 6.11. Resumen de los resultados obtenidos en la pruebas de *Temperatura del líquido revelador* y *Sensitometría*, realizadas en 2008-2010 y 2011, a los procesadores de película pertenecientes a FUCAM.

En lo referente a la prueba de *temperatura del líquido revelador*, en el caso del Procesador 1, en las evaluaciones que se realizaron a lo largo de los tres años, las calificaciones que se obtuvieron fueron satisfactorias, siendo casi idéntico el caso del Procesador 2, ya que sólo en la evaluación realizada el 25 de abril del 2011 la calificación obtenida en esta prueba fue no satisfactoria, debido a que la diferencia entre la temperatura de la carátula y la medida era mayor que  $\pm 0.5$  °C, Tabla 6.11.

En relación a la *sensitometría*, se pudo observar que en las primeras evaluaciones realizadas en 2008 los procesadores cumplían con los niveles de operación. A partir de la evaluación realizada el 28 de julio sólo se observaron 3 calificaciones satisfactorias en cada uno de los procesadores, el resto de calificaciones, del orden de 24 se repartieron casi en partes iguales entre preventivas y no satisfactorias, tabla 6.11.

## **Mastógrafos**

### **Unidad móvil 3**

En la tabla 6.12 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas a los mastógrafos 3-1A y 3-2B en el 2008, 2010 y 2011.

Como se puede observar a lo largo de estos tres años la prueba de *evaluación mecánica y estado general del mastógrafo*, que fue realizada al equipo 3-1A, siempre obtuvo calificaciones satisfactorias ya que en su totalidad cumplió con que el estado general del mastógrafo se encontró en óptimas condiciones, tabla 6.12.

En relación con la prueba de colimación, la cual consiste en tres evaluaciones: coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, alineación del campo de radiación y el detector de imagen y alineación de los bordes que limitan con el tórax, de la placa de compresión, con el receptor de imagen, este equipo obtuvo calificaciones no satisfactorias en 2 evaluaciones de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, estos problemas se asocian al movimiento del espejo, ya que al ser un mastógrafo que se encuentra montado en una unidad móvil está en constante movimiento, tabla 6.12.

Como se puede observar en los resultados, las pruebas de fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obtuvieron calificaciones satisfactorias ya que en su totalidad cumplieron con los criterios de aceptación establecidos para cada una de las pruebas, tabla 6.12.

El mastógrafo 3-1A cumple con los 3 primeros criterios de aceptación en la calidad de imagen, en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años, sin embargo las calificaciones obtenidas en la prueba de calidad de imagen, son no satisfactorias o preventivas debido a la presencia de artefactos, tabla 6.12.

En la prueba de *resolución espacial* se puede ver en la tabla 6.12 que el mastógrafo 3-1A presenta problemas cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo, ya que se observan menos de 11 pl/mm. En cuanto a la evaluación de las imágenes obtenidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, sólo en una evaluación no se cumplió con el criterio de aceptación, ya que se observaron menos de 13 pl/mm, tabla 6.12.

El equipo 3-2B, en las pruebas de: estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obtuvieron calificaciones satisfactorias, ya que en estas pruebas el equipo cumplió con los criterios de aceptación establecidos para cada una de ellas, tabla 6.12.

Este equipo, en dos ocasiones, obtuvo calificaciones no satisfactorias en la evaluación de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación. De la misma manera en la prueba de alineación de los bordes que limitan con el tórax, de la placa de compresión con el receptor de imagen en una ocasión el equipo obtuvo una calificación negativa, tabla 6.12.

Respecto a la prueba de *calidad de imagen*, el mastógrafo 3-2B cumple con los 3 primeros criterios de aceptación en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años, sin embargo las calificaciones obtenidas en la prueba de calidad de imagen, son mayoritariamente no satisfactorias o preventivas debido a la gran presencia de artefactos, sólo en una evaluación no se observaron artefactos en la imagen, tabla 6.12.

Se puede ver en la tabla 6.12, que el mastógrafo 3-2B, en la prueba de *resolución espacial*, la evaluación de las imágenes obtenidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo las calificaciones obtenidas son satisfactorias. Sin embargo cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo se presentan problemas ya que se observan menos de 11 pl/mm, tabla 6.12.

		UNIDAD 3-1A											UNIDAD 3-2B													
		FUCAM-2008				FUCAM-2010				FUCAM-2011			FUCAM-2008				FUCAM-2010				FUCAM-2011					
Prueba		26-mar	30-jun	15-ago	19-ago	07-jun	23-sep	11-oct	19-nov	23-may	04-ago	16-nov	22-nov	26-mar	30-jun	15-ago	19-ago	07-jun	23-sep	11-oct	19-nov	23-may	04-ago	16-nov	22-nov	
General	Evaluación mecánica y estado general	S	S			S		S		-			S	S	S			S		S		P			-	
	Evaluación de la colimación	S	S	S	S	S	S	S	S	--	--	--	S	S	S	--	--	S	S	S	N	N	S	N	S	S
	Fuerza de compresión	S	S			S		S		--			S		S			S		S		S			--	
	CAE: Capacidad de desempeño	S	S			S		S		--			S		S			S		S		S			--	
	CAE: reproducibilidad	S	S			S		S		--			S		S			S		S		S			--	
	Tasa de kerma en aire									--			S									S			--	
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al $\pm$ 3%)	S	S			S		S		--			S	--	S			S		S		S			--	
	Exposición de entrada	S	S			S		S		--			S	--	S			S		S		S			--	
	Dosis glandular promedio (mGy $\pm$ 3%)	S	S			S		S		--			S	--	S			S		S		S			--	
Imagen	Calidad de la imagen	S	N	N	N	N	N	N	--	--	--	P	P	S	N	N	N	N	N	N	N	P	P	--	--	
	Puntuación del maniquí	11	12	11	11	11	11	11	--	--	--	12	11	11.5	12	12	11	12	12	12	12	11	11	--	--	
	Artefactos	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	--	--	Si hay	Si hay	--	No hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	--
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S	S			S		S		--			N		S	S		S		S		S			--	
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	S	N			N		N		--			N		N	N		N		N		N			--	

Tabla6.12. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas a los mastógrafos 3-1A y 3-2B en 2008-2010 y 2011.

#### Unidad móvil 4

En el equipo 4-1A se observó que en las pruebas de estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, se cumplió con los criterios de aceptación establecidos para cada una de las pruebas, tabla 6.13.

El mastógrafo 4-1A cumple con los 3 primeros criterios de aceptación en todas las evaluaciones de la calidad de la imagen realizadas a lo largo de los 3 años. Sin embargo, las imágenes tomadas presentaron artefactos, las calificaciones fueron no satisfactorias o preventivas, dependiendo de la cantidad o del tamaño de los artefactos, tabla 6.13.

En la prueba de *resolución espacial*, la evaluación de las imágenes obtenidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, las calificaciones obtenidas son satisfactorias, excepto en una de las pruebas, en la cual no se cumplió con el criterio de aceptación. En el caso en que las imágenes se obtienen con el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo se presentan problemas, ya que sólo en una evaluación se cumplió con el criterio de aceptación. Las calificaciones obtenidas en el resto de las evaluaciones realizadas a lo largo de los tres años fueron no satisfactorias, tabla 6.13.

De manera similar al mastógrafo 4-1A, el equipo 4-2B cumplió con los criterios de aceptación establecidos para las siguientes pruebas: estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obteniendo calificaciones satisfactorias a lo largo de estos tres años de evaluación, tabla 6.13.

En relación con la evaluación de la calidad de la imagen, el mastógrafo 4-2B cumple con los 3 primeros criterios de aceptación en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años, sin embargo las imágenes obtenidas en todas las evaluaciones que se realizaron presentaron artefactos. Las calificaciones fueron no satisfactorias o preventivas dependiendo del número de los artefactos que se visualizaran, tabla 6.13. .

En la prueba de *resolución espacial*, la evaluación de las imágenes obtenidas cuando el patrón de barras se colocó en dirección paralela al eje ánodo-cátodo arrojó calificaciones satisfactorias. En el caso en que las imágenes se obtuvieron con el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo se presentaron problemas, ya que sólo en una de las evaluaciones se cumplió con el criterio de aceptación, tabla 6.13.

		UNIDAD 4-1A										D 4-2B														
		FUCAM-2008				FUCAM-2010			FUCAM-2011			FUCAM-2008				FUCAM-2010			FUCAM-2011							
Prueba		28-mar	21-jul	05-ago	22-ago	14-jun	24-sep	18-oct	27-nov	25-abr	04-ago	16-nov	22-nov	28-mar	21-jul	05-ago	22-ago	14-jul	24-sep	18-oct	27-nov	25-abr	04-ago	16-nov	22-nov	
General	Evaluación mecánica y estado general	S	S			S		S		--		S	S	S			S	S	S	S	S				--	
	Evaluación de la colimación	--	S	S		S	S	N/S	S	S		S	S	S	--	--	S	S	S	S	S	S	S		--	
	Fuerza de compresión	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
	CAE: Capacidad de desempeño	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
	CAE: Reproducibilidad	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
	Tasa de kerma en aire									--			S										S			--
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al ±3%)	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
	Exposición de entrada	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
	Dosis glandular promedio (mGy ±3%)	--	S			S		S		--		S		S			S		S		S				--	
Imagen	Calidad de la imagen	S	N	N	N	P	P	P	--	--	--	P	N	S	N	N	N	P	N	P	P	P	P	P	--	
	Puntuación del maniquí	11.5	12	12	12	11	11	11	--	--	--	11	11	11.5	12	12	12	12	12	12	11	10	12	--	--	
	Artefactos	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	--	--	Si hay	Si hay	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	--
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S	S			S		S		--			N	S	S			S		S		S				--
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	S	N			N		N		--			N	S	N			N		N		N				--

Tabla6.13 Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas a los mastógrafos 4-1A y 4-2B en 2008-2010 y 2011.

## Unidad móvil 5

En la prueba de *evaluación mecánica y estado general del mastógrafo* 5-1A, a lo largo de los 3 años de evaluación se obtuvieron calificaciones satisfactorias, tabla 6.14.

En la prueba de colimación, el mastógrafo 5-1A, en su mayoría cumplió con los criterios de aceptación, con la excepción de una evaluación, en la cual el equipo no cumplió con los criterios de aceptación establecidos para la evaluación de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación tabla 6.14.

En relación con las pruebas de fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, el equipo 5-1A cumplió con los criterios de aceptación establecidos para cada una de las pruebas tabla 6.14.

Como sucedió con los mastógrafos que se encuentran en las unidades móviles 3 y 4, el equipo 5-1A, cumple con los 3 primeros criterios de aceptación de la calidad de la imagen en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años, sin embargo las calificaciones obtenidas en esta prueba son no satisfactorias o preventivas debido a que en todas las imágenes se visualizan artefactos tabla 6.14.

Con respecto a la *resolución espacial*, el mastógrafo 5-1A obtiene calificaciones satisfactorias en la evaluación de las imágenes obtenidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, sólo en una evaluación no se cumplió con el criterio de aceptación, ya que se observaron menos de 13 pl/mm. En la evaluación que se realiza cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo sólo en una de las ocasiones se cumplió con el criterio de aceptación tabla 6.14.

El equipo 5-2B, en las pruebas de: estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obtuvo calificaciones satisfactorias tabla 6.14.

En la evaluación de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, este equipo obtuvo calificaciones no satisfactorias en 4 de 6 ocasiones en que fue examinado tabla 6.14.

Respecto a la prueba de *calidad de imagen*, el mastógrafo 5-2B cumple con los 3 primeros criterios de aceptación en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años. Al analizar las imágenes producidas por este equipo se pudo observar que en 3 de las 12 evaluaciones en las imágenes no se visualizaban artefactos, obteniendo calificaciones satisfactorias. En las evaluaciones restantes se visualizaron artefactos en las imágenes, obteniendo resultados no satisfactorios o preventivos tabla 6.14.

El mastógrafo 5-2B, en la prueba de *resolución espacial*, cumplió en la gran mayoría de las evaluaciones con el criterio de aceptación, cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, excepto en una de las 6 revisiones. Cuando se colocó el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo se presentó la situación inversa ya que solo se cumplió con el criterio de aceptación en una de las 6 ocasiones en las que se realizó la prueba tabla 6.14.

		UNIDAD 5-1A										UNIDAD 5-2B														
		FUCAM-2008			FUCAM-2010				FUCAM-2011			FUCAM-2008			FUCAM-2010				FUCAM-2011							
Prueba		31-mar	28-jul	08-ago	03-sep	21-jun	23-sep	08-nov	19-nov	25-abr	03-ago	16-nov	22-nov	31-mar	28-jul	08-ago	03-sep	21-jun	23-sep	08-nov	19-nov	25-abr	03-ago	16-nov	22-nov	
General	Evaluación mecánica y estado general	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	
	Evaluación de la colimación	S	S	N	S	S	S	S	S	--	--	S	S	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S		S	S
	Fuerza de compresión	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
	CAE: Capacidad de desempeño	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
	CAE: Reproducibilidad	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
	Tasa de kerma en aire									--			S									S				S
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al ±3%)	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
	Exposición de entrada	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
	Dosis glandular promedio (mGy ±3%)	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			S	S
Imagen	Calidad de la imagen	S	N	N	N	P	N	N	--	--	--	--	P	S	N	N	N	S	P	P	S	S	P	P	P	P
	Puntuación del maniquí	12.5	12	11	12	11	11	11	--	--	--	--	12	13	12	11	11	11	11	12	12	10	12	12	11	11
	Artefactos	--	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	--	--	--	Si hay	--	Si hay	Si hay	Si hay	No hay	Si hay	Si hay	No hay	No hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S	S			S		S		--			S	S	S			S		S		S			N	N
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	S	N			N		N		--			N	S	N			N		N		N			N	N

Tabla6.14. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas a los mastógrafos 5-1A y 5-2B en 2008-2010 y 2011.

## Unidad móvil 6

La prueba de *evaluación mecánica y estado general del mastógrafo* que fue realizada al equipo 6-1A, siempre obtuvo calificaciones satisfactorias, cumpliendo en su totalidad con las valoraciones realizadas a lo largo de los años 2008, 2010 y 2011, tabla 6.15.

En relación con la prueba de colimación, el mastógrafo 6-1A obtuvo calificaciones no satisfactorias, en la evaluación de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, en 4 de las 6 ocasiones en que fue examinado. Como ocurrió con las anteriores unidades móviles, estos problemas se asocian al movimiento del espejo, por ser mastógrafos que se encuentran montados en unidades móviles, tabla 6.15.

Como se puede observar en los resultados, las pruebas de fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obtuvieron calificaciones satisfactorias, tabla 6.15.

Con respecto a la prueba de *calidad de imagen*, la cual es evaluada con imágenes del maniquí acreditado por el ACR, el mastógrafo 6-1A obtuvo resultados satisfactorios en 4 de las 12 evaluaciones. En las evaluaciones restantes se obtuvieron resultados no satisfactorios, ya que las imágenes presentan una alta presencia de artefactos y sólo en una evaluación la calificación fue preventiva, tabla 6.15.

El mastógrafo 6-1A, en la prueba de *resolución espacial*, cumple en su mayoría (5 de 6) con el criterio de aceptación cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo. Cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo, en la mayor parte de las imágenes evaluadas a lo largo de estos tres años se observan menos de 11 pl/mm, sólo en una evaluación este equipo cumplió con los criterios de aceptación, tabla 6.15.

El equipo 6-2B, en las pruebas de: estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, obtuvo calificaciones satisfactorias, tabla 6.15.

En relación con la evaluación de la colimación el equipo 6-2B, en la prueba de la coincidencia del campo luminoso con el campo de radiación, en 3 de las 5 revisiones realizadas se obtuvieron calificaciones no satisfactorias, tabla 6.15.

En la prueba de *calidad de imagen*, el mastógrafo 6-2B cumplió con los 3 primeros criterios de aceptación excepto en una de las evaluaciones. Los resultados para este equipo fueron no satisfactorios en su mayoría ya que las imágenes presentaban una alta presencia de artefactos, tabla 6.15.

Los resultados en la prueba de *resolución espacial en este equipo*, cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, son en su gran mayoría satisfactorios (5 de 6). Sin embargo cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo se presentan problemas ya que se observan menos de 11 pl/mm, tabla 6.15.

		UNIDAD 6-1A											UNIDAD 6-2B																
		FUCAM-2008				FUCAM-2010				FUCAM-2011			FUCAM-2008				FUCAM-2010				FUCAM-2011								
Prueba		02-abr	04-ago	12-ago	26-ago	28-jun	24-sep	27-nov	29-nov	09-may	03-ago	15-nov	23-nov	02-abr	04-ago	12-ago	26-ago	28-jun	24-sep	27-nov	29-nov	09-may	03-ago	15-nov	23-nov				
General	Evaluación mecánica y estado general	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	Evaluación de la colimación	N	S	N	S	S	S		N/S	S	S	S	S	S	S			N	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S
	Fuerza de compresión	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	CAE: Capacidad de desempeño	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	CAE: Reproducibilidad	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	Tasa de kerma en aire									S			S	--								S			S				
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al ±3%)	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	Exposición de entrada	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
	Dosis glandular promedio (mGy ±3%)	S	S			S			S	S			S	S	S			S			S	S			S				
Imagen	Calidad de la imagen	S	N	N	N	S	S	N	N	S	P	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	S	--	N	N				
	Puntuación del maniquí	13	11	12	12	11	11	11	12	12	11	11	12	12	11	12	12	11	11	11	12	10	--	10	9				
	Artefactos	--	Si hay	Si hay	Si hay	No hay	No hay	Si hay	Si hay	No hay	Si hay	Si hay	Si hay	--	Si hay	Si hay	Si hay	No hay	Si hay	Si hay	No hay	No hay	Si hay	Si hay	Si hay				
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S	S			S			S	S			N	S	S			S			S				N				
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	S	N			N			N	N			N	S	S			N			N				N				

Tabla6.15. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas a los mastógrafos 6-1A y 6-2B en 2008-2010 y 2011.

Se ha observado que la calidad de las imágenes generadas por estos equipos es en su mayoría no satisfactoria. A pesar de que los equipos cumplen con varios de los parámetros que evalúan la calidad de la imagen, sólo en 16 de las 82 evaluaciones (20%) realizadas a los 8 equipos a lo largo de estos 3 años, se obtuvieron imágenes en las que no se visualizaron artefactos, 21 presentaron algunos artefactos (26%), alcanzando una calificación preventiva y en las restantes 45 imágenes se visualizaron demasiados artefactos (54%), obteniendo una calificación no satisfactoria. Es necesario comentar que de acuerdo a la NOM-229-SSA-2002, las imágenes mamográficas **NO** deben presentar defecto alguno.

Al comparar los resultados obtenidos en la prueba de resolución espacial, se observó que al evaluar las imágenes producidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, en los años 2008 y 2010 los equipos cumplieron con el criterio de aceptación, pero a finales de la evaluación realizada en el 2011, 5 equipos dejan de cumplir con estos mismos criterios. Cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo, la situación se agrava. Los resultados obtenidos en la primera evaluación realizada en el 2008 son satisfactorios en 6 mastógrafos. Sin embargo en las pruebas realizadas a lo largo del 2010 y 2011 ningún equipo cumplió con el criterio de aceptación, resultando sólo el 17% de pruebas con calificación satisfactoria.

El procesador 1 fue evaluado 34 veces a lo largo de los 3 años, los resultados obtenidos en la realización de la prueba de temperatura del líquido revelador fueron satisfactorios. Con relación a la prueba de sensitometría sólo en 9 de las revisiones (36%) el procesador cumplió con los niveles de operación establecidas por el fabricante y por el IFUNAM. El procesador 2 fue evaluado 36 veces, sólo en una ocasión no cumplió con la prueba de temperatura de líquido revelador. En relación con la prueba de sensitometría sólo en 9 revisiones (25%) se cumplió con los niveles de operación establecidos por el fabricante y por el IFUNAM. El proceso de revelado de las imágenes mamográficas está sumamente relacionado con la calidad de las imágenes, por esta razón es indispensable que las instituciones y los proveedores de encuentren en constante comunicación, con el fin de optimizar el proceso de revelado.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 8 mastógrafos cumplieron, en todas las evaluaciones, con los criterios de aceptación establecidos por el ACR y la [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En relación con los resultados obtenidos al evaluar el estado general del mastógrafo, se puede ver que en su mayoría son correctos. No obstante, en el caso de la prueba de colimación se ha observado que los equipos, en algunas evaluaciones, no cumplieron con los criterios de aceptación en la prueba de coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso, esto se debe al constante movimiento que sufren las unidades móviles, por lo que es necesario que los sistemas de colimación de estos mastógrafos sean sometidos a mantenimiento correctivo con mayor frecuencia.

## UMDAI

En las tablas 6.16 y 6.17 se muestran los resultados obtenidos para 2 mastógrafos propiedad de UMDAI y su equipo de procesamiento de película, los cuales participaron en PAICMA-2010 y 2011.

### Procesador de película

Prueba	UMDAI (ANTES MAGNI) 2010					UMDAI 2011	
	06-jul	10-jul	08-sep	17-nov	24-nov	01-abr	28-jul
Temperatura	S	S	S	S	S	S	S
Sensitometría	P	P	S	S	S	N	P

Tabla 6.16. Resumen de los resultados obtenidos en la pruebas de *Temperatura del líquido revelador* y *Sensitometría*, realizadas en 2010 y 2011, a los procesadores de película pertenecientes a UMDAI.

En la prueba de *temperatura del líquido revelador*, el procesador perteneciente UMDAI en las 7 evaluaciones realizadas en el 2010 y 2011 obtuvo calificaciones satisfactorias.

En la *sensitometría* se pudo observar que en 3 de las valoraciones realizadas a lo largo de 2010 y 2011, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que se cumplió con los niveles de operación para la base+niebla, índice de velocidad y gradiente promedio. En tres evaluaciones los resultados fueron preventivos al no cumplirse con alguno de los niveles de operación y en una ocasión la calificación fue no satisfactoria.

### Mastógrafos

En el mastógrafo Senographe 800T, el cual participó en PAICMA-2010 y 2011, se observó que en las pruebas de: estado general del mastógrafo, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, se cumplió con los criterios de aceptación establecidos para cada una de las pruebas.

En la prueba de fuerza de compresión el resultado de la prueba fue no satisfactorio.

El mastógrafo Senographe 800T, en todas las evaluaciones realizadas a lo largo de los 3 años, cumplió con los 3 primeros criterios de aceptación de la prueba de calidad de imagen. En 4 de las 6 evaluaciones realizadas se presentaron artefactos (67%), por lo que las calificaciones fueron preventivas, en las otras dos evaluaciones los resultados fueron satisfactorios (33%).

En la prueba de *resolución espacial*, se obtuvieron calificaciones satisfactorias en todas las evaluaciones.

En el mastógrafo Lorad IV se observó que en las pruebas de: estado general del mastógrafo, CAE: compensación con el espesor, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, exposición de entrada y dosis glandular promedio, se cumplió con los criterios de aceptación establecidos para cada una de ellas.

En la prueba de fuerza de compresión el resultado de la prueba fue no satisfactorio.

En la evaluación de la *calidad de imagen mamográfica*, el mastógrafo Lorad IV en 2 de las 6 evaluaciones (33%), cumplió con los cuatro criterios de aceptación obteniendo calificaciones satisfactorias, en las valoraciones restantes (67%), el equipo cumplió con los 3 primeros criterios de aceptación pero en las imágenes se visualizaban artefactos, los resultados fueron preventivos. Es conveniente recordar que En [NOM 229], se establece que las imágenes mamográficas no deben presentar defecto alguno.

En la prueba de *resolución espacial*, se obtuvieron calificaciones satisfactorias en todas las evaluaciones.

		SENOGRAPHE 800T					LORAD IV						
		UMDAI (ANTES MAGNI) – 2010			UMDAI – 2011		UMDAI (ANTES MAGNI) – 2010			UMDAI – 2011			
Prueba		06-jul	08-sep	17-nov	24-nov	01-abr	28-jul	10-jun	08-sep	17-nov	24-nov	01-abr	28-jul
General	Evaluación mecánica y estado general	S			S	S		S			S	S	
	Evaluación de la colimación	S	N/D	S				S	S	S			
	Fuerza de compresión	S			S	S		S			S	S	
	CAE: Capacidad de desempeño	S			S	S		S			S	S	
	CAE: Reproducibilidad	S			S	S		S			S	S	
Dosis	Capa hemirreductora (mm Al ±3%)	S			S	S		S			S	S	
	Exposición de entrada	S			S	S		S			S	S	
	Dosis glandular promedio (mGy ±3%)	S			S	S		S			S	S	
Imagen	Calidad de la imagen	S	S	P	P	P	P	S	S	P	P	P	P
	Puntuación del maniquí	11	11	11	10	12	11	12	11	12	11	11	11
	Artefactos	No hay	No hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay	No hay	No hay	Si hay	Si hay	Si hay	Si hay
	Resolución espacial (patrón paralelo)	S			S	S		S			S	S	
	Resolución espacial (patrón perpendicular)	S			S	S		S			S	S	

Tabla6.17. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas al mastógrafo Senographe 800T y Lorad IV en 2010 y 2011

UMDAI participó en el ejercicio de PAICMA-2010 y 2011. Se evaluó la calidad de la imagen en 12 ocasiones, sólo en 4 (33%) se cumplió con todos los parámetros que se evalúan en la calidad de la imagen, en las otras 8 evaluaciones (67%) los resultados no fueron los óptimos ya que en las imágenes se visualizaron artefactos. Es necesario que esta prueba se realice con mayor frecuencia, debido al tipo de lesiones que se desean visualizar en estas imágenes. Cabe recordar que en las imágenes no se deben visualizar artefactos.

El procesador de película fue evaluado en 7 ocasiones a lo largo de dos años, los resultados al probar la temperatura del líquido revelador siempre fueron correctos. En 3 (43%) de estas evaluaciones la prueba de sensitometría obtuvo resultados satisfactorios debido a que los equipos cumplen con los niveles de operación establecidos por el fabricante y el IFUNAM.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 2 mastógrafos cumplieron en todas las evaluaciones con los criterios de aceptación establecidos en [ACR 99] y la [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En los resultados obtenidos al evaluar el estado general del mastógrafo, se puede ver salvo algunos detalles, como en el caso del compresor, que el funcionamiento fue correcto.

## INCan

En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos para 4 mastógrafos propiedad del INCan, de los cuales 2 participaron en PAICMA-2010 (Senographe 2000D y Senographe DS) y 3 que participaron en PAICMA- 2011 (Senographe DS y 2 Hologic Selenia).

### **Mastógrafos**

En relación con el Senographe 2000D las pruebas de: estado general del mastógrafo, fuerza de compresión, CAE: reproducibilidad, capa hemirreductora, dosis glandular promedio, Rejilla: artefactos, Detector: función de respuesta, calidad de imagen, artefactos, resolución espacial 45°, y distorsión geométrica, el equipo cumplió satisfactoriamente con las valoraciones realizadas durante el 2010.

Con relación a la *colimación*, el mastógrafo Senographe 2000D no cumplió con los criterios de aceptación establecidos, en una de las evaluaciones las calificaciones obtenidas en los tres aspectos que se examinan las calificaciones fueron no satisfactorias, mientras que en la otra las calificaciones en los tres aspectos

En la prueba del CAE: compensación con el espesor, en las dos evaluaciones se obtuvieron calificaciones preventivas.

Las calificaciones obtenidas en la prueba de *Detector: homogeneidad*, fueron preventivas, esto se debe que el mastógrafo no cumplió con el criterio de aceptación.

		Senographe 2000D					
		INCan - 2010					
		Pruebas					
GENERAL	Evaluación mecánica	S				S	
	Evaluación de la colimación	N	N	N			S S S
	Fuerza de Compresión	S				S	
	CAE: Compensación con el espesor	P				P	
	CAE: Reproducibilidad	S				S	
DOSIS	Capa Hemirreductora (mm Al)	S				S	
	Dosis Glandular promedio ( $\pm 4\%$ mGy)	S				S	
IMAGEN	Rejilla: Artefactos	S				S	
	Detector: Función de respuesta	S				S	
	Detector: Homogeneidad	P		P	P	P	
	Calidad de imagen	S		S	S	S	
	Puntuación del maniquí	12		13	13	14	
	Artefactos	NO HAY				NO HAY	
	Resolución espacial 45°	S				S	
	Distorsión geométrica	S				S	
	Homogeneidad			P	S		

Tabla6.18. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas al mastógrafo Senographe 2000D en 2010.

Con relación al Senographe DS las pruebas de: estado general del mastógrafo, CAE: reproducibilidad, tasa de kerma en aire, capa hemirreductora, dosis glandular promedio, Rejilla: artefactos, Detector: homogeneidad, Detector: función de respuesta, calidad de imagen, artefactos, resolución espacial 45°, y distorsión geométrica, el equipo cumplió satisfactoriamente con las valoraciones realizadas durante el 2010 y 2011.

En relación con la evaluación de la *colimación*, el mastógrafo Senographe DS, en 3 de las 4 evaluaciones realizadas, cumplió con los criterios de aceptación establecidos.

En 2 de las 4 evaluaciones realizadas el equipo no cumplió con los criterios de aceptación establecidos para la prueba de *fuerza de compresión*.

En la prueba del CAE: compensación con el espesor, en las 4 evaluaciones se obtuvieron calificaciones preventivas.

		Senographe DS															
Pruebas		INCan - 2010						INCan – 2011									
GENERAL	<i>Evaluación mecánica</i>	S				S	S				S						
	<i>Evaluación de la colimación</i>	N/D	N/D	S			P	P	P	S	S	S			S	S	S
	<i>Fuerza de Compresión</i>	S					P	P				S					
	<i>CAE: Compensación con el</i>	P					P	P				P					
	<i>CAE: Reproducibilidad</i>	S				S	S				S						
DOSIS	<i>Capa Hemirreductora (mm Al)</i>	S				S	S				S						
	<i>Dosis Glandular promedio (<math>\pm</math>)</i>	S				S	S				S						
IMAGEN	<i>Rejilla: Artefactos</i>	S				S	S				S						
	<i>Detector: Función de respuesta</i>	S				S	N/D				S						
	<i>Detector: Homogeneidad</i>	S	S	S		S	S				S						
	<i>Calidad de imagen</i>	S	S	S		S	S	S	S		S						
	<i>Puntuación del maniquí</i>	12	14	13		13	12	13.5	13.5		12						
	<i>Artefactos</i>	NO HAY				NO HAY	NO HAY				NO HAY						
	<i>Resolución espacial 45°</i>	S				S	S				S						
	<i>Distorsión geométrica</i>	S				S	S				N/D						
	<i>Homogeneidad</i>		S	S				S	S								

Tabla6.19. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas al mastógrafo Senographe DS en 2010 y 2011.

Los equipos Hologic 1 y Hologic 2, obtuvieron calificaciones satisfactorias en las siguientes pruebas: estado general del mastógrafo, CAE: reproducibilidad, capa hemirreductora, dosis glandular promedio, Rejilla: artefactos, Detector: homogeneidad, calidad de imagen, artefactos, resolución espacial 45°, distorsión geométrica y Homogeneidad.

En relación con la prueba de CAE: compensación con el espesor, los dos equipos obtuvieron calificaciones preventivas, ya que para espesores mayores que 60 cm, no se cumple con los criterios de aceptación establecidos.

Los resultados obtenidos para el mastógrafo Hologic 1 y Hologic 2 en las pruebas de Detector: función de respuesta fueron satisfactorias.

		HOLOGIC 1						HOLOGIC 2									
Pruebas		INCan – 2011						INCan – 2011									
G E N E R A L	<i>Evaluación mecánica</i>	S					S			S					S		
	<i>Evaluación de la colimación</i>	N/D	N/D	N/D			S	S	S	S	S	S			S	S	S
	<i>Fuerza de Compresión</i>	N					S			S					S		
	<i>CAE: Compensación con el espesor</i>	P					P			P					P		
	<i>CAE: Reproducibilidad</i>	S					S			S					S		
D O S I S	<i>Capa Hemirreductora (mm Al)</i>	S					S			S					S		
	<i>Dosis Glandular promedio (<math>\pm</math> 3% mGy)</i>	S					S			S					S		
I M A G E N	<i>Rejilla: Artefactos</i>	N/D					S			S					S		
	<i>Detector: Función de respuesta</i>	S					S			S					S		
	<i>Detector: Homogeneidad</i>	S					S			S					S		
	<i>Calidad de imagen</i>	S	S	S			S	S	S	S	S	S			S	S	S
	<i>Puntuación del maniquí</i>	12	13	14			12			11	14	14			11		
	<i>Artefactos</i>	NO HAY					NO HAY			NO HAY					NO HAY		
	<i>Resolución espacial 45°</i>	S					S			S					S		
	<i>Distorsión geométrica</i>	N/D					N/D			S					N/D		
	<i>Homogeneidad</i>				S	S							S	S			

Tabla6.20. Resumen resultados de las pruebas de CC aplicadas a los mastógrafos Hologic 1 y Hologic 2 realizadas en la evaluación del 2011.

El INCan participó en el ejercicio de PAICMA-2010 y 2011. Se evaluó en 20 ocasiones la constancia de la calidad de la imagen y en todas las valoraciones los resultados fueron satisfactorios. Con relación a la prueba de Detector: homogeneidad, en 16 de las 20 valoraciones (80%), se obtuvieron resultados satisfactorios, en el 20 % restante las calificaciones fueron preventivas.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 4 equipos que fueron valorados a lo largo de 2010 y 2011 cumplieron con los criterios de aceptación establecidos en [ACR 99] y en [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En los resultados obtenidos al evaluar el estado general de los mastógrafos, se puede ver que al evaluar la fuerza de compresión en 7 de las 10 ocasiones en las que se realizó la prueba los

equipos obtuvieron calificaciones satisfactorias (70%), preventivas el 20% y el 10% restantes no fueron satisfactorias.

Con respecto a la prueba de CAE: compensación con el espesor, las 10 veces que se realizó se obtuvieron calificaciones preventivas. Como ya fue mencionado anteriormente, el CAE es el encargado de controlar los parámetros de exposición (kV, mAs, blanco/filtro), por esta razón es muy importante que funcione adecuadamente para cualquier espesor de la mama.

## Capítulo VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se muestran: las conclusiones de la evaluación realizada durante el ejercicio de PAICMA-2011, las conclusiones de la comparación de los resultados obtenidos en PAICMA-2008, 2010 y 2011, y las recomendaciones que se hacen con el fin de mejorar el programa.

#### PAICMA- 2011

- Se evaluó el funcionamiento de 8 mastógrafos analógicos distribuidos en 4 Unidades Móviles, administradas por FUCAM, además de 2 procesadores de películas asociados a ellos.
- Se evaluó el funcionamiento de 2 mastógrafos analógicos y un procesador de películas propiedad de UMDAI.

Las evaluaciones realizadas a los equipos analógicos se realizaron de acuerdo a lo establecido por el American College of Radiology (ACR) y la [NOM 229].

- Se evaluó el funcionamiento de 3 mastógrafos digitales propiedad del Instituto Nacional de Cancerología, de acuerdo a lo estipulado por el American College of Radiology (ACR), la Sociedad Española de Física Médica.

Los informes correspondientes fueron entregados a INMUJERES-DF.

#### FUCAM

De las 20 evaluaciones de la calidad de imagen realizadas a lo largo del 2011 a los mastógrafos administrados por FUCAM, se pudo observar que sólo en tres evaluaciones se obtuvieron calificaciones satisfactorias, cumpliendo con los 4 parámetros que se evalúan en esta prueba, 12 fueron calificaciones preventivas y las restantes fueron no satisfactorias. Cabe hacer notar que 19 de las 20 revisiones cumplieron con: la densidad óptica al centro de la imagen, el contraste y la puntuación del maniquí, no siendo así al evaluar la presencia de artefactos en la imagen mamográfica, ya que en 17 de las imágenes se visualizaron artefactos, no cumpliéndose con los criterios establecidos En [ACR 99] y en la normativa mexicana. La presencia de los artefactos se debió principalmente al polvo, al desgaste de las pantallas intensificadoras y al proceso de revelado. Debido a la necesidad de detectar estructuras pequeñas en la mama femenina, como son las microcalcificaciones, es necesario que en las imágenes mamográfica **no** se visualicen artefactos, ya que éstos en algunas ocasiones también pueden simular objetos de interés diagnóstico.

Al evaluar a los 2 procesadores de película, que se encuentran instalados en la clínica de FUCAM, se observó que la prueba de temperatura del líquido revelador se cumple casi en su totalidad, excepción hecha del procesador 2 durante la etapa 1. Al evaluar los parámetros que componen la prueba de sensitometría se observó que sólo en 2 de 8 de las pruebas realizadas a los dos procesadores se cumplió con los niveles de operación. El proceso de revelado de las imágenes mamográficas se encuentra sumamente relacionado con la calidad de la imagen, es por esto que es de suma importancia que se cuente con una comunicación constante con el fabricante y/o el proveedor y que se realicen pruebas de CC con mayor frecuencia con el fin de tener un mejor monitoreo del funcionamiento de los equipos.

Al evaluar la dosis glandular promedio de cada uno de los 8 equipos a lo largo del 2011, se encontró que en su totalidad los equipos cumplieron con los criterios establecidos En [ACR 99] y En [NOM 229]. Las otras dos pruebas radiológicas que fueron realizadas a los mastógrafos, y que son muy importantes al evaluar el funcionamiento de los equipos, la capa hemirreductora y la exposición de entrada, se cumplieron satisfactoriamente en todas las revisiones realizadas a los mastógrafos.

En relación con las pruebas realizadas para evaluar al estado general del mastógrafo, se observó que los equipos se encuentran en su mayoría funcionando adecuadamente, sin embargo en la prueba de colimación se observó en 4 de 8 ocasiones en que se realizó la prueba, que hay una desviación entre el campo luminoso y el campo de rayos X en el borde de la pared torácica. Éste problema está asociado al constante movimiento de los mastógrafos y es muy importante que los sistemas de colimación de los equipos de mamografía sean sometidos a mantenimiento correctivo con mayor frecuencia.

## UMDAI

En el caso de UMDAI se evaluó la calidad de la imagen mamográfica en dos ocasiones, a cada uno de los mastógrafos, teniendo como resultado calificaciones preventivas. Al evaluar la densidad óptica al centro de la imagen, el contraste y la puntuación del maniquí se observó que los dos equipos cumplieron con los criterios de aceptación establecidos para estos parámetros, sin embargo, en las cuatro imágenes examinadas se observaron artefactos debidos al polvo y al desgaste de las pantallas intensificadoras. Como ya se ha mencionado anteriormente, las imágenes mamográficas no deben tener defecto alguno, ya que se busca identificar anomalías muy pequeñas en la mama femenina.

Al evaluar el funcionamiento del procesador de película se pudo observar lo siguiente: se cumple con el criterio de aceptación establecido para la prueba de temperatura del líquido revelador, y al evaluar la sensitometría, en una ocasión (50%), no se cumplió con los niveles de operación establecidos por el IFUNAM. La relación entre el proceso de revelado y la calidad de imagen es muy estrecha y es necesario que se vigile el funcionamiento del proceso de revelado, con el fin de obtener imágenes mamográficas de alta calidad.

Las 3 pruebas radiológicas, dosis glandular promedio, capa hemirreductora y exposición de entrada, hechas en la etapa 1 de evaluación a los equipos de mamografía cumplieron con los criterios de aceptación establecidos para cada una de ellas.

Con relación al estado general de los mastógrafos, en la etapa 1, se observó que los dos equipos funcionaban correctamente. Es de suma importancia que los equipos se encuentren en un estado de buen funcionamiento.

## **INCAN**

En el INCAN se evaluó la constancia de la calidad de la imagen, en dos ocasiones, en cada uno de los equipos. Los 3 equipos evaluados cumplieron con la homogeneidad del detector de imagen, la puntuación del maniquí, la resolución espacial, la distorsión geométrica y al evaluar las imágenes no se visualizaron artefactos, cumpliéndose con los criterios establecidos en el Protocolo de CC en Mamografía Digital.

En las pruebas de dosis glandular promedio y de capa hemirreductora realizadas a cada uno de los equipos se observó que se cumplió con lo establecido para cada una de las pruebas. Cumpliéndose con los dos principales objetivos de la realización de las pruebas de CC, que son: imágenes mamográficas de buena calidad y adecuada dosis glandular depositada en la mama femenina por exposición.

Al evaluar el estado general de los mastógrafos pertenecientes al INCAN, se observa que al revisar el CAE en la prueba de compensación con el espesor, los 3 equipos, en espesores de 60 cm y 70 cm no cumplen con lo establecido en el Protocolo de CC en Mamografía Digital. El CAE es el encargado de controlar los parámetros de exposición (kV, mAs, blanco/filtro), por esta razón es muy importante que funcione adecuadamente para cualquier espesor de la mama.

## **Conclusiones PAICMA-2008, 2010 y 2011.**

A lo largo de estos tres años de evaluaciones realizadas por parte del IFUNAM a los mastógrafos participantes en PAICMA se han obtenido una serie de resultados que han permitido vigilar el funcionamiento de los equipos y observar cuáles son los principales problemas que se encuentran durante el desarrollo del PAICMA.

A continuación se muestran, por institución, las conclusiones provenientes del análisis comparativo de los resultados obtenidos en la evaluación realizada a los 13 mastógrafos que participaron en PAICMA-2008, 2010 y 2011.

## FUCAM

Se ha observado que la calidad de las imágenes generadas por estos equipos es en su mayoría no satisfactoria. A pesar de que los equipos cumplen con varios de los parámetros que evalúan la calidad de la imagen, sólo en 16 de las 82 evaluaciones (20%) realizadas a los 8 equipos a lo largo de estos 3 años, se obtuvieron imágenes en las que no se visualizaron artefactos, 21 presentaron algunos artefactos (26%), alcanzando una calificación preventiva y en las restantes 45 imágenes se visualizaron demasiados artefactos (54%), obteniendo una calificación no satisfactoria. Es necesario comentar que de acuerdo a la NOM-229-SSA-2002, las imágenes mamográficas **NO** deben presentar defecto alguno.

El MQAS establece que: Si los resultados de la prueba están fuera de los límites, la fuente del problema deberán ser identificada y las medidas correctivas se tomarán dentro de los 30 días siguientes a la fecha de la prueba.

Al comparar los resultados obtenidos en la prueba de resolución espacial, se observó que al evaluar las imágenes producidas cuando el patrón de barras se coloca en dirección paralela al eje ánodo-cátodo, en los años 2008 y 2010 los equipos cumplieron con el criterio de aceptación, pero a finales de la evaluación realizada en el 2011, 5 equipos dejan de cumplir con estos mismos criterios. Cuando se coloca el patrón con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo, la situación se agrava. Los resultados obtenidos en la primera evaluación realizada en el 2008 son satisfactorios en 6 mastógrafos. Sin embargo en las pruebas realizadas a lo largo del 2010 y 2011 ningún equipo cumplió con el criterio de aceptación, resultando sólo el 17% de pruebas con calificación satisfactoria.

El procesador 1 fue evaluado 34 veces a lo largo de los 3 años, los resultados obtenidos en la realización de la prueba de temperatura del líquido revelador fueron satisfactorios. Con relación a la prueba de sensitometría sólo en 9 de las revisiones (36%) el procesador cumplió con los niveles de operación establecidas por el fabricante y por el IFUNAM. El procesador 2 fue evaluado 36 veces, sólo en una ocasión no cumplió con la prueba de temperatura de líquido revelador. En relación con la prueba de sensitometría sólo en 9 revisiones (25%) se cumplió con los niveles de operación establecidos por el fabricante y por el IFUNAM. El proceso de revelado de las imágenes mamográficas está sumamente relacionado con la calidad de las imágenes, por esta razón es indispensable que las instituciones y los proveedores de encuentren en constante comunicación, con el fin de optimizar el proceso de revelado.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 8 mastógrafos cumplieron, en todas las evaluaciones, con los criterios de aceptación establecidos por el ACR y la [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En relación con los resultados obtenidos al evaluar el estado general del mastógrafo, se puede ver que en su mayoría son correctos. No obstante, en el caso de la prueba de colimación se ha observado que los equipos, en algunas evaluaciones, no cumplieron con los criterios de aceptación en la prueba de coincidencia entre el campo de rayos X y el campo luminoso, esto se debe al

constante movimiento que sufren las unidades móviles, por lo que es necesario que los sistemas de colimación de estos mastógrafos sean sometidos a mantenimiento correctivo con mayor frecuencia.

## **UMDAI**

UMDAI participó en el ejercicio de PAICMA-2010 y 2011. Se evaluó la calidad de la imagen en 12 ocasiones, sólo en 4 (33%) se cumplió con todos los parámetros que se evalúan en la calidad de la imagen, en las otras 8 evaluaciones (67%) los resultados no fueron los óptimos ya que en las imágenes se visualizaron artefactos. Es necesario que esta prueba se realice con mayor frecuencia, debido al tipo de lesiones que se desean visualizar en estas imágenes. Cabe recordar que en las imágenes no se deben visualizar artefactos.

El procesador de película fue evaluado en 7 ocasiones a lo largo de dos años, los resultados al probar la temperatura del líquido revelador siempre fueron correctos. En 3 (43%) de estas evaluaciones la prueba de sensitometría obtuvo resultados satisfactorios debido a que los equipos cumplen con los niveles de operación establecidos por el fabricante y el IFUNAM.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 2 mastógrafos cumplieron en todas las evaluaciones con los criterios de aceptación establecidos por el ACR y la NOM- [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En los resultados obtenidos al evaluar el estado general del mastógrafo, se puede ver salvo algunos detalles, como en el caso del compresor, que el funcionamiento fue correcto.

## **INCAN**

El INCAN participó en el ejercicio de PAICMA-2010 y 2011. Se evaluó en 20 ocasiones la constancia de la calidad de la imagen y en todas las valoraciones los resultados fueron satisfactorios. Con relación a la prueba de Detector: homogeneidad, en 16 de las 20 valoraciones (80%), se obtuvieron resultados satisfactorios, en el 20 % restante las calificaciones fueron preventivas.

Con respecto a la prueba de dosis glandular promedio los 4 equipos que fueron valorados a lo largo de 2010 y 2011 cumplieron con los criterios de aceptación establecidos por el ACR y la [NOM 229]. Los resultados de la prueba de capa hemirreductora siempre fueron satisfactorios.

En los resultados obtenidos al evaluar el estado general de los mastógrafos, se puede ver que al evaluar la fuerza de compresión en 7 de las 10 ocasiones en las que se realizó la prueba los equipos obtuvieron calificaciones satisfactorias (70%), preventivas el 20% y el 10% restantes no fueron satisfactorias.

Con respecto a la prueba de CAE: compensación con el espesor, las 10 veces que se realizó se obtuvieron calificaciones preventivas, debido a los errores detectados a espesores de mama comprimidas mayores a 60mm. Como ya fue mencionado anteriormente, el CAE es el encargado

de controlar los parámetros de exposición (kV, mAs, blanco/filtro), por esta razón es muy importante que funcione adecuadamente para cualquier espesor de la mama.

## RECOMENDACIONES

Podemos decir que debido a los resultados obtenidos en la evaluación realizada en el 2011 a los equipos mamográficos analógicos administrados por FUCAM y pertenecientes a UMDAI, y a los mastógrafos digitales tipo DR pertenecientes al INCan, y de lo observado al comparar los resultados obtenidos en 2008, 2010 y 2011, se recomienda:

- En relación con los problemas detectados en la calidad de la imagen es preciso que se detecte la fuente problema y se resuelva en el momento que se presenten. En el caso de FUCAM la fuente del problema está relacionada principalmente con el polvo que se introduce en las unidades móviles, es preciso que se cuente con la limpieza adecuada en la realización de los estudios.
- En el caso de los equipos analógicos es necesario verificar con los proveedores constantemente los niveles de operación de la película radiográfica relacionados directamente con el proceso de revelado. Es necesario que el Técnico Radiólogo del cuarto oscuro cuente con un sensitómetro y un densitómetro y esté capacitado en su uso para realizar las pruebas de sensitometría, al inicio de cada jornada laboral, antes de procesar cualquier placa de alguna paciente. Es conveniente insistir que el proceso de revelado de la imagen es el eslabón más débil de la cadena formada por un sistema para mamografía película-pantalla.
- En el caso de los mastógrafos montados en unidades móviles, se debe aumentar la frecuencia en la revisión de la colimación, en especial en la coincidencia del campo luminoso con el de rayos X en el borde del tórax, debido a que el funcionamiento de este sistema, que depende de la posición de un espejo, es muy sensible a los movimientos.
- En los equipos digitales se requiere que se revisen frecuentemente y se reparen los controles automáticos de exposición (CAE), ya que éstos controlan la compensación por espesor de mama, sobre todo para el caso de mamas con espesores grandes.
- Al momento en que se revise la normativa mexicana, se recomienda incluir las pruebas de CC específicas para equipos digitales (tipo CR y DR) que debe realizar el físico médico y el técnico radiólogo.
- Es necesario que antes de comenzar las evaluaciones, en conjunto con las Instituciones que participen en el ejercicio de PAICMA o de algún otro Programa de detección temprana de cáncer de mama, se realice un cronograma en el cual se determinen las fechas en las

que se van a realizar las evaluaciones, con el fin de que el programa de CC se realice en su totalidad.

- Por otro lado, de acuerdo a la NOM-041-SSA2-2011, se debe tener en consideración lo siguiente:

Los Técnicos Radiólogos deben tener capacitación específica para realizar mastografía diagnóstica supervisada en curso con duración mínima de dos meses, con reconocimiento oficial de una institución de salud, y someterse a procesos de calificación y capacitación continua con énfasis en control de calidad y protección radiológica [NOM 041]

En general, se deben establecer programas de Garantía y Control de Calidad, en donde se tome en cuenta la realización de las pruebas, el mantenimiento correctivo y preventivo, la capacitación del personal involucrado en estos programas, las acciones correctivas, etc., con el fin de mejorar el servicio y obtener imágenes con calidad diagnóstica.

## BIBLIOGRAFÍA

- [ACR 99] American College of Radiology. Mammography. Quality Control Manual, 1999.
- [Bu 02] Bushberg, J. H., The Essential Physics of Medical Imaging, Lippincott Williams and Wilkins, U.S.A. 2002.
- [Ce 09] Cember Herman, Johnson Thomas E., INTRODUCTION TO Health Physics, McGraw Hill Medical, U.S.A. 2009.
- [Ch 10] M. Chevalier, R. Torres. Mamografía digital. <http://www.sefm.es/fisica-medica/es/revista-fisica-medica/10/numeros/41/2010/44>
- [Mo 11] Moreno Ramírez Adriana, Control de calidad en radiografía computarizada (CR) para mamografía.
- [Sp 87] Sprawls, Jr. R., Physical Principles of Medical Imaging. Rockville, MD., Asp.
- [NOM 041] Secretaria de Salud, Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA2-2011, Salud ambiental. Para la prevención, diagnóstico, tratamiento, control y vigilancia epidemiológica del cáncer de mama. Diario Oficial de la Federación. 9 de Junio de 2011.
- [NOM 229] Secretaría de Salud, México, Norma Oficial Mexicana [NOM 229], Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X. Diario Oficial de la Federación. 15 de Septiembre de 2006.
- [PCCMD] Margarita Chevalier del Rio, Pilar Moran Penco, Juan J. Morant , Ricardo Torres. Protocolo de Control de Calidad en Mamografía Digital.

- [Pe 10] XV curso clínico radiológico en cáncer de mama Acapulco, Gro, 25-28 de agosto del 2010. Presentación: Birads aplicado Dra. Marta Patricia Pérez Badillo, INCan.
- [PECCR 10] Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico, 2010.
- [PECCR 11] Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico, 2011.
- [Po 06] E. B. Podgoršak, Radiation Physics for Medical Physicists, Springer, Germany.
- [Ra 10] Ramírez Barbosa Erika, Mamografía: Control de calidad en unidades móviles. Tesis de Licenciatura en Física. FC UNAM 2010.
- [Ru 01] Ruiz Trejo César, Calidad de imagen y dosis en mamografía. Evaluación de dos servicios de salud pública en el Distrito Federal. Tesis de Maestría en Ciencias (Física Médica). PCF UNAM 2001.
- [w1] [www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/eestadisticas/2011/cancer0.doc](http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/eestadisticas/2011/cancer0.doc)
- [w2] <http://www.infocancer.org.mx/contenidos.php?idsubsubcontenido=345>
- [w3] [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1517s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1517s_web.pdf)