

57



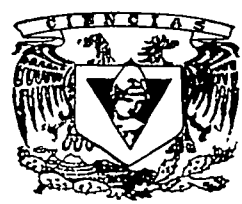
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"MAMOGRAFIA: MEDICION DEL PUNTO FOCAL Y RESOLUCION DIGITALIZANDO IMAGENES DE UNA CAMARA DE RENDIJA Y UN PATRON DE BARRAS PARALELAS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
F I S I C O
P R E S E N T A :
FLAVIO ERNESTO TRUJILLO ZAMUDIO

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



MEXICO, D. F.



2002.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: TRUSTELO ZAMUDIO

Flavio Ernesto

FECHA: 28 Agosto 2002

FIRMA: 

UNAM  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA**

Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunico a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Mamografía: Medición del punto focal y resolución digitalizando imágenes de una  
cámara de rendija y un patrón de barras paralelas"  
realizado por Trujillo Zamudio Flavio Ernesto

con número de cuenta 9850437-8 , quién cubrió los créditos de la carrera de Física

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

M. EN C. CESAR GUSTAVO RUIZ TREJO

Propietario

DRA. YOLANDA VILLASEÑOR NAVARRO

Propietario

M. EN C. PATRICIA RAQUEL AVILES MANDUJANO

Suplente

M. EN C. ANA ELENA BUENFIL BURGOS

Suplente

M. EN C. ADOLFO ZARATE MORALES

Consejo Departamental de Física

DRA. PATRICIA GOLDSTEIN MENACHE  
Coordinadora de Licenciatura  
FACULTAD DE FÍSICA

DEDICO ESTE TRABAJO A:

Mis queridos padres:

*María Esther Zamudio Blancas y Juan Francisco Trujillo Amozorrutia*

Por su cariño y apoyo a lo largo de mi vida, así como en las decisiones que he tomado y en la carrera que elegí.

Mis adoradas hermanas:

*Gisela Trujillo Zamudio y Rosa María Trujillo Zamudio*

Gracias por su comprensión y oportuna ayuda en momentos de indecisión.

Mis amados abuelitos:

*Esther Blancas de Zamudio<sup>†</sup> y Luis Zamudio<sup>†</sup>  
Angelina Amozorrutia de Trujillo<sup>†</sup> y Juan Trujillo*

Por su cariño en la infancia y durante mi crecimiento.

A todos mis tíos y primos

*Familias: Trujillo, Zamudio, Amozorrutia,  
Guerrero, Flores, Barnard y González*

Por su gran apoyo durante mi vida.

**Al Instituto Tecnológico Franco-Mexicano y a la Universidad Nacional Autónoma de México**

Gracias por la educación y formación recibida.

*"... el trabajo que nunca se empieza, es el que más tarda en terminarse..."*

*Sam Gamji*

## AGRADECIMIENTOS

Al M. en C. César Gustavo Ruiz Trejo por su gran ayuda en la elaboración de la Tesis, así como también por el apoyo brindado y su infinita paciencia.

A los integrantes del jurado M. en C. César Gustavo Ruiz Trejo, Dra. Yolanda Villaseñor Navarro, M. en C. Patricia Raquel Avilés Mandujano, M. en C. Ana Elena Buenfil Burgos y M. en C. Adolfo Zárate Morales, por sus valiosos comentarios en lo correspondiente a la presentación de este trabajo.

Al grupo de Dosimetría de la Radiación del Instituto de Física de la UNAM: Dra. María Ester Brandan Siqués, M. en C. Ana Elena Buenfil Burgos, Dra. Mercedes Rodríguez Villafuerte, Dra. María Isabel Gamboa de Buen, por todo su apoyo tanto académico como moral.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en particular al Instituto de Física por el material brindado para la elaboración de la tesis. Principalmente al Ing. Marco Veytia; a Carlos Sánchez Bribiesca por la fabricación del soporte de la cámara de rendija; a Alfredo Sánchez Ariza por su colaboración en la digitalización de las imágenes radiográficas. Agradezco a la Organización Panamericana de la Salud por el equipo brindado y a la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la UNAM por su apoyo económico dentro del proyecto IN101399.

Al Instituto Nacional de Cancerología y en especial a la Dra. Yolanda Villaseñor Navarro por permitirme trabajar en la Unidad de Radiología con el equipo de mamografía. A Erika Islas por la atención brindada. A las técnicas radiólogas Delia Peralta y María S. Pérez, por su valiosa ayuda durante mi trabajo con el equipo de mamografía y a Alma Martínez por su dedicación al tomar rutinariamente los datos de la temperatura del revelador.

A mis compañeros Héctor Galván, Miguel Ponce y Héctor Alva por su ayuda en la toma y análisis de algunas pruebas de la tesis y a César Chávez por su apoyo en la captura de los anexos de la misma.

A mis amigos Alejandro Rodríguez, Jorge Ferrer, Miguel Iburgüengoita, Rogelio Rojas (la comunidad del anillo), Olivier Marti, George Martínez, David Priego, Arturo Nava, Juan José Gajón, Mario Martínez, Omar Morales, Jazmín Roa, Cenobio Chávez, Elizabeth Cano, ..., quienes siempre están dispuestos a brindarme su apoyo y amistad.

# MAMOGRAFÍA: MEDICIÓN DEL PUNTO FOCAL Y RESOLUCIÓN DIGITALIZANDO IMÁGENES DE UNA CÁMARA DE RENDIJA Y UN PATRÓN DE BARRAS PARALELAS

INTRODUCCIÓN.....	i
-------------------	---

## CAPÍTULO I PRINCIPIOS BÁSICOS DE MAMOGRAFÍA E IMAGEN

1.1 Equipo de mamografía.....	1
A. Tubo de rayos X.....	2
B. Producción de rayos X para mamografía.....	2
C. Colimación.....	3
D. Compresión.....	4
E. Rejilla antidispersora.....	4
F. Control Automático de Exposición (CAE).....	4
1.2 Punto focal.....	4
1.3 Problemas para la medición del punto focal.....	9
A. Importancia de medir con exactitud el punto focal.....	9
B. Intentos por medir con exactitud el punto focal.....	10
1.4 Características de la imagen.....	12
A. Resolución espacial.....	12
B. Nitidez.....	12
C. Densidad óptica.....	13
D. Contraste.....	13
1.5 Cámara de rendija.....	14
1.6 Patrón de estrella.....	18
1.7 Patrón de barras paralelas.....	20
A Medición del punto focal.....	20
B Medición de la resolución espacial.....	20
1.8 Pantalla intensificadora.....	22
1.9 Película mamográfica.....	23
1.10 Curva característica.....	24
1.11 Proceso de revelado.....	25
A. Revelado.....	26
B. Fijado.....	26
C. Lavado.....	27

## CAPÍTULO II FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DIGITALIZADOR (ESCÁNER)

2.1 Funcionamiento de los CCD (Charge Couple Device).....	28
A. Construcción y operación de un CCD.....	28
B. Conceptos básicos de un CCD.....	29
2.2 Arreglo lineal de CCD.....	30
2.3 Características básicas de los digitalizadores.....	31



2.4 Resolución.....	31
2.5 Mapco de la imagen.....	32
2.6 Cuantización del color.....	33
2.7 Interfaces.....	33
2.8 Tipos de digitalizadores.....	33
A. Digitalizador de cama plana.....	33
B. Digitalizador de película (transmisión).....	34

### **CAPÍTULO III MÉTODO EXPERIMENTAL**

3.1 Soporte para cámara de rendija.....	36
3.2 Método de medición.....	40
A. Tamaño del punto focal con cámara de rendija.....	40
B. Tamaño del punto focal con patrón de estrella.....	41
C. Tamaño del punto focal con patrón de barras.....	41
D. Resolución con patrón de barras.....	41
3.2 Equipo utilizado.....	43
3.3 Análisis de las mediciones.....	44
A. Análisis visual de las imágenes por dos observadores diferentes.....	44
B. Análisis de las imágenes usando el digitalizador Coolscan III (LS-30), Nikon.....	45

### **CAPÍTULO IV RESULTADOS**

4.1 Imágenes obtenidas.....	46
4.2 Resultados de las mediciones realizadas con la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras.....	48
A. Tamaño de punto focal con cámara de rendija.....	48
B. Tamaño del punto focal con patrón de estrella.....	51
C. Tamaño del punto focal con patrón de barras.....	51
D. Resolución con patrón de barras.....	58
E. Resultados de las mediciones realizadas con la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras, de acuerdo con las mediciones del observador OH.....	63

### **CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

5.1 Tamaño del punto focal.....	67
A. Cámara de rendija.....	67
B. Patrón de estrella.....	70
C. Patrón de barras.....	70

5.2 Resolución.....	74
5.3 Conclusiones.....	77
5.4 Trabajo a futuro.....	78

## REFERENCIAS

Referencias.....	79
------------------	----

## ANEXOS

1. Procedimiento y formato para medir el tamaño del punto focal digitalizando imágenes de una cámara de rendija.....	A
Procedimiento: Evaluación del tamaño del punto focal usando una cámara de rendija.....	A-1
Formato: Evaluación del tamaño del punto focal usando una cámara de rendija.....	A-7
2. Procedimiento y formato para determinar el tamaño del punto focal usando un patrón de estrella.....	B
Procedimiento: Medición del punto focal usando un patrón de estrella.....	B-1
Formato: Evaluación del tamaño del punto focal usando un patrón de estrella.....	B-4
3. Procedimiento y formato para determinar la resolución espacial digitalizando imágenes de un patrón de barras paralelas.....	C
Procedimiento: Evaluación de la resolución espacial usando un patrón de barras paralelas.....	C-1
Formato: Evaluación de la resolución espacial usando un patrón de barras paralelas.....	C-4
4. Descripción y esquema de la cámara de rendija utilizada.....	D
Descripción de la cámara de rendija.....	D-1
5. Características del digitalizador (escáner) utilizado:	E
Coolsan III (LS-30), de marca Nikon.....	E-1
Descripción del digitalizador (escáner) Coolsan III (LS-30), de marca Nikon.....	E-1

## INTRODUCCIÓN

En México, el cáncer mamario ocupa el segundo lugar en la mortalidad de mujeres por este tipo de padecimientos, superado tan sólo por el cáncer cérvico-uterino. Las estadísticas reportan que aproximadamente 1 de 8 mujeres desarrollará cáncer de mama a lo largo de su vida, lo que implica que cada día es mayor la necesidad de realizar estudios de mamografía, incrementándose con ello el uso de equipos destinados a producir radiografías de mama.

La mamografía es un examen radiográfico que puede ser dividido en dos categorías, escrutinio y diagnóstico. La revisión sirve para la detección temprana de cáncer a través de la observación de la formación de lesiones no palpables en mujeres sanas, dentro de las cuales se encuentran las microcalcificaciones. Estas pueden ser el único hallazgo en lesiones malignas y aparecen en la imagen como pequeños grupos de motas blancas no pertenecientes a la anatomía regular de la mama, la cual consiste principalmente de tejido glandular y adiposo. El examen de diagnóstico arroja información acerca de la localización de un tumor canceroso.

La mamografía requiere de imágenes de alto contraste y alta resolución para un buen diagnóstico, debido a los sutiles cambios que las condiciones patológicas introducen en la imagen mamográfica. La producción de dichas imágenes es una tarea compleja y difícil. Las mamografías de baja calidad disminuyen la tasa de detección temprana de cáncer de mama, reduciendo las oportunidades de sobrevivida de las pacientes y minando la confianza del público en el valor de la mamografía. Además, al visualizar las mamografías, la correcta identificación de las microcalcificaciones es una valiosa ayuda para el diagnóstico de la detección temprana de cáncer, especialmente en un programa de escrutinio. Sin embargo, los controles actuales destinados a cuantificar la resolución de un equipo de mamografía resultan ser altamente subjetivos al estar sujetos a la interpretación ocular de cada individuo. Esto debido a que, para medir la resolución espacial, usualmente se toma en el equipo de mamografía, una radiografía de un patrón de barras, y a continuación con la ayuda de una lupa se reporta el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm), que un observador alcanza a visualizar. Es fácil entender que esta medida dependerá de la capacidad ocular de cada observador y resulta así una medida muy subjetiva. Por esto, es importante ser capaz de medir el tamaño del punto focal con exactitud, ya que éste tiene gran influencia en la resolución espacial y en la visibilidad de objetos pequeños, así como también cuantificar objetivamente la resolución espacial de un equipo de mamografía, a través de un patrón de barras usando un método reproducible y objetivo, independiente del observador.

Existen 4 técnicas (cámara "pinhole", cámara de rendija, patrón de estrella y patrón de barras) que son comúnmente usadas para medidas de punto focal. El Colegio Estadounidense de Radiología (ACR) [AC99], recomienda el uso de una cámara de rendija

y un patrón de barras paralelas (en adelante denominado patrón de barras) como métodos empleados para pruebas de aceptación de nuevas unidades de mamografía, y después sólo el patrón de barras para controles de calidad de rutina. A partir de esto las radiografías de la cámara de rendija y el patrón de barras son visualizadas por un observador, lo que implica cierto grado de subjetividad.

Los objetivos de este trabajo son:

- a) Obtener imágenes radiográficas de la cámara de rendija y el patrón de barras en un equipo de mamografía; digitalizar estas imágenes con la ayuda de un digitalizador (escáner) con una adecuada resolución óptica (referirse al capítulo 2), procediendo posteriormente, con ayuda de un programa de cómputo comercial, a visualizar estas imágenes en un monitor y realizar una evaluación visual para obtener el tamaño del punto focal y el valor de la resolución, disminuyendo así el grado de subjetividad.
- b) Establecer procedimientos para la correcta toma de las imágenes radiográficas, su digitalización y su evaluación visual en un monitor.

Para lograr estos objetivos se necesita un soporte especial para la cámara de rendija a fin de obtener imágenes radiográficas adecuadas de la misma. Las imágenes de la cámara de rendija y el patrón de barras son evaluadas mediante el uso de una lupa (5X) por un primer observador para la obtención del tamaño del punto focal y la resolución. Con este mismo objetivo, estas mismas imágenes son digitalizadas, visualizadas y evaluadas en un monitor. Estas mismas imágenes son evaluadas mediante el uso de una lupa por un segundo observador. Al final se comparan los resultados obtenidos por cada uno de los observadores y aquellos generados a partir de la digitalización.

En el capítulo 1 se analizan los principios básicos de mamografía e imagen, así como también la teoría del punto focal, los problemas para su medición y los intentos por medirlo. También se presenta el funcionamiento de la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras. Finalmente se comenta la influencia de la película radiográfica, la pantalla intensificadora y el proceso de revelado en la resolución de la imagen radiográfica de los patrones utilizados.

En el capítulo 2 se discute el tipo y el funcionamiento del escáner que se requiere para digitalizar las imágenes radiográficas producidas.

En el capítulo 3 se presenta el método experimental empleado para la toma de las imágenes radiográficas y su digitalización.

En el capítulo 4 se presentan los resultados de las pruebas, obtenidos siguiendo los procedimientos presentados en el capítulo anterior.

En el capítulo 5 se discuten los resultados y se presentan las conclusiones.

**En los anexos se presentan los procedimientos y los formatos tanto para medir el tamaño del punto focal usando una cámara de rendija, un patrón de estrella y un patrón de barras, como para medir la resolución espacial del sistema de mamografía a través de un patrón de barras.**

## CAPÍTULO I PRINCIPIOS BÁSICOS DE MAMOGRAFÍA E IMAGEN

A continuación se presentan los conceptos y principios básicos del equipo de mamografía, la formación de imagen, punto focal, resolución y los métodos para su medición. El contenido de este capítulo se basa principalmente en las siguientes referencias: [Ba91], [Ta95], [AC99], [La93], [Ev87], [Do98], [Sp87] y [Cu90].

### 1.1 EQUIPO DE MAMOGRAFÍA

La formación de una imagen mamográfica se logra mediante un haz de rayos X que atraviesa la mama de la paciente y que finalmente incide sobre una película radiográfica. Para tal efecto se utiliza un equipo exclusivo para mamografía que se ilustra en la figura 1.1.

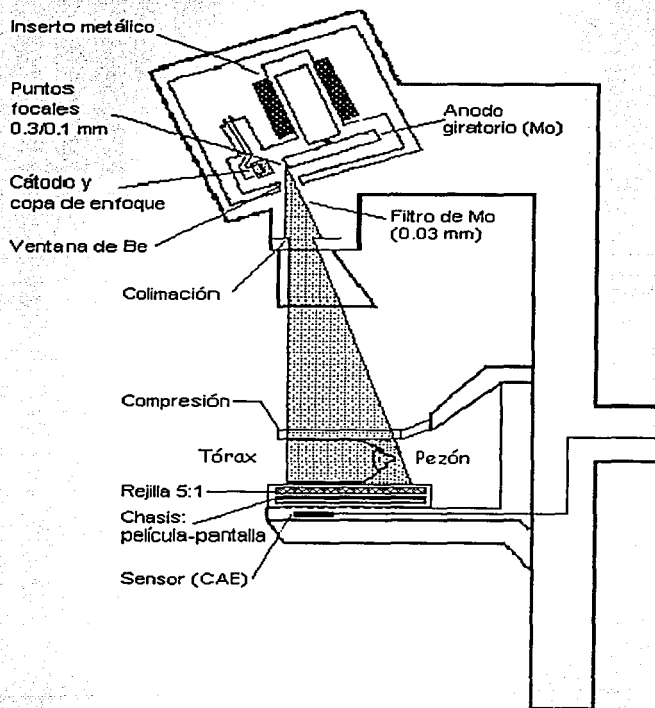


Figura 1.1. Sistema dedicado a mamografía. Se aprecia en detalle el tubo de rayos X en la parte superior del sistema, y demás componentes y accesorios. Se presenta una mama comprimida.

### A. Tubo de rayos X

Un tubo de rayos X consiste de un tubo de vidrio sellado y evacuado, que en su interior contiene dos electrodos que se mantienen a una diferencia de potencial (ver figura 1.2). Un electrodo es el cátodo el cual se encuentra a un potencial negativo y contiene un filamento que se calienta y emite electrones (emisión termoiónica). El otro electrodo es el ánodo; éste se encuentra a un potencial positivo y cuenta con un blanco metálico. En este blanco es donde chocan los electrones emitidos por el cátodo al ser acelerados por la diferencia de potencial entre los electrodos, para producir los rayos X. La energía de los rayos X es proporcional a la tensión aplicada al tubo; la intensidad del haz de rayos X depende de la diferencia de potencial y de la corriente en el tubo (flujo de electrones). Sin embargo, para las tensiones utilizadas en mamografía, algunos de los electrones emitidos por el cátodo no son atraídos por el ánodo y forman una carga espacial. Este incremento de electrones en la vecindad del cátodo repele a los electrones que se encuentran en la superficie del filamento reduciéndose su emisión. Bajo estas condiciones se dice que la corriente del tubo de rayos X está limitada por la carga espacial; este efecto puede reducirse acercando ambos electrodos e instalando circuitos de compensación que minimicen la presencia de la carga espacial.

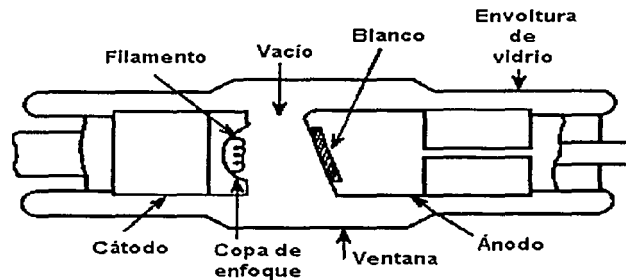


Figura 1.2. Diagrama de un tubo de rayos X.

### B. Producción de rayos X para mamografía

Los tejidos glandular y adiposo, así como los tumores cancerosos tienen coeficientes de atenuación muy similares, que presentan su mayor diferencia cuando son irradiados con rayos X de bajas energías, entre 15 y 22 keV. Para producir estos últimos se utilizan tubos de rayos X con blancos de molibdeno (Mo) o rodio (Rh), los que al ser irradiados con electrones generan rayos X característicos con energías adecuadas. El espectro de emisión de un tubo de rayos X con blanco de molibdeno se muestra en la figura 1.3, donde puede verse que existe también una componente de radiación de frenado.

En la mayoría de los equipos de mamografía se utiliza un blanco de molibdeno con filtro de molibdeno o rodio. El filtro se utiliza para detener parte de los rayos X de frenado de baja energía, ya que éstos no contribuyen satisfactoriamente a la formación de la imagen y sí a la dosis impartida al tejido. Además los filtros mencionados anteriormente atenúan también parte de los rayos X de frenado con energías superiores a las de la radiación característica;

lo que implica la disminución de la cantidad de rayos X para los cuales no existe una diferenciación significativa en los coeficientes de atenuación de los diferentes tejidos. En la figura 1.4 se presenta el espectro del molibdeno el cual presenta rayos X característicos cercanos a lo deseado y cómo se modifica al utilizar un filtro de molibdeno.

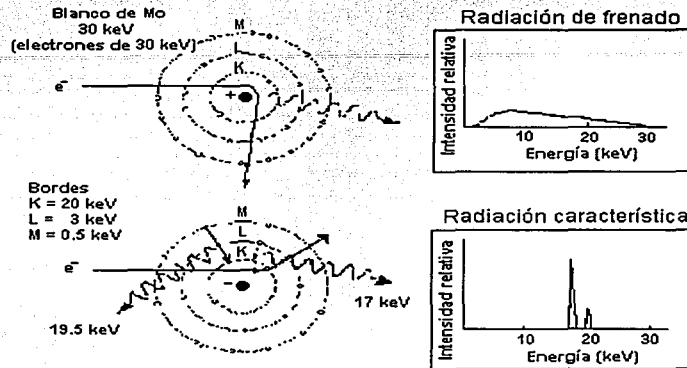


Figura 1.3. Rayos X producidos por un equipo de mamografía, lo que incluye rayos X de frenado y característicos. Los rayos X característicos del molibdeno tienen energías muy cercanas a las óptimas necesarias para la detección de lesiones de bajo contraste.

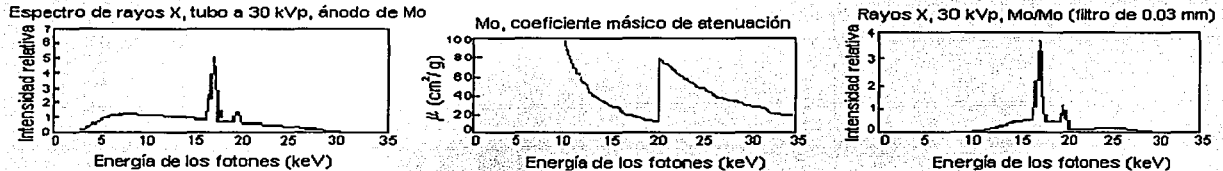


Figura 1.4. Espectro del Mo y Mo/Mo.

Una vez que se obtiene el haz de rayos X adecuado se debe utilizar otra serie de accesorios para obtener la imagen, tales como los que se pueden apreciar en la figura 1.1 y que se describen a continuación.

### C. Colimación

Es necesario colimar el haz de rayos X producido para que éste incida sobre toda el área de la película mamográfica, y que a la vez coincida con el haz de luz. El haz de luz sirve para visualizar el área de irradiación y proporcionar ayuda a las técnicas radiólogas al momento de colocar correctamente la mama de la paciente dentro del área de irradiación. También, la colimación de los rayos X para que incidan sobre toda la placa ayuda al diagnóstico médico, proporcionando un oscurecimiento de la película en toda el área externa a la imagen de la mama, lo que mejora la visualización de la imagen al realizar su interpretación.



#### D. Compresión

La mama debe ser comprimida para “esparcir” el tejido mamario y ayudar a la diferenciación visual de la anatomía de la mama, ya que una radiografía es simplemente una proyección de un objeto tridimensional sobre un plano (la película). En caso de no comprimir adecuadamente a la mama se puede ocultar algún tejido o lesión. Además, la compresión ayuda a prevenir el movimiento de la paciente lo que originaría una imagen borrosa.

#### E. Rejilla antidispersora

Se utiliza una rejilla antidispersora localizada justamente arriba del chasis que guarda y protege de la luz a la película mamográfica. La función de la rejilla antidispersora es no permitir la incidencia sobre la película mamográfica de radiación dispersa debido al paso del haz primario de rayos X a través de la mama, lo que reduce la cantidad de radiación que incide sobre la película. Lo anterior hace necesario aumentar la cantidad de rayos X proporcionada por el equipo para lograr obtener una imagen mamográfica aceptable, es decir, con el contraste y la densidad óptica adecuados para emitir el diagnóstico médico. Esto implica un aumento de hasta tres veces en la dosis impartida a la mama de la paciente, pero el aumento de dosis como consecuencia de la presencia de la rejilla antidispersora se ve justificado, ya que gracias a ella se obtienen imágenes mamográficas de mejor calidad al mejorar el contraste y la nitidez.

#### F. Control automático de exposición (CAE)

Existe un sistema electrónico llamado Control Automático de Exposición (CAE), que es el que regula el tiempo que dura una exposición y la finaliza, de acuerdo, entre otras cosas, con los valores de espesor de mama comprimida y el control de densidad óptica que las técnicas radiólogas programan en el panel de control. El objetivo del CAE es asegurar que la película recibe el mínimo adecuado de fotones para generar una imagen de buena calidad.

### 1.2 PUNTO FOCAL

Se define al punto focal como la zona del ánodo donde inciden los electrones provenientes del cátodo. Esta zona también se conoce como punto focal real o verdadero. Existe también un punto focal efectivo o aparente que consiste en la proyección del punto focal verdadero en la dirección de salida del haz (ver figura 1.5). Existen además, diferentes tamaños del punto focal, como los denominados fino ( $\approx 0.1$  mm) y grueso ( $\approx 0.3$  mm); mientras más pequeño es el tamaño del punto focal, mayor es la resolución que puede obtener el equipo.

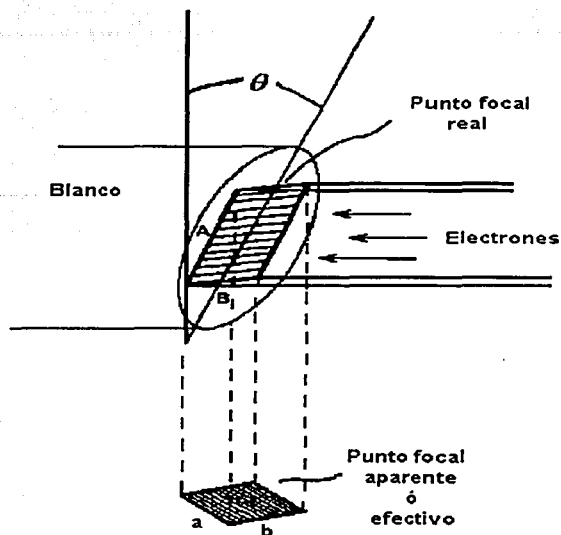


Figura 1.5. Punto focal real y efectivo.

En mamografía el punto focal y el eje central del haz se colocan del lado de la pared del tórax. Se usa también un eje de referencia para especificar la dimensión del punto focal efectivo, el cual bisecta el campo de irradiación detectado. El ángulo del eje de referencia depende del ángulo del ánodo y del ángulo de inclinación del tubo. En la figura 1.6 se presentan el eje de referencia, el ángulo de referencia y el ángulo del blanco.

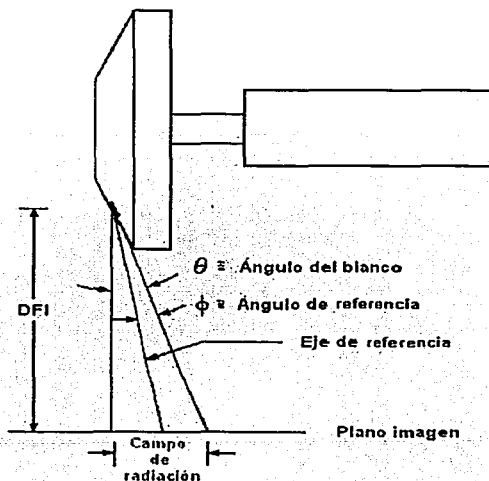


Figura 1.6. Geometría de un tubo de rayos X para mamografía. DFI significa la distancia fuente imagen.

[Ba91]

El principio de línea focal es empleado en radiografía para obtener un tamaño de punto focal pequeño a partir de un punto focal grande y resulta en la variación del tamaño y forma del punto focal a través del campo de radiación. Esta variación es ilustrada en la figura 1.7. En mamografía el tubo de rayos X puede fijarse a una inclinación relativa al receptor de imagen, y el tamaño de punto focal es especificado por el fabricante a un ángulo de referencia relativa al blanco (figura 1.6). En general, pero no siempre, el eje de referencia se encuentra en el centro del campo de radiación. Por ejemplo, para unidades con blanco de  $16^\circ$  y una inclinación de  $6^\circ$  (el ángulo efectivo del blanco es  $22^\circ$ ), el eje de referencia está especificado a  $11^\circ$ . En otro ejemplo, cuando el tubo está montado horizontalmente, el punto focal grueso tiene un ángulo de blanco de  $0^\circ$  y el punto focal fino de  $-9^\circ$ . Si para este mismo ejemplo el tubo está inclinado  $24^\circ$ ; los ángulos de blanco asociados con el punto focal grueso y fino son  $24^\circ$  y  $15^\circ$  respectivamente. Entonces, los ejes de referencia asociados con el punto focal grueso y fino son  $12^\circ$  y  $7.5^\circ$  respectivamente (ver figura 1.8). Usualmente el eje de referencia en el punto focal fino se encuentra más cerca del tórax.

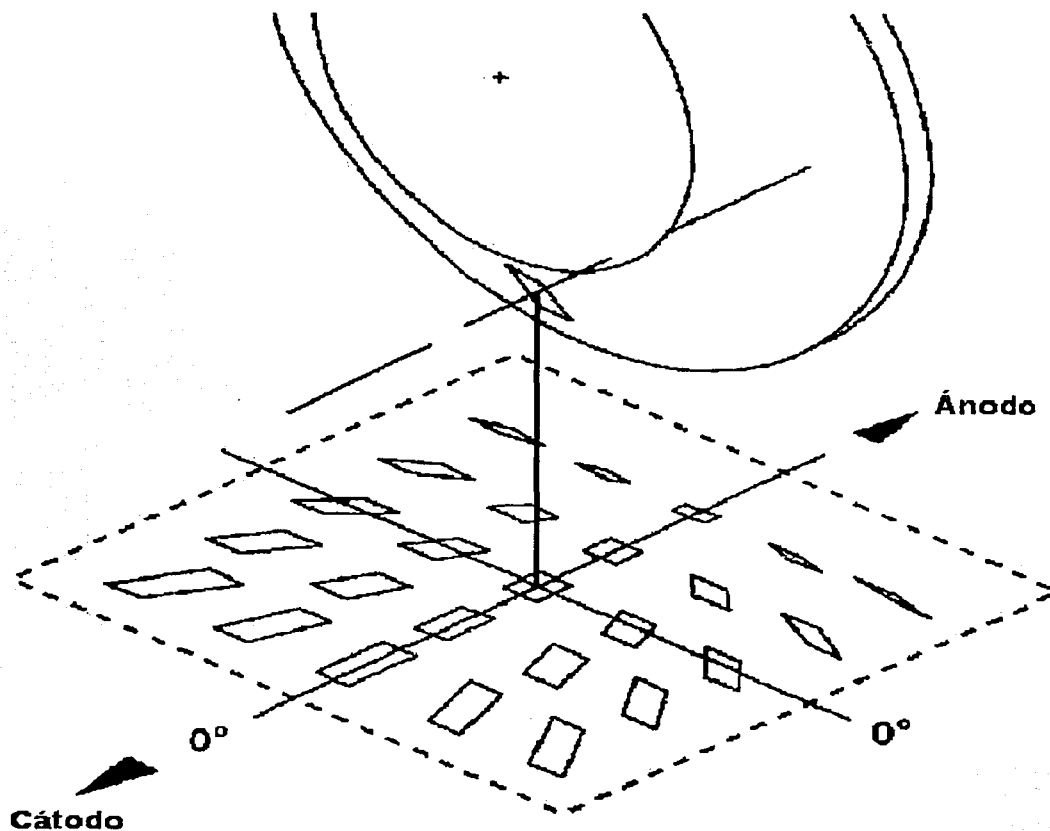


Figura 1.7. Variación de la forma y tamaño del punto focal con la posición. [Ba91]

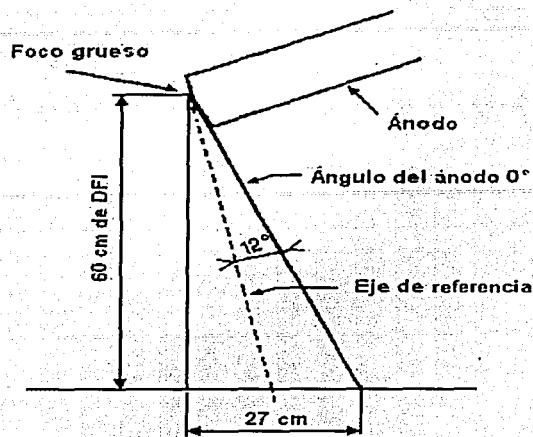


Figura 1.8 a. Geometría y eje de referencia para un tubo de rayos X de mamografía con punto focal grueso. [Ba91]

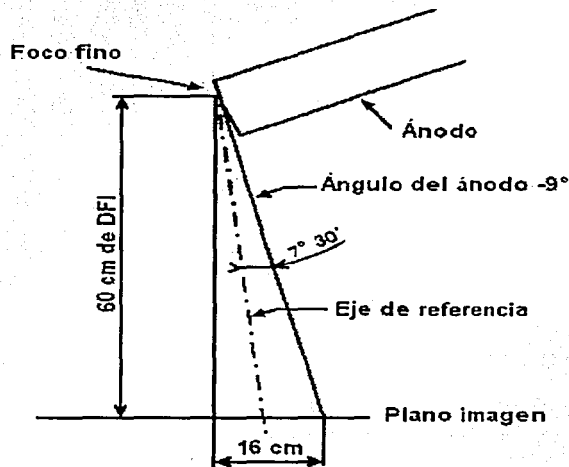


Figura 1.8 b. Geometría y eje de referencia para un tubo de rayos X de mamografía con punto focal fino. [Ba91]

En la figura 1.9 se grafica la variación en la longitud del punto focal proyectado a lo largo del eje ánodo-cátodo en el plano de la imagen para diferentes tamaños de punto focal y ángulos de blanco que son típicos para unidades de mamografía. De interés es que en cada caso el largo del punto focal efectivo se incrementa por un factor de dos en el lado del tórax relativo al eje de referencia. El interés práctico es que la mayor parte de la imagen de la mama, ocurre cerca del tórax donde la longitud del punto focal es considerablemente más

grande que para el ángulo de referencia. La línea C en la figura 1.9 demuestra la ventaja de que el eje de referencia se encuentre más cerca del tórax.

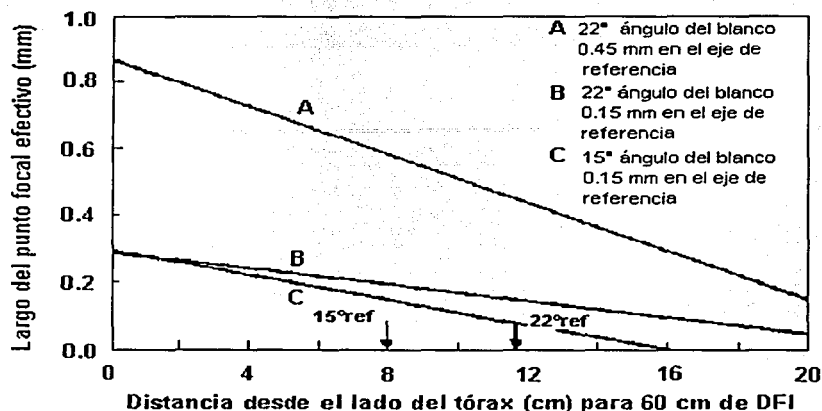


Figura 1.9. Longitud del punto focal efectivo contra la posición en el campo de radiación, para longitudes del punto focal de 0.15 mm y 0.45 mm, ángulo de blanco efectivo 22° (11° de referencia) y para longitud del punto focal de 0.15 mm, ángulo de blanco efectivo 15° (7.5° de referencia). [Ba91]

La resolución y óptima calidad de la imagen, necesarias en mamografía, requieren el uso de puntos focales muy pequeños (figura 1.10). Los tamaños de punto focal real típicos varían de 0.3 a 0.4 mm para imágenes normales y de 0.1 a 0.15 mm para imágenes amplificadas. Para equipos con distancias foco-imagen (DFI) de 60 cm o menores se necesita un punto focal de 0.3 mm. Para distancias mayores un punto focal de 0.4 mm es suficiente, debido a que para una mayor DFI se reduce la amplificación y por consiguiente se reduce la influencia del punto focal sobre la resolución (figura 1.11).

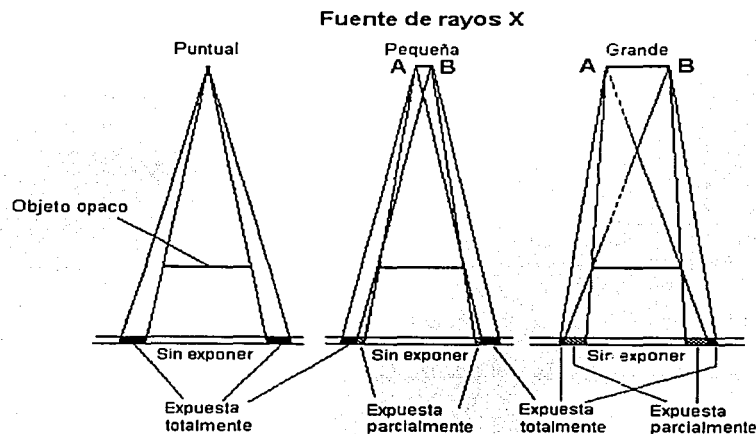


Figura 1.10. Efecto del tamaño de punto focal sobre la resolución y nitidez de la imagen.

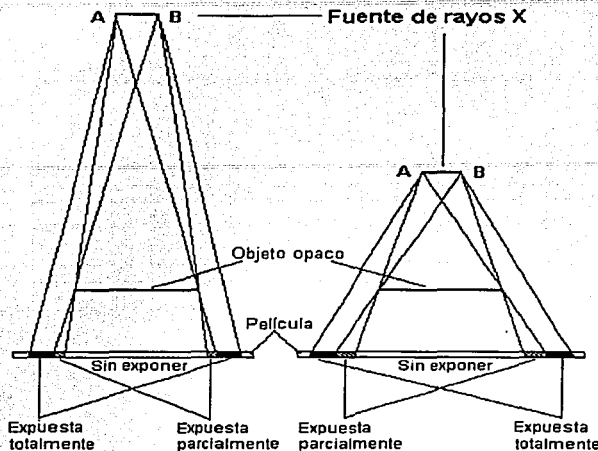


Figura 1.11. Efecto de la distancia foco-imagen (DFI) sobre la resolución y nitidez de la imagen. Se aprecia que al aumentar la DFI para un mismo tamaño del punto focal la zona expuesta parcialmente (penumbra) disminuye.

### 1.3 PROBLEMAS PARA LA MEDICIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL

Existen 4 técnicas (cámara "pinhole", cámara de rendija, patrón de estrella y patrón de barras), que son comúnmente usadas para medidas de punto focal. El pinhole tiene la ventaja de que provee una imagen bidimensional de la distribución de la intensidad de los rayos X del punto focal. Sin embargo, las imágenes de pinhole son difíciles de obtener y de interpretar. Las imágenes del patrón de estrella son fáciles de obtener. Sin embargo su interpretación supone una distribución de las intensidades de los rayos X, provenientes del punto focal, similar a la de una función escalón. Si la distribución de las intensidades de los rayos X emitidos desde el punto focal difiere significativamente de una función escalón, las estimaciones del tamaño del punto focal son erróneas, y son imposibles de determinar si la distribución es gaussiana. Por estas razones la NEMA y la IEC (International Electrotechnical Comisión), recomiendan que para medir el tamaño de punto focal se use la cámara de rendija. El estándar de la NEMA [NE92], específicamente recomienda que para tubos de rayos X se use la cámara de rendija para medir el tamaño de punto focal; mientras que el estándar de la IEC [IE93], no especifica a la cámara de rendija como único equipo para medir el tamaño de punto focal.

#### A. Importancia de medir con exactitud el tamaño del punto focal.

Como se ha comentado anteriormente, la correcta visualización de una imagen mamográfica depende esencialmente de: a) la distancia entre el objeto y la imagen (DOI),

b) la distancia entre el foco y la imagen (DFI), y c) el tamaño del punto focal ( $a$ ), ver figuras 1.10, 1.11 y 1.12.

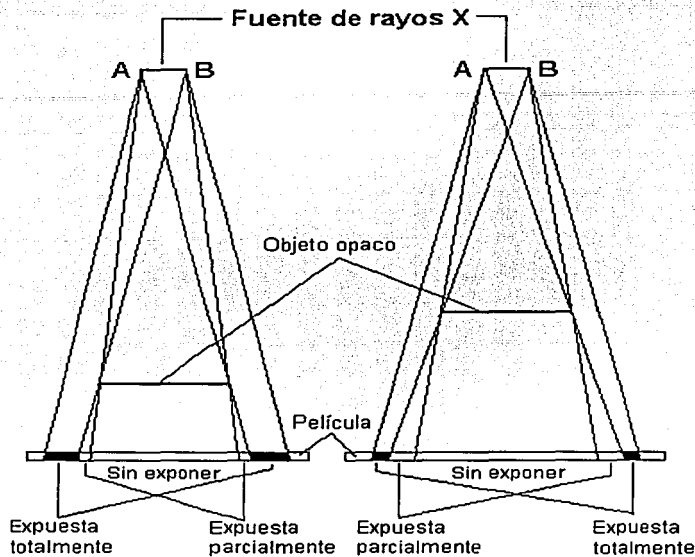


Figura 1.12. Efecto de la distancia objeto-imagen sobre la resolución y nitidez de la imagen.

La pérdida de detalle en la imagen se debe principalmente al tamaño del punto focal. El punto focal nunca podrá ser realmente puntual. La resolución óptima se logra manteniendo el tamaño del punto focal pequeño, la DFI grande y la DOI pequeña.

Se puede demostrar [Cu90] que estos parámetros se relacionan con la falta de nitidez por geometría ( $U_g$ ) a través de la ecuación:

$$U_g = \frac{(a)(DOI)}{(DFI - DOI)} \quad (1.1)$$

Debido a esto, el tamaño del punto focal ( $a$ ) influye en la resolución espacial del sistema de mamografía, razón por la cual su tamaño debe ser medido con exactitud.

#### B. Intentos por medir con exactitud el tamaño del punto focal.

J. Law midió el tamaño de punto focal en varias unidades de mamografía empleando cámara de rendija, pinhole y patrón de resolución [La93]. Él obtuvo buen acuerdo entre las tres técnicas, presentó las estimaciones de los errores y notó que con la cámara de rendija,

podían presentarse errores aleatorios de las medidas a partir del tamaño de la imagen de la rendija, el factor de amplificación y la alineación de la rendija con el eje de referencia.

El estándar de la NEMA provee especificaciones operacionales para mediciones del tamaño de punto focal en mamografía. Éstas se presentan en la tabla 1.1. S. Tang y G. T. Barnes [Ta95] analizan estas especificaciones y encuentran que dos de estos criterios no pueden llevarse a cabo fácilmente en la práctica. La alineación del largo de la rendija, perpendicular a la dirección del eje de medición (haz perpendicular al portachasis), en un  $\pm 0.5^\circ$  puede ser realizada, pero es tediosa y en el caso de la medición del ancho, requiere la imagen de un pinhole como referencia. Un factor de amplificación de 4 no puede ser obtenido típicamente sin desmontar la unidad y no es, por lo tanto, una especificación práctica de medición. Tang y Barnes encuentran que los errores que aparecen en la determinación del tamaño del punto focal, ocurren principalmente en la producción de la imagen como la alineación de la rendija o el receptor de imagen. Pero que el origen más grande de error se debe a la variabilidad entre observadores en determinar el ancho de la imagen de la cámara de rendija. Esta incerteza es mucho mayor que los errores que aparecen debido a inclinaciones de la cámara de rendija con respecto al plano de medición y a desalineaciones debido a la rotación de la cámara de rendija.

**Tabla 1.1.** Resumen de las especificaciones de la NEMA para mediciones con cámara de rendija de las dimensiones del punto focal en tubos de rayos X para mamografía [Ta95].

Parámetro	Especificaciones para la medida	Realizable en la práctica
Tensión en el tubo de rayos X	30 kVp	Sí
Corriente en el tubo de rayos X	Tasa de corriente máxima permitida para 30 kVp y 1 s de exposición para la más alta velocidad de rotación del ánodo	Sí
Forma de la onda de kV	Trifásica o a potencial constante	Sí
Alineación de la rendija	El largo de la rendija normal a la dirección del eje de medición en $\pm 0.5^\circ$	Difícil y tedioso
	El plano de la rendija (y la película) normal al eje de medición en un $\pm 0.5^\circ$	Sí
Factor de amplificación	4X para tamaño de punto focal $\leq 0.3$ mm	No
Variación en el factor de amplificación	$\leq \pm 5\%$ sobre la longitud nominal del punto focal	Sí
Receptor de imagen	Película de grano fino para rayos X diseñada para exposición sin pantalla intensificadora	Sí
Densidad de imagen	Microscopio de 5X o 10X con retícula de divisiones de 0.1 mm	Sí
Medidas de la imagen	La película debería ser observada con una iluminación entre 1300 y 1600 cd/m <sup>2</sup>	Sí

El Colegio Estadounidense de Radiología (ACR) [AC99], establece que en caso de que no se pase la prueba de resolución espacial y el tamaño de punto focal sea una posible causa, entonces el punto focal debe determinarse usando una cámara de rendija. Las especificaciones para su medición involucran que la cámara de rendija se encuentre lo más cerca posible al punto focal para una amplificación máxima y el uso de película radiográfica (exposición directa o película-pantalla) para la obtención de una imagen



radiográfica de la cámara de rendija. Se deben obtener dos imágenes de la rendija; una con la rendija paralela al eje ánodo-cátodo y otra perpendicular.

#### 1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA IMAGEN

A continuación se presentan algunas características importantes de una imagen.

##### A. Resolución espacial

La resolución de un sistema consiste en la capacidad de apreciar en una imagen dos objetos pequeños y cercanos como dos entidades ajenas entre sí. A mayor poder de resolución se pueden colocar más cerca dichos objetos sin que sus imágenes se traslapen (figura 1.13). La resolución del sistema de imagen está influenciada por el desempeño del equipo de rayos X y el comportamiento del receptor de imagen.

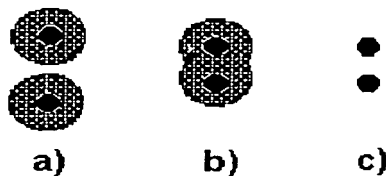


Figura 1.13. a) Imágenes de puntos pobremente definidas se resuelven si los puntos están bastante alejados. b) Con puntos menos separados las imágenes no se resuelven. c) Con la misma separación que en b), las imágenes de los mismos puntos se resuelven si su definición es mayor.

##### B. Nitidez

La nitidez es la capacidad de un sistema, en este caso una combinación película-pantalla, de delinear un borde. Como se explicará más adelante, existe la incapacidad de una combinación película-pantalla de registrar un borde perfectamente delineado debido a la difusión de la luz ocasionada por la pantalla.

La falta de nitidez de un sistema de imagen proviene principalmente de cuestiones geométricas y radiográficas.

La falta de nitidez geométrica como se comentó anteriormente depende esencialmente de la DOI, la DFI y el tamaño de punto focal, los cuales se pueden relacionar de acuerdo con la ecuación 1.1. (ver figuras 1.10, 1.11 y 1.12)

La falta de nitidez radiográfica se debe a la falta de un buen contacto entre la pantalla y la película, así como a la difusión de la luz a través de la pantalla. También se asocia al uso de la rejilla antidispersora. Las pantallas usadas en mamografía aportan la máxima resolución posible ya que la difusión de la luz a lo largo de ellas es pequeña debido a su poco espesor.

### C. Densidad óptica

La densidad óptica (DO) de la película radiográfica se define como el logaritmo del cociente de la intensidad luminosa de una fuente entre la intensidad luminosa que pasa a través de la película, tal como se muestra en la figura 1.14.

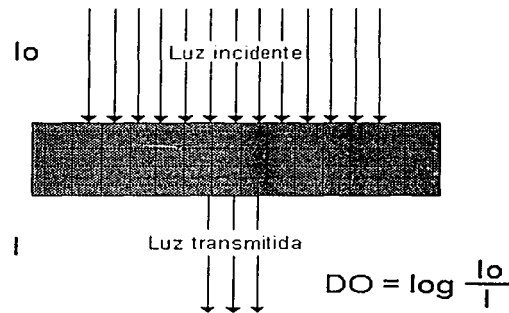


Figura 1.14. Densidad óptica.

### D. Contraste

Contraste significa diferencia. En una imagen el contraste se presenta en la forma de diferencias en las densidades ópticas, en los tonos de gris o en la brillantez (figura 1.15). El contraste es la característica más importante de una imagen. Sin embargo, si una imagen está demasiado contrastada generalmente no es útil y en la mayoría de los casos es indeseable. En una imagen radiográfica el contraste puede ser expresado como:  $C = DO_2 - DO_1$  o alternativamente  $C = (DO_2 - DO_1) / DO_2$ .

El contraste físico de un objeto puede representar una o varias diferencias en las características de los tejidos. En radiografía los objetos pueden distinguirse de sus alrededores si cuentan con la diferencia adecuada ya sea en densidad, número atómico (composición), o espesor. La relación entre el grado de contraste requerido para la visualización y para el brillo del entorno está influenciado por el tamaño del objeto. Los objetos pequeños requieren un alto nivel de contraste o incremento de la luminosidad del entorno para ser detectados.

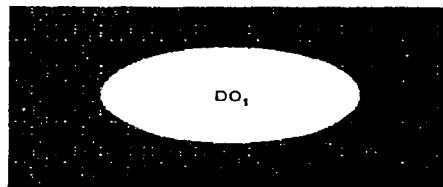


Figura 1.15. Contraste.

## 1.5 CÁMARA DE RENDIJA

La cámara de rendija es un instrumento para medir el tamaño del punto focal de un sistema de imagen radiográfico. Su funcionamiento involucra la obtención de una imagen radiográfica en el sistema que se desea analizar. El punto focal puede estimarse de esta imagen al emplear la expresión:

$$a_{l,a} = \frac{I_{l,a} - sM}{M - 1} \quad (1.2)$$

Donde  $a$  se refiere al tamaño de punto focal calculado,  $I$  a la dimensión medida del punto focal en la imagen,  $s$  al ancho de la rendija ( $s \approx 10 \mu\text{m}$ ), los subíndices  $l$  y  $a$  al largo y ancho del punto focal, y  $M$  al factor de amplificación geométrica de la rendija (distancia foco-imagen dividida entre la distancia foco-rendija). El denominador ( $M-1$ ) es el factor de "alargamiento" de la imagen de la cámara de rendija. En la figura 1.16 se presenta un diagrama ilustrando la disposición de la cámara de rendija para la medición.

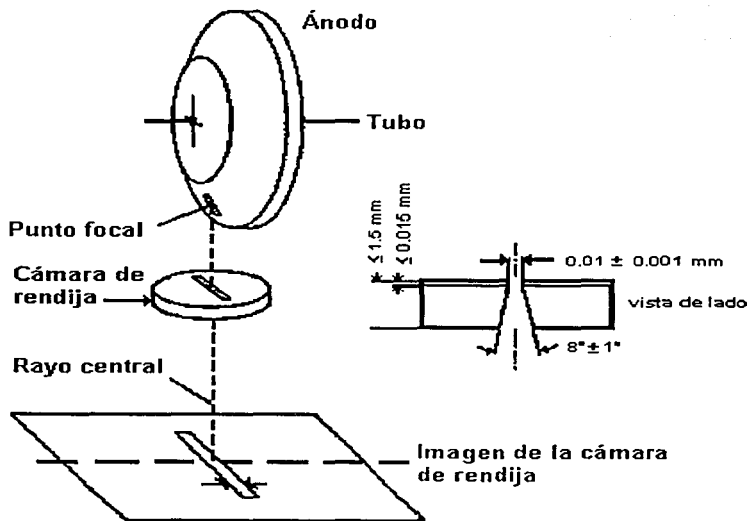


Figura 1.16. Geometría de la técnica de la cámara de rendija. El eje ánodo-cátodo es de izquierda a derecha. Con el eje de la cámara de rendija ortogonal al eje ánodo-cátodo, tal como se muestra en la figura, es posible medir el largo del punto focal. [Ta95]

Un problema práctico con la cámara de rendija en mamografía es la dificultad de obtener factores de amplificación mayores que 2 ( $\cong 4$ ), tal como lo pide la NEMA (ver tabla 1.1), lo que implicaría desmontar el colimador del sistema de mamografía o el receptor de imagen o el fototempORIZADOR.

Pueden asociarse además errores sistemáticos con la alineación incorrecta de la cámara de rendija con el eje ánodo-cátodo y con la determinación del factor de amplificación. Para medir el largo del punto focal, la rendija debería estar alineada de manera ortogonal al eje ánodo-cátodo del tubo de rayos X en  $\pm 3^\circ$ . Para medir el ancho, la rendija debería estar alineada con el eje ánodo-cátodo con una precisión similar. Estas alineaciones resultan ser tediosas y difíciles de realizar; sin embargo, para facilitar esta tarea existen soportes especiales para cámaras de rendija, que ayudan a alcanzar esta alineación. Un ejemplo de soporte y la forma de medición con la cámara de rendija se presenta en la figura 1.17. El factor de amplificación se determina midiendo la separación de dos agujeros en la imagen de la cámara de rendija, mismos que están separados por una distancia conocida en el plano de la rendija, y haciendo el cociente de esta distancia en el plano imagen entre la del plano de la rendija.

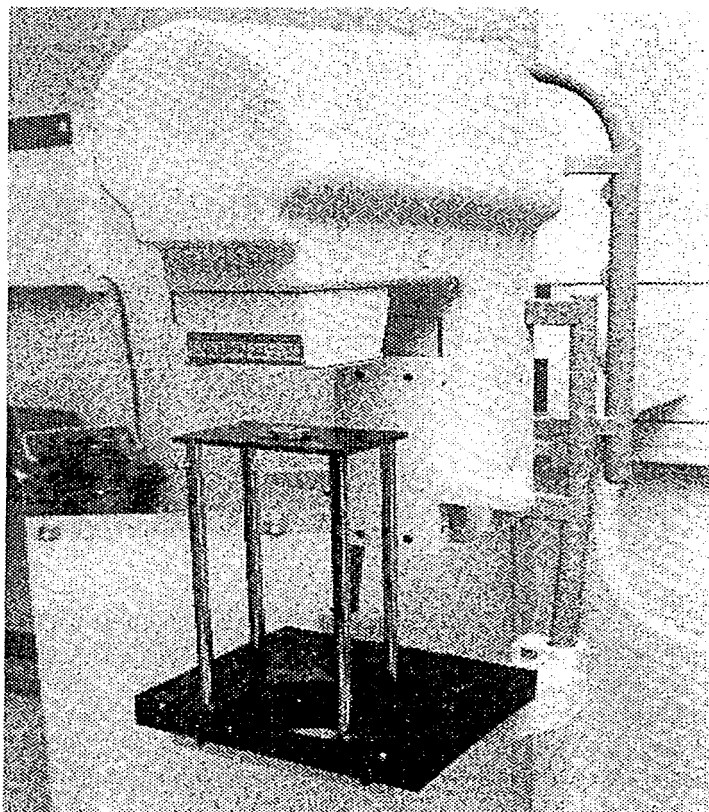


Figura 1.17. Colocación de la cámara de rendija usando un soporte para tomar una imagen del punto focal. [Ba91]

Se debe tener cuidado para asegurar que la posición efectiva de los agujeros (para obtener la amplificación), se encuentre en el mismo plano de la rendija.

En la práctica, las imágenes tomadas usando la cámara de rendija se obtienen en un plano paralelo al plano de la rendija y al del plano del porta-chasis. Sin embargo, el largo del punto focal no está especificado en este plano, sino en otro plano que es ortogonal al eje de referencia. En la figura 1.18 se muestra un diagrama ilustrando el ángulo  $\phi$  al cual se encuentra el eje de referencia, y  $\theta$  el ángulo efectivo del blanco del tubo de rayos X.

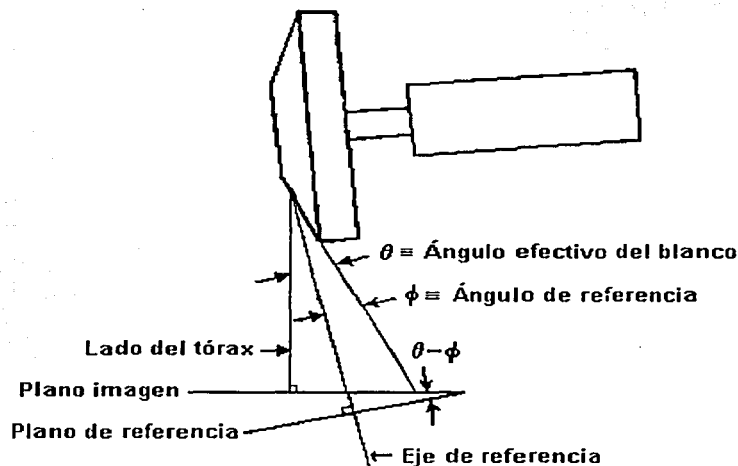


Figura 1.18. Geometría del tubo de rayos X y definición del ángulo y eje de referencia. El ángulo efectivo del blanco es la suma del ángulo del blanco mecánico y el ángulo de inclinación del tubo. El eje de medición de la cámara de rendija se determina por el ángulo efectivo del blanco y es perpendicular al plano de la imagen. [Ta95]

El ángulo del eje de referencia es el ángulo entre el eje del blanco del tubo de rayos X y el eje de referencia. El ángulo efectivo del blanco del tubo de rayos X se define como el ángulo entre el eje del blanco del tubo de rayos X y un rayo perpendicular al plano de la imagen. Este ángulo es típicamente la suma del ángulo de inclinación del tubo de rayos X y el ángulo del blanco del tubo de rayos X. La relación entre el largo del punto focal en el plano de referencia, el largo en el plano de medición de la imagen, el ángulo del eje de referencia y el ángulo efectivo del blanco del tubo de rayos X es:

$$a_{l,ref} = a_{l,med} \left( \frac{\text{sen } \phi}{\text{sen } \theta} \right) \quad (1.3)$$

El ancho medido del punto focal en el plano de la imagen es el mismo que el del plano de referencia (ver como ejemplo las imágenes centrales de la forma y tamaño del punto focal en la figura 1.7).

Como se indica en la ecuación (1.2), el ancho medido del punto focal depende de tres factores,  $I$ ,  $s$ ,  $M$ . Típicamente la dimensión de la cámara de rendija es muy pequeña (10  $\mu\text{m}$ ) y el segundo término del numerador de la ecuación (1.2) representa sólo una pequeña corrección al ancho del punto focal medido. La dimensión de la cámara de rendija generalmente está bien especificada y no contribuye a la incerteza del ancho y largo del punto focal medidos. Tang y Barnes hacen estimaciones de los errores en las mediciones del tamaño de punto focal y encuentran:

- La incerteza del ancho medido debido a las incertezas de  $I$  y  $M$ , que está dada por: [Ta95]

$$\sigma_{a_a}^2 = \frac{\sigma_{I_a}^2}{(M-1)^2} + \frac{(I_a - s)^2 \sigma_M^2}{(M-1)^4} \quad (1.4)$$

Donde  $\sigma_{a_a}$  es la incerteza del ancho del punto focal calculado,  $\sigma_{I_a}$  es la incerteza del ancho de la rendija medido en la imagen con la rendija paralela al eje ánodo-cátodo y  $\sigma_M$  es la incerteza del factor de amplificación.

- La incerteza en el largo del punto focal medido, que tiene un término adicional asociado con el hecho que el plano de medida podría no estar en el ángulo asumido.

$$\sigma_{a_{l,ref}}^2 = \left( \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \right)^2 \frac{\sigma_{I_l}^2}{(M-1)^2} + \left( \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \right)^2 \frac{(I_l - s)^2 \sigma_M^2}{(M-1)^4} + \left( \frac{\sin \phi}{\sin \theta} \right)^2 \frac{(I_l - sM)^2 \sigma_\theta^2}{\tan^2 \theta (M-1)^2} \quad (1.5)$$

En que  $\sigma_{a_{l,ref}}$  es la incerteza del largo del punto focal calculado en el plano de referencia,  $\sigma_{I_l}$  es la incerteza del ancho de la rendija medido en la imagen con la rendija perpendicular al eje ánodo-cátodo y  $\sigma_M$  es la incerteza del factor de amplificación.

- Ya que  $I_a$  e  $I_l$  (ancho y largo de punto focal medido en la imagen)  $\gg$   $s$  y  $sM$ , las ecuaciones (1.4) y (1.5) se reducen a:

$$\left( \frac{\sigma_{a_a}}{a_a} \right)^2 \approx \left( \frac{\sigma_{I_a}}{I_a} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_M}{M-1} \right)^2 \quad (1.6)$$

$$\left( \frac{\sigma_{a_{l,ref}}}{a_{l,ref}} \right)^2 \approx \left( \frac{\sigma_{I_l}}{I_l} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_M}{M-1} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_\theta}{\tan \theta} \right)^2 \quad (1.7)$$

Si  $M$  es  $\approx 3$  y con una buena técnica experimental, el factor de amplificación puede determinarse con una imprecisión del 1%, por lo que su contribución es despreciable con respecto a las incertezas de  $I_a$  o  $I_l$ . Las diferencias entre los ángulos nominales y el ángulo real de medición pueden ser minimizadas usando un soporte adecuado para la colocación de la cámara de rendija ( $\leq 0.009$  rad o  $0.5^\circ$ ), por lo que el tercer término de ecuación (1.7) resulta ser muy pequeño ( $< 1\%$ ). Por estas razones las incertezas en las dimensiones del punto focal se deben principalmente a las incertezas de  $I_a$  o  $I_l$  (influencia del observador durante las mediciones de la imagen).

Es de interés el resultado obtenido por Tang y Barnes, que en su experimento encontraron que la inclinación de la cámara de rendija se logra en  $< 0.5^\circ$  como lo indican las especificaciones de la NEMA [NE92]. Sin embargo, en lo que respecta a la alineación del largo de la rendija perpendicular a la dirección del eje de medición en  $\pm 0.5^\circ$ , encuentran que esta especificación es muy restrictiva y puede ampliarse a una tolerancia de  $< 2.5^\circ$ ; la cual es más realista en la práctica y no implica un incremento significativo en los errores experimentales. Esta recomendación es consistente con el error de la desalineación rotacional de  $1^\circ$  a  $3^\circ$  recomendado por Everson y Gray [Ev87].

## 1.6 PATRÓN DE ESTRELLA

Los patrones de estrella se emplean muy frecuentemente para medir el tamaño de punto focal. La técnica supone que la dimensión del punto focal de interés tiene una función escalón como distribución de intensidades. Como se ilustra en la figura 1.19, la transformada de Fourier de una función escalón es una función sinc ( $\text{sen}(x)/x$ ). La frecuencia de corte,  $f_c$ , o primer cero de la función sinc esta dada por:

$$f_c = U_g^{-1} = [a(M-1)]^{-1} \quad (1.8)$$

Donde  $U_g$  es la borrosidad geométrica o penumbra asociada con el punto focal,  $a$  es el ancho de la función escalón (modelación del tamaño del punto focal) y  $M$  es el factor de amplificación geométrico.

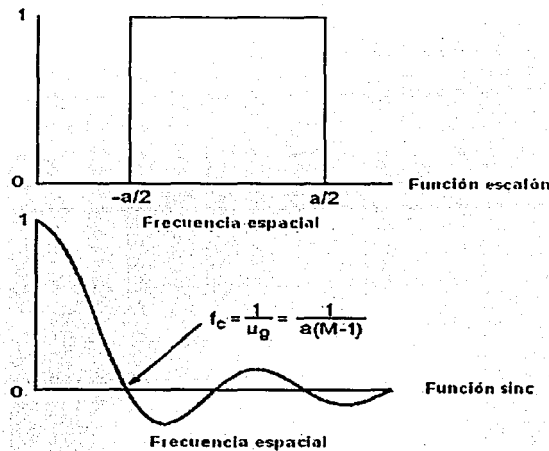


Figura 1.19. Función escalón y su transformada de Fourier como función sinc. [Ba91]

Un patrón de estrella en el cual la separación angular de cada uno de sus rayos es de  $1^\circ$ , se suele llamar patrón de estrella de  $1^\circ$ . Un ejemplo de la imagen de un patrón de estrella de  $1^\circ$

para un punto focal grueso y la imagen de un patrón de estrella de  $0.5^\circ$  para un punto focal fino se muestran en la figura 1.20.

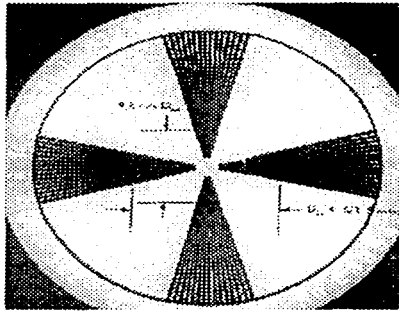


Figura 1.20 a. Imagen de un punto focal grueso usando un patrón de estrella de  $1^\circ$ . [Ba91]

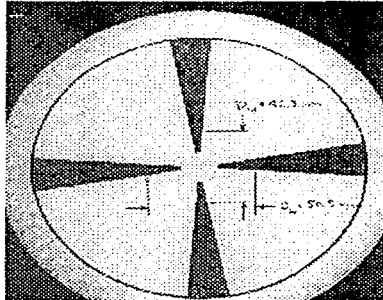


Figura 1.20 b. Imagen de un punto focal fino usando un patrón de estrella de  $0.5^\circ$ . [Ba91]

Para un conjunto de rayos (radiales) separados  $\theta$  radianes, la frecuencia espacial en el plano de la imagen para radio de borrosidad  $R$  (diámetro de la borrosidad  $D$ ) es:

$$f_c = [2R\theta]^{-1} = [D\theta]^{-1} \quad (1.9)$$

Expresando  $\theta$  en grados en lugar de radianes, la ecuación (1.9) se transforma en:

$$f_c = \frac{180^\circ}{\pi D \theta} \quad (1.10)$$

Sustituyendo la ecuación (1.10) en la ecuación (1.8), se obtiene la relación entre el tamaño de punto focal  $a$ , el diámetro de la borrosidad  $D$  del patrón de estrella y el factor de amplificación  $M$  de la imagen:

$$a = [f_c (M - 1)]^{-1} = \frac{\pi D \theta}{180^\circ (M - 1)} \quad (1.11)$$



Los tamaños del punto focal típicos en mamografía varían de 0.3 mm a 0.4 mm (punto focal grueso) y de 0.1 mm a 0.2 mm (punto focal fino). Para obtener resultados razonables para los diámetros de borrosidad con tamaños de punto focal fino, es necesario emplear patrones de estrella con separación angular de sus rayos lo más pequeña posible y factores de amplificación grandes.

Finalmente la dimensión proyectada en un plano paralelo al receptor de imagen al ángulo de referencia se calcula utilizando la misma relación que la ecuación (1.3).

## 1.7 PATRÓN DE BARRAS PARALELAS.

El patrón de barras paralelas (en adelante denominado patrón de barras), puede ser utilizado tanto para medir el tamaño de punto focal, como también la resolución del sistema de mamografía. A continuación se presenta una descripción de cada método.

### A. Medición del tamaño del punto focal.

El patrón de barras paralelas puede ser utilizado para medir el tamaño de punto focal de un equipo de mamografía. El funcionamiento del patrón de barras se basa principalmente en la resolución límite que proporciona el sistema y que se discutirá en la siguiente sección. El tamaño de punto focal puede encontrarse al utilizar la misma geometría que para la cámara de rendija (alineación con el eje de radiación en un plano perpendicular a este eje), usando la siguiente ecuación.

$$a = \frac{M}{(M-1) \cdot pl / mm} \quad (1.12)$$

Donde  $a$  es el tamaño de punto focal,  $M$  el factor de amplificación geométrico y  $pl/mm$  es el número de pares de líneas que se observan en la imagen radiográfica (resolución espacial del sistema, ver siguiente sección).

### B. Medición de la resolución espacial.

Un método común para medir la resolución espacial es a través de un patrón de barras. Un ejemplo de un patrón se ilustra en la figura 1.21. Este patrón tiene barras, una negra y una blanca lo que representa un par de líneas ( $pl$ ), lo que es equivalente a 1 ciclo. El patrón presentado muestra 10 pares de líneas, 10 líneas negras y 10 líneas blancas en una distancia de 1 mm, lo que representa 10  $pl/mm$ . Cada par de líneas ocupa una distancia de 0.1 mm. Así, en un patrón con  $x$   $pl/mm$  cada par de líneas ocupa una distancia de  $1/x$  mm.

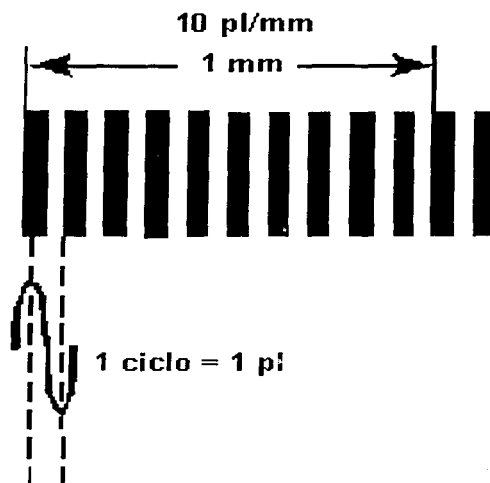


Figura 1.21. Ejemplo de un patrón de barras de 10 lp/mm. 1 lp/mm es equivalente a 1 ciclo/mm. [Do98]

El número de lp/mm es una expresión de la frecuencia espacial. Así, cuando las líneas se juntan más, la frecuencia espacial se incrementa. Un patrón de barras típico contiene áreas con diferentes frecuencias espaciales (como el usado en este trabajo, el cual se muestra en la figura 1.22). La resolución de un sistema se evalúa obteniendo una imagen del patrón de barras y observando la más alta frecuencia espacial (mayor número de pares de líneas/mm), para la cual la separación de las líneas es aún visible.

La máxima resolución determinada por los conos en el ojo humano, es alrededor de 30 lp/mm bajo condiciones óptimas. Si la distancia entre el observador y la imagen se dobla, la resolución disminuye a 15 lp/mm. [Do98]



Figura 1.22. Patrón de barras de 5 a 20 lp/mm.

Se han realizado varios intentos por medir la resolución espacial de un sistema de mamografía a través de diferentes técnicas. Se recomienda que este análisis se haga al tomar una imagen radiográfica de un patrón de barras preferiblemente con un máximo de 20 pl/mm (es posible usar una combinación película-pantalla como detector), y usando un maniquí de acrílico de 4.5 cm de espesor [AC99].

## 1.8 PANTALLA INTENSIFICADORA

La resolución de un sistema de mamografía que utilice una combinación película-pantalla está limitada por la pantalla intensificadora.

Las pantallas intensificadoras transforman los rayos X incidentes directamente en luz. Estas pantallas son fabricadas de tierras raras conteniendo gadolinio o lantano. La luz producida varía de acuerdo con la intensidad y energía de los rayos X. En general la luz proveniente de las pantallas intensificadoras contribuye un 97% a la formación de la imagen, mientras que la radiación proveniente de los rayos X incidentes sólo un 3%; esto reduce entre 15 y 20 veces la radiación impartida a las pacientes y consecuentemente disminuye el tiempo de exposición y el riesgo de movimientos de la paciente.

La luz que se produce en las pantallas es luz blanca, aunque con una intensidad máxima en la región del azul o del verde. Esto es muy importante al utilizar las pantallas ya que se deben usar las pantallas emisoras de luz de alguno de estos colores en combinación con película cuya sensibilidad sea mayor para la luz de ese mismo color; de lo contrario, la sensibilidad de la combinación se verá fuertemente reducida.

En la figura 1.23 se pueden apreciar los espectros de emisión luminosa de los compuestos de lantano y gadolinio, comparados con el de tungstato de calcio, observándose para los dos primeros un espectro relativamente discreto y para el último un espectro continuo.

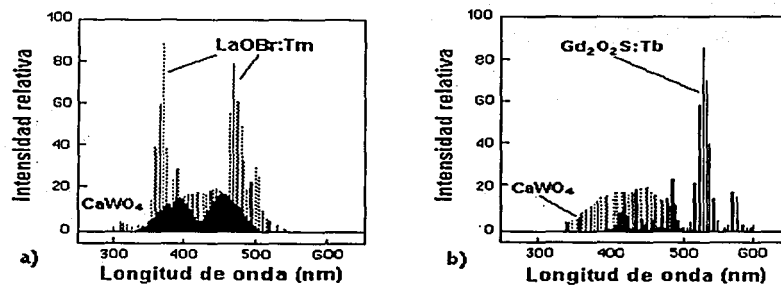


Figura 1.23. Espectros de emisión luminosa de compuestos de lantano, gadolinio y tungsteno usados en la fabricación de pantallas. El La y el Gd muestran picos definidos, mientras que para el W se tiene un amplio espectro.

La disminución de nitidez que se introduce por la pantalla intensificadora se debe a que la producción de luz ocurre a alguna profundidad del espesor de la pantalla intensificadora dependiendo de la energía del fotón incidente. Al aumentar la energía del fotón de rayos X, éste penetra más adentro de la pantalla intensificadora, ocasionando difusión de la luz producida a mayor profundidad; lo que ocasiona un ensanchamiento geométrico significativo cuando la luz llega a la película radiográfica. La difusión de la luz puede ser controlada al utilizar pantallas intensificadoras más delgadas aunque la probabilidad de interacción de los rayos X con la pantalla intensificadora se reduce debido a que sólo una pequeña fracción del haz es absorbido. Por esta razón en mamografía se utilizan pantallas intensificadoras delgadas llamadas de detalle. En la figura 1.24 se muestra el efecto de la pantalla intensificadora en la formación de la imagen; aquí se muestra sólo un rayo X y su interacción en el espesor de la pantalla intensificadora.

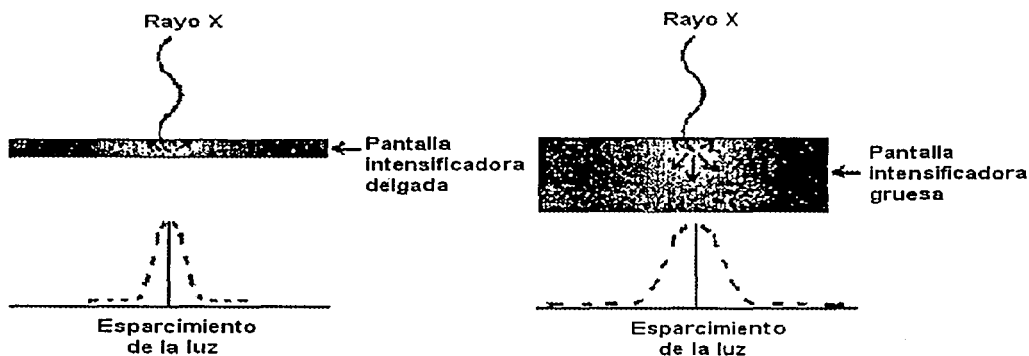


Figura 1.24. Efecto del espesor de la pantalla intensificadora. [Ya97]

## 1.9 PELÍCULA MAMOGRÁFICA

La película para rayos X es una película fotográfica que consiste de una emulsión fotográficamente activa, o sensible a la radiación, que puede cubrir uno o ambos lados de una hoja de plástico transparente (llamada base), generalmente fabricada en poliéster. Para lograr una firme adhesión entre la emulsión y la base de plástico se utiliza una capa muy fina de pegamento. Para proteger la emulsión de cualquier daño de tipo mecánico, se le coloca una cubierta delgada.

En la película radiográfica existe también lo que se conoce como gelatina y es la responsable de mantener a los granos de halogenuro de plata perfectamente dispersos y previene la aglomeración de los granos (grumos). Los líquidos del revelado pueden penetrar la gelatina fácilmente sin destruir su resistencia o permanencia; además, la gelatina se encuentra fácilmente en el mercado y su calidad es bastante uniforme.

Los halogenuros de plata conforman, dentro de la emulsión, el material sensible a la luz. En la película radiográfica para usos médicos, entre el 90 y el 99% es bromuro de plata y del 10 al 1% restante es yoduro de plata. Los halogenuros de plata en la emulsión fotográfica se presentan en forma de pequeños cristales suspendidos en la gelatina. El cristal está formado por iones de plata ( $Ag^+$ ), iones de bromo ( $Br^-$ ) e iones de yodo ( $I^-$ ), arreglados en una red cúbica. Estos granos o cristales son finos pero definitivamente más grandes que los presentes en una emulsión fotográfica, además no son cristales perfectos ya que un cristal perfecto casi no es fotográficamente sensible. Existen defectos dentro de los granos que actúan como centros sensibles y que tienen un efecto significativo en la velocidad de la película. La concentración de estos defectos debe ser la adecuada, en caso contrario, el fondo o niebla se incrementará fuertemente.

Para exponer una película radiográfica con pantallas intensificadoras, es necesario que los granos de halogenuro de plata de la emulsión absorban la luz emitida por los fósforos de la pantalla. La capacidad de los granos de la película de absorber la luz depende de la longitud de onda (figura 1.25). Las películas estándares de halogenuros de plata absorben luz en las regiones ultravioleta, violeta y azul del espectro visible. De hecho, los halogenuros de plata naturales no absorben luz en las regiones verde y amarilla. Sin embargo, las pantallas intensificadoras hechas a partir de tierras raras emiten luz principalmente en la región del verde (544 nm). Para extender la sensibilidad de la película hacia el verde se cubren los granos con un tinte que absorbe la luz verde y transfiere la energía absorbida al grano. Este es el tipo de película utilizada en mamografía y se le conoce como película ortocromática.

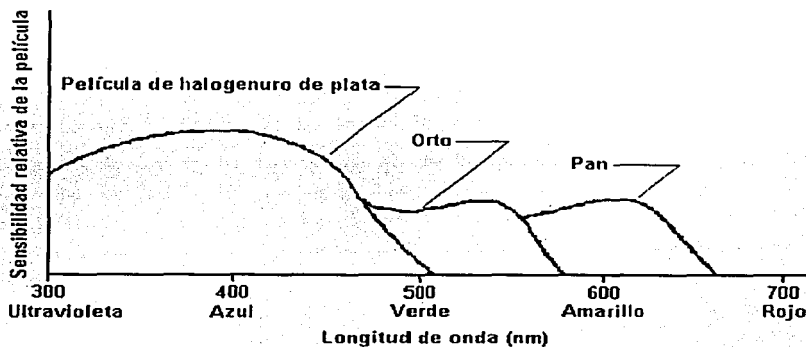


Figura 1.25. Sensibilidad espectral relativa de las películas de halogenuro de plata, ortocromática y pancromática.

### 1.10 CURVA CARACTERÍSTICA

La curva característica de una película se obtiene al exponer una combinación de película y pantalla intensificadora en diferentes áreas, a una exposición "escalonada" de luz, cada vez mayor, hasta lograr sobre exponer la película. En todas y cada una de las exposiciones se mide la exposición recibida por la película. Posteriormente se revela esta película y se

procede a leer la densidad óptica de cada área. Al graficar la relación entre la densidad óptica y el logaritmo de la exposición se genera lo que se conoce como la curva característica. En la figura 1.26 se muestra esta curva. Como puede observarse su forma es una sigmoide que presenta una región inicial o cola, una parte lineal, y un hombro en su parte final que es la zona de saturación de la película.

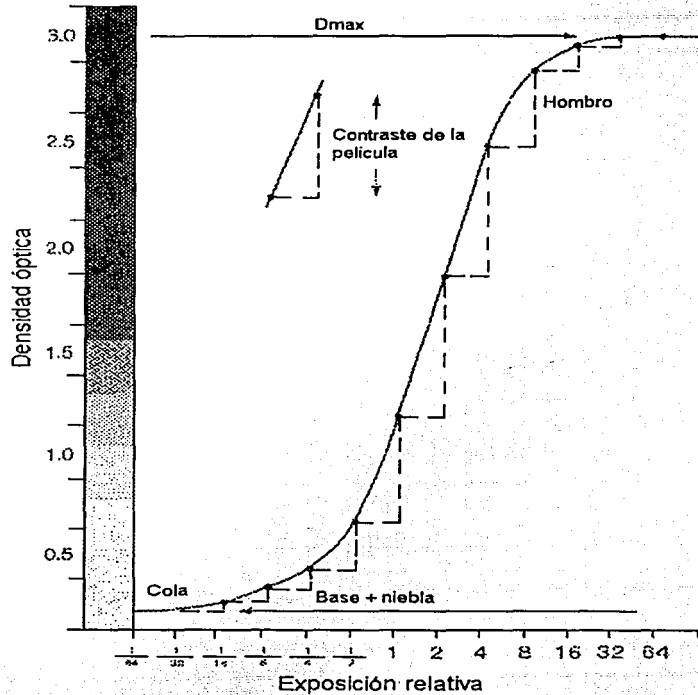


Figura 1.26. Curva característica de una película radiográfica. [Do98]

### 1.11 PROCESO DE REVELADO

Una vez que se ha obtenido una exposición (ya sea al utilizar directamente la película o una combinación película-pantalla), la película debe revelarse. En los hospitales se utilizan procesadores de película que se encargan del revelado. En la figura 1.27 se muestran las etapas del proceso, que son principalmente el revelado, fijado y lavado.

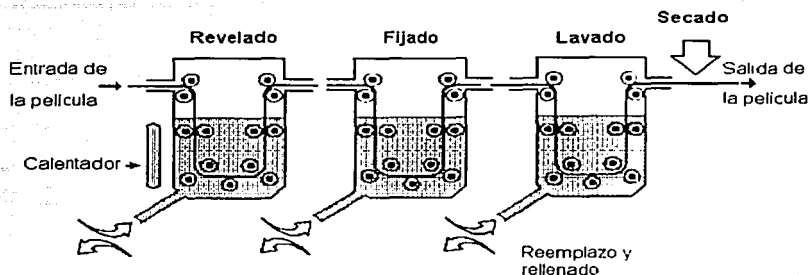


Figura 1.27. Etapas principales de un procesador de películas radiográficas.

### A. Revelado

El revelado es el proceso químico que hace posible visualizar la imagen obtenida al haber expuesto la película al haz de rayos X. La reacción básica es la reducción (adicción de un electrón) de un ion de plata, lo que hace que este ion cambie a un átomo de plata metálica. Un conjunto de átomos de plata metálica se presenta ante la vista con un color negro. El revelador es el agente reductor. El revelado es generalmente un fenómeno de todo o nada, porque un grano entero es revelado (reducido) una vez que el proceso se inicia. El proceso se inicia usualmente en el sitio donde se encuentra un punto sensible que fue expuesto a los rayos X (generalmente en la superficie del grano). Se cree que los átomos de plata que contienen la información de la imagen deseada aceleran la acción de los químicos de revelado sobre los iones de plata que se encuentran en cada grano, reduciéndolos rápidamente. La plata en un grano que no contiene información de la imagen deseada (no expuesto) puede ser reducida por el revelador, pero a una velocidad mucho menor. Por lo tanto, el tiempo de revelado es un factor fundamental durante este proceso. El revelado debe interrumpirse cuando el cociente entre granos revelados expuestos y no expuestos sea máximo. La niebla está formada por granos de halogenuro de plata no expuestos, que han sido reducidos.

Otro factor importante durante el revelado lo constituye la temperatura del revelador; el incremento en ésta aumenta el contraste de la película. Esto último implica que la exposición al paciente se reduce, lo que es muy importante en mamografía. Sin embargo, existe una limitante para el incremento en la temperatura representado por el aumento de la base + niebla. Los efectos de la temperatura de revelado se muestran en la figura 1.28.

### B. Fijado

Sólo una parte de los halogenuros de plata de la emulsión se reduce a plata metálica durante el revelado. Los halogenuros de plata restantes deterioran la visibilidad de la imagen y su permanencia en la radiografía revelada. Por consiguiente deben retirarse, pero la solución fijadora debe quitar estos residuos sin perjudicar la imagen formada por los átomos de plata metálica. La solubilidad de los halogenuros de plata en una solución acuosa está controlada por la concentración de plata y de iones de halogenuro. El bromuro de plata es poco soluble

en agua. Es por ello que la función de los agentes fijadores es formar complejos en los que los iones de plata estén fuertemente ligados y que sean solubles en agua. Estos complejos solubles formados podrán entonces retirar efectivamente a los iones de plata de la solución. El fijador también contiene estabilizadores y sustancias que mantienen el nivel del pH.

Un proceso de fijación incompleto se reconoce fácilmente debido a que la imagen tiene una apariencia lechosa o nebulosa. Esto resulta de la dispersión de la luz transmitida por los cristales de halogenuro de plata que no fueron retirados de la emulsión.

### C. Lavado

Después de revelar y fijar, la película debe lavarse bien con agua. El lavado sirve primeramente para quitar los líquidos fijadores. En caso de que el lavado no sea adecuado una película radiográfica se volverá café a medida que transcurra el tiempo. Esto se debe a que sustancias del fijador reaccionan con los átomos de plata metálica formándose sulfatos de plata cuyo aspecto es café.

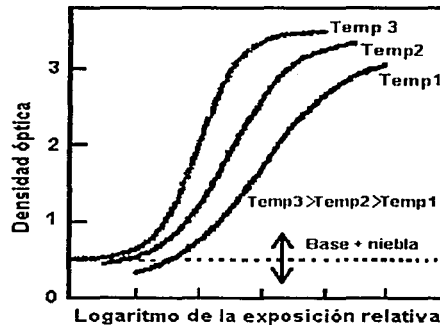


Figura 1.28. Efectos de la temperatura del revelador en la curva característica de una película radiográfica.



## CAPÍTULO II FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN DIGITALIZADOR (ESCÁNER)

A continuación se presenta una breve descripción de los tipos de digitalizadores y su funcionamiento. Se presentan en particular las características del digitalizador utilizado en este trabajo, Coolscan III (LS-30), Nikon. El contenido de este capítulo se basa en las siguientes referencias: [RE02], [Ya97] y [DA97].

### 2.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS CCD (Charge Coupled Device)

A continuación se presentan comentarios generales sobre el funcionamiento de los sistemas de acoplamiento de carga (CCD), su construcción y el arreglo lineal que es el utilizado por el digitalizador Coolscan III (LS-30).

#### A. Construcción y operación de un CCD

Un CCD (ver figura 2.1), es un circuito integrado formado por el depósito de una serie de electrodos llamados compuertas, sobre un sustrato semiconductor, formándose un arreglo lineal de capacitores tipo metal-óxido-semiconductor (MOS). Aplicando una diferencia de potencial a las compuertas se forman zonas de depleción en el material que se encuentra justamente por debajo de estas compuertas, formando "pozos" de almacenamiento de carga. La carga se genera en el semiconductor mediante la absorción de fotones luminosos incidentes. Si se varían apropiadamente las diferencias de potencial sobre las compuertas adyacentes, la carga puede ser transferida de pozo en pozo por debajo de las compuertas fluyendo hacia el resto del circuito.

La carga se acumula inicialmente en pixeles de "detección" y posteriormente se transfiere a un arreglo de pixeles de "almacenamiento", a partir de los cuales la señal puede leerse línea a línea.

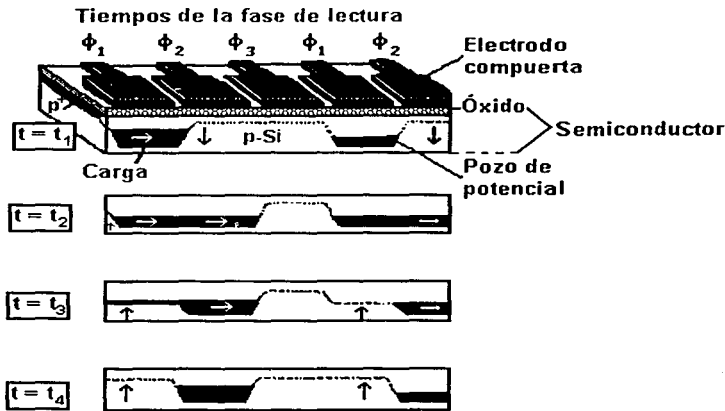


Figura 2.1. Estructura de un arreglo de CCD, que ilustra el movimiento de la carga acumulada en una dirección de acuerdo con la forma en que se ajustan los pozos de potencial que están bajo el control de la diferencia de potencial de los electrodos compuerta. [Ya97]

### B. Conceptos básicos de un CCD.

El CCD fue desarrollado por Boyle y Smith en 1970. Debido a lo compacto de su tamaño (del orden de decenas de micras) y sus características de intervalo dinámico, el CCD encontró múltiples aplicaciones para la imagen digital.

La captura digital de imágenes se hace a través de diferentes tipos de receptores, siendo el más común el formado por arreglos de CCD. En la superficie de estos arreglos se activan millones de puntos que graban de manera electrónica la luz que captura al momento de hacer la exposición digital. El CCD funciona como una matriz de células (pixeles, forma de acrónimo de picture elements), sensibles a la luz. En la figura 2.2 se presenta un ejemplo de CCD.

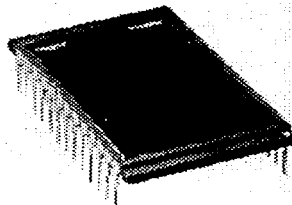


Figura 2.2. Ejemplo de un CCD, de un arreglo de área [RE02]

Los pixeles que integran un CCD son el equivalente del tradicional grano de una emulsión fotográfica. El CCD puede grabar la intensidad de luz en cualquier punto de su área sensible, en realidad el CCD toma el lugar de la película dentro de una cámara tradicional.

La matriz de células (receptores de luz), produce una carga eléctrica proporcional a la cantidad de luz que cae sobre la superficie de los receptores. La información analógica que registra es transformada en un registro binario (digital), que se aloja en una memoria digital como el disco duro de una computadora.

En vez de tomar una imagen analógica sobre una emulsión fotográfica en donde las partículas de plata metálica o colorantes forman una imagen final, un CCD captura una imagen digitalmente. Esta adquisición digital de una imagen con base en pixeles tiene la característica de que los pixeles que forman la imagen pueden ser controlados y manipulados dentro de la computadora por medio de un programa de cómputo (software), especialmente diseñado, como Photoshop o Paintshop Pro. Los millones de bits de información binaria que se generan en el momento de que la luz cae sobre la superficie del CCD, organizan la imagen pixel por pixel.

Todos estos millones de bits se pueden manipular, es decir, podemos cambiar su brillantez, su contraste y sus valores cromáticos, entre otras cosas. Esta manipulación trae consigo una ventaja importante en cuanto a la calidad de la imagen (la cual se establece por la densidad de datos provenientes del registro original). Se debe tomar en cuenta que, generalmente, entre mayor número de pixeles se encuentren a través del CCD más datos por área existirán; a esto se le llama resolución espacial (una imagen de alta calidad, por lo tanto, es una imagen con una resolución espacial grande). Cuando un CCD presenta una gran cantidad de receptores, el tamaño de los archivos crece (en general, el tamaño de un archivo de una imagen típica de color es alrededor de 4.4 MB). Cuando crece el tamaño del archivo, la capacidad de almacenamiento resulta vital, así como también el tiempo que toma almacenarlo y procesar la información. Esto trae como consecuencia la demora en tiempo entre una toma digital y otra, la cual puede variar desde un par de segundos hasta varios minutos.

La información que se captura con un digitalizador se puede grabar en unidades de almacenamiento externo como el disco duro de una computadora, un disquete o un disco compacto (CD). Durante la realización de este trabajo la opción de utilizar un digitalizador no evita la toma de una imagen en forma tradicional, ni el revelado de la película. Cuando se utiliza un digitalizador, los componentes del CCD se pueden agrupar en un arreglo de área (ver figura 2.2), o en una línea delgada, la cual está montada sobre una pastilla de forma estable y constante a través del campo de luz enfocado, proporcionando lo que se llama una captura lineal.

## 2.2 ARREGLO LINEAL DE CCD

La estructura más simple es un receptor lineal de CCD de registro. En este arreglo los CCD se encuentran en una línea, reciben luz y la transforman en carga que se transfiere a un circuito de salida para el tratamiento de la señal recibida (ver figura 2.3).

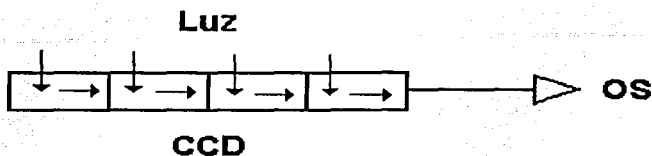


Figura 2.3. Arreglo lineal de CCD. [DA97]

## 2.3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS DIGITALIZADORES

La función de un digitalizador de transmisión (escáner) es traducir información analógica a información digital, procesando los tonos continuos de una imagen en tres tipos de colores para el modo RGB (red, green, blue), rojo, amarillo, azul. Este proceso captura la luz emitida de la fuente de luz del digitalizador que atraviesa la superficie de la imagen transmitiéndola a los detectores del digitalizador, en general formados por arreglos de sistemas de carga acoplada, CCD.

Las imágenes electrónicas resultantes están compuestas de píxeles (elementos fundamentales de la imagen digital). Cada píxel contiene información determinada por la cantidad de bits, o tonalidades, que puede capturar el digitalizador. En el caso de que el píxel contenga sólo un bit, éste contiene dos niveles de información, blanco y negro. Cuanto más tonalidades haya, más información se guardará. Por ejemplo, un escáner de 2 bits brinda 4 niveles, uno de 3 bits brinda 8 niveles, uno de 8 bits brinda 256 niveles.

La mayoría de los digitalizadores tienen dos modalidades de captura:

- a) Escala de grises: un tono de gris específico presenta una cierta densidad en la imagen, la cual se mide a través de enviar luz a la imagen original y medir la luz reflejada, o midiendo la luz transmitida de la película. Una vez que se mide la densidad, ésta se convierte en datos binarios que representan tonos de gris, desde el blanco hasta el negro.
- b) Color: en esta modalidad los digitalizadores hacen tres barridos de la imagen. Un barrido para cada canal de color (sistema RGB). Como consecuencia, el archivo de un barrido a color contiene tres veces la información de un archivo de escala de grises. Algunos digitalizadores permiten que estos archivos se conviertan de un espacio de color a otros, como el CMYK (cian, magenta, amarillo y negro representado por la letra K).

## 2.4 RESOLUCIÓN

La resolución de un digitalizador determina su capacidad para capturar una imagen y se define como el número de puntos por pulgada (dpi, dot per inch), medidos vertical y horizontalmente a la vez. De esta forma, la resolución no siempre es simétrica; generalmente el mecanismo de barrido es capaz de mayor resolución horizontal que

vertical. Debido a esto, es común observar que las resoluciones especificadas por el fabricante sean, por ejemplo, 400x800 dpi ó 600x1200 dpi. Esta asimetría no es un problema ya que es compensada por el programa de cómputo (software) del digitalizador.

Hay dos tipos de resolución usualmente asociados con el digitalizador: la resolución óptica, que es gobernada por el equipo de cómputo (hardware), y la resolución interpolada, la cual utiliza programas de cómputo para que, a través de algoritmos, se aumente la capacidad del equipo para digitalizar una imagen a través del "llenado de blancos" entre los píxeles. Tal interpolación puede incrementar la resolución de un escáner hasta 9600 dpi, la cual puede utilizarse para capturar detalles muy finos de imágenes pequeñas. Sin embargo, aunque la interpolación pueda ser útil, en nuestro caso es mejor ignorarla y sólo concentrarse en la resolución óptica que permite establecer la verdadera capacidad del digitalizador para capturar una imagen. En general, mientras la resolución óptica sea más alta, mejor será la calidad de la imagen.

La gran mayoría de los digitalizadores usa CCD, pero recientemente se han comenzado a usar CIS (contact image sensor). La principal diferencia entre los dos es que los digitalizadores basados en CCD usan un convertidor analógico-digital (ADC, analogue digital converter), por separado, para transformar los datos del receptor en información binaria, mientras que los digitalizadores equipados con CIS tienen una tarjeta de lógica incorporada para llevar a cabo esta tarea. Consecuentemente los digitalizadores con CIS tienden a ser más pequeños, más ligeros y un poco más baratos que los basados en CCD.

## 2.5 MAPEO DE LA IMAGEN.

Las dimensiones de la porción activa de cada elemento del detector definen una apertura. La apertura determina la respuesta de la frecuencia espacial del detector. Por ejemplo, si la apertura es cuadrada de dimensión  $d$ , modelada por una función escalón, entonces su transformada de Fourier será de la forma  $\text{sinc}f$ , donde  $f$  es la frecuencia espacial a lo largo de la dirección  $x$  ó  $y$  y la función tendrá su primer cero a la frecuencia  $f = d^{-1}$ , expresada en el plano del detector. Por ejemplo, un detector con  $d = 50 \mu\text{m}$  tendrá una función  $\text{sinc}f$  con su primer cero a  $f = 20$  ciclos/mm.

También de considerable importancia es el intervalo de mapeo,  $p$ , del detector, es decir, el paso en el plano del detector entre los elementos sensibles (i.e. de medición). El teorema de Nyquist establece que sólo las frecuencias espaciales en el patrón por abajo de  $(2p)^{-1}$  (frecuencia de Nyquist), pueden obtenerse sin distorsión. Si el patrón contiene frecuencias más altas, entonces, ocurre un fenómeno conocido como *aliasing*, donde el espectro de frecuencia del patrón en la imagen está más allá de la frecuencia de Nyquist. En un detector compuesto de elementos discretos (como píxeles), el intervalo más pequeño de muestreo en una adquisición simple de la imagen es  $p = d$ , y por lo tanto la frecuencia de Nyquist es  $(2d)^{-1}$  mientras que la respuesta de la apertura cae a cero para el doble de la frecuencia (más alta si las dimensiones de la región sensible de cada elemento del detector es más pequeña que  $d$ ).

## 2.6 CUANTIZACIÓN DEL COLOR

La capacidad del digitalizador para identificar diferentes colores o tonos de gris está muy relacionada con la resolución. Esto es conocido como cuantización del color ó de los bits, porque está directamente relacionada con el número de bits usados por cada pixel. La cuantización del color se puede notar en los equipos como de 24 bits, 30 bits o 36 bits. Los digitalizadores modernos proveen un mínimo de 24 bits para color (algunas veces referido como color verdadero), lo que significa que son capaces de asignar uno de los aproximadamente 16.7 millones de valores de color. Esto es aceptable para la mayoría de las imágenes, pero cuando se digitalizan imágenes monocromáticas o en tonos de gris, los documentos que se encuentran en 24 bits no son usualmente suficientes. Una imagen en tonos de gris es captada a partir de un solo canal que usualmente tiene el mismo intervalo de valores de entrada que los canales de color; por esto las especificaciones de un escáner se denotan por 24 bits para color y 8 ( $=24/3$ ) bits para gris, 30 bits para color y 10 ( $=30/3$ ) bits para gris ó 36 bits para color y 12 ( $=36/3$ ) bits para gris. Al igual que para la resolución, mientras más grande sea el número de bits, mejor será la calidad de la imagen.

## 2.7 INTERFACES

Una interfaz es la conexión por la que se transmite la información del digitalizador al ordenador.

## 2.8 TIPOS DE DIGITALIZADORES (ESCÁNER)

Al igual que cualquier otro periférico, como las impresoras, hay diferentes estilos y modelos de digitalizador y cada uno tiene sus ventajas y desventajas particulares.

### A. Digitalizador de cama plana (reflexión)

El digitalizador de cama plana recibe la imagen sobre la superficie del cristal y gracias a un conjunto de espejos se logra un barrido gradual por medio de receptores que se desplazan progresivamente, en conjunto con la luz, por debajo del cristal. La unidad de lectura de este tipo de digitalizador contiene una fuente de luz y un lector basado en tecnología CCD, la cual puede tener un conjunto lineal de CCD o un bloque de CCD. Entre más CCD contiene el digitalizador más rápido será en explorar o barrer la imagen. Estos digitalizadores son versátiles y presentan una buena calidad de exploración. Muchos digitalizadores de este tipo están diseñados para digitalizar dibujos de línea, imágenes en blanco y negro de tono continuo y texto; normalmente cuentan con una resolución óptica que va de 300x600 dpi hasta 1600x1600 dpi. En la figura 2.5 se presenta el funcionamiento de un digitalizador de cama plana.

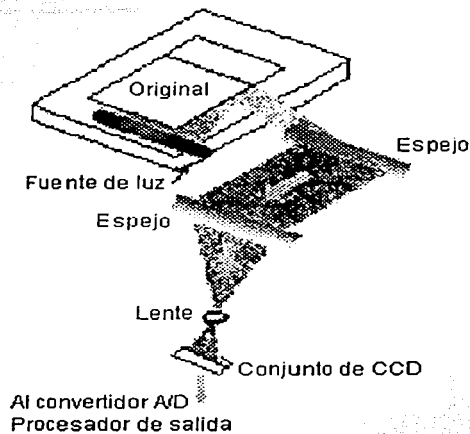


Figura 2.5. Funcionamiento de un digitalizador de cama plana. [RE02]

### B. Digitalizador de película (transmisión)

Para una digitalización especial de diapositivas o negativos se utilizan los digitalizadores de película. Para digitalizar correctamente negativos, diapositivas o transparencias, la luz necesita pasar directamente a través del medio, más que simplemente ser reflejada a la cama del digitalizador como la mayoría de los digitalizadores convencionales. Los digitalizadores de película están diseñados con una fuente de luz intensa para producir resultados óptimos, así como para enfocar un área pequeña, lo que los hace presentar una alta resolución óptica y un aumento de precio.

El intervalo dinámico se especifica de dos formas: el óptico y el eléctrico. El intervalo dinámico óptico es el cociente entre la máxima intensidad luminosa para la cual hay saturación y la intensidad luminosa para la cual se produce una salida igual que la producida por el ruido. El intervalo dinámico eléctrico es el cociente entre la diferencia de potencial para la cual se presenta saturación a la salida y la diferencia de potencial producida por el ruido a la salida. El ruido es la información no deseada resultante de varias causas no relacionadas con el objeto del que se desea obtener información.

El digitalizador de película presenta un intervalo dinámico óptico a partir de dos métodos:

- a) Receptor de "bloque" o de área: este diseño captura tres imágenes consecutivas, una para cada color (rojo, verde y azul). Es más caro que el sistema lineal pero es más rápido el barrido.
- b) Receptor lineal: este sistema presenta una fila única de receptores CCD, los cuales hacen la exploración de la superficie de la imagen. La resolución depende del número de celdas en el arreglo y la eficacia del motor que las transporta. La información del color se lee en tres fases, una por cada canal: rojo, verde y azul. Esta información también se obtiene por medio de un

sistema de filtros dispuestos sobre la superficie del CCD, el cual captura las tres bandas de color en un solo barrido.

Algunos digitalizadores de película típicos son el HP PhotoSmart S20 Photo Scanner, el cual utiliza una interfase USB o como el utilizado en este trabajo, el Nikon Coolscan III (LS-30), el cual tiene una conexión SCSI con resolución óptica de 2700 dpi.



## CAPÍTULO III MÉTODO EXPERIMENTAL

Este capítulo presenta el método empleado durante las pruebas realizadas para la obtención de las imágenes radiográficas de la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras paralelas, y la digitalización de las imágenes de la rendija y el patrón de barras paralelas. Para mayores detalles consultar el anexo correspondiente.

### 3.1 SOPORTE PARA CÁMARA DE RENDIJA

Para el desarrollo de este trabajo se fabricó un soporte para la cámara de rendija así como también los dispositivos para la alineación de la rendija con el eje de radiación y para la medición del factor de amplificación. Este soporte fue especialmente diseñado para medir el tamaño del punto focal con una cámara de rendija, en un equipo de mamografía.

En las figuras 3.1 y 3.2 se presentan los esquemas del soporte para la cámara de rendija fabricado en el presente trabajo. La plataforma superior cuenta con una cavidad para la colocación reproducible de la cámara de rendija, del dispositivo de alineación con el eje de radiación y del dispositivo para medir la amplificación. El soporte tiene una altura variable a partir de la base a la plataforma, de 32 a 52 cm. En la base del soporte se cuenta con un compartimento para colocar el chasis de mamografía cargado con película radiográfica. En las figuras 3.3 y 3.4 se presentan los esquemas del dispositivo de alineación con el eje de radiación y el dispositivo para medir la amplificación, respectivamente. En la figura 3.5 se presenta la fotografía del dispositivo usado para la alineación con el eje de radiación y los niveles de burbuja. En la figura 3.6 se presenta la fotografía de la cámara de rendija empleada, el dispositivo para medir la amplificación y los niveles de burbuja. En la figura 3.7 se presenta la fotografía de la colocación del soporte para cámara de rendija en el equipo de mamografía utilizado.

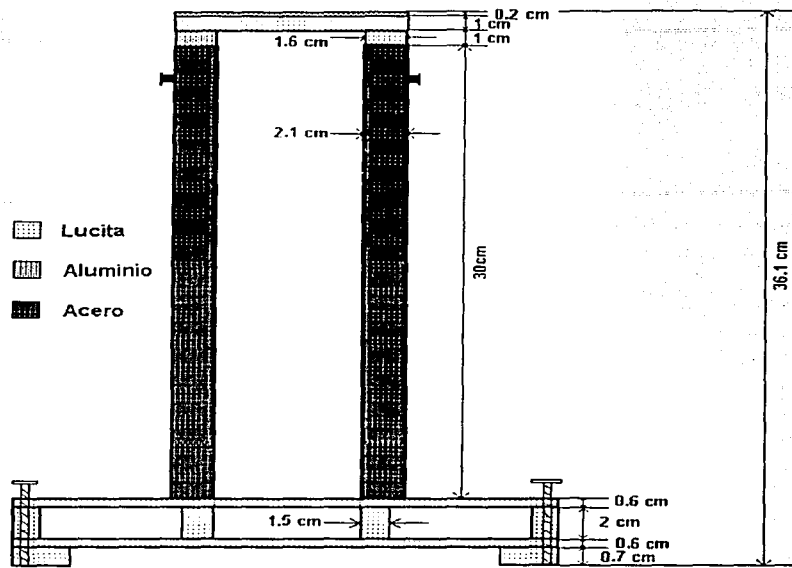


Figura 3.1. Esquema del soporte fabricado para la cámara de rendija (no está a escala).

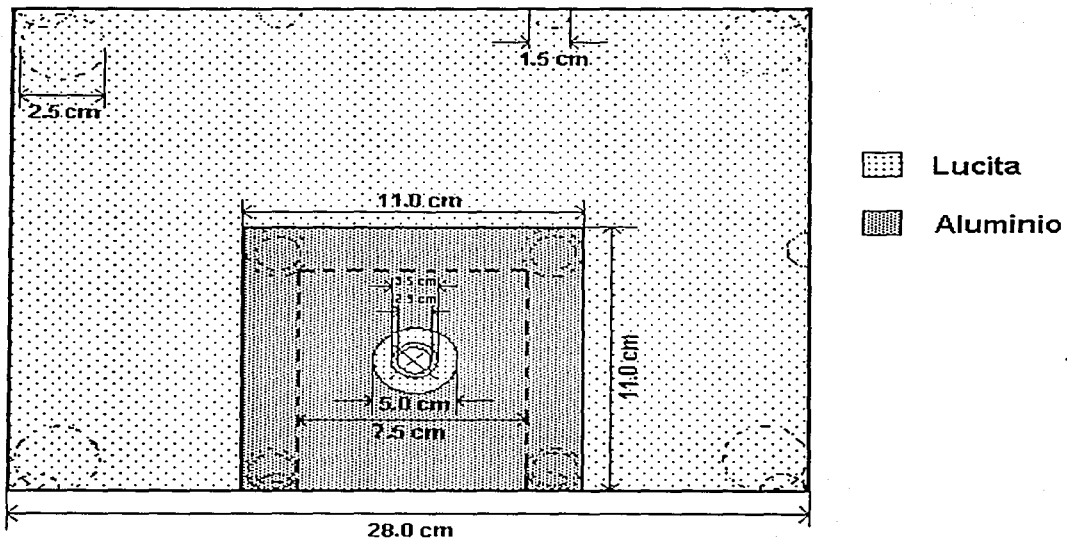


Figura 3.2. Vista superior del soporte para la cámara de rendija (no está a escala).

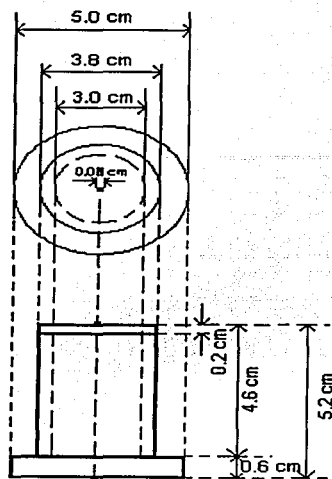


Figura 3.3. Esquema del dispositivo de alineación con el eje de radiación. Material: lucita (no está a escala).

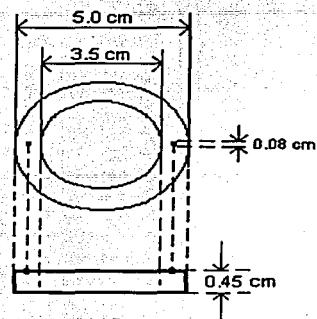


Figura 3.4. Esquema del dispositivo para medir la amplificación. Material: lucita (no está a escala).

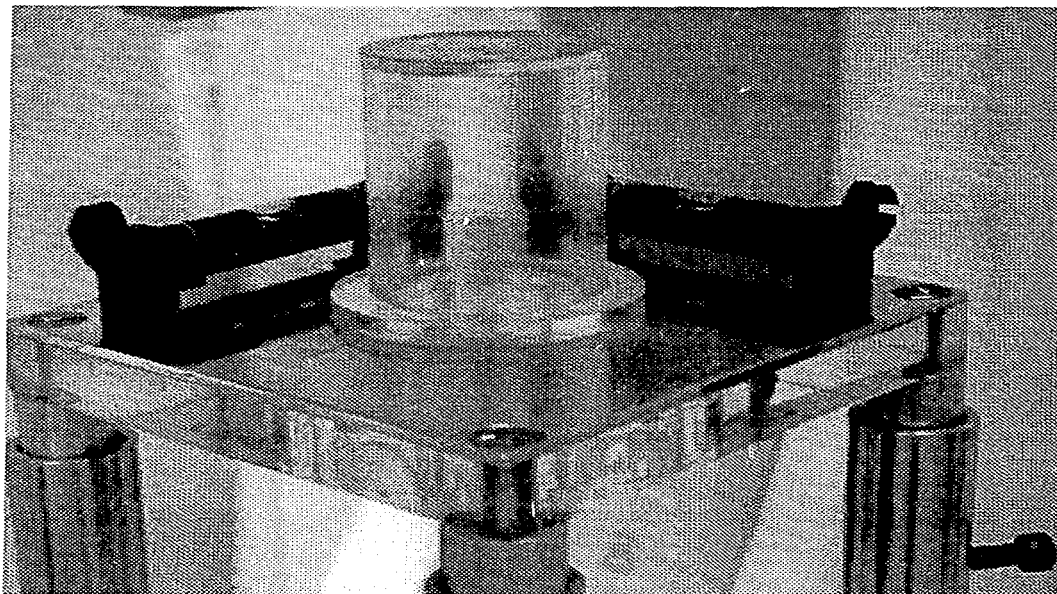


Figura 3.5. Dispositivo para la alineación con el eje de radiación y niveles de burbuja.

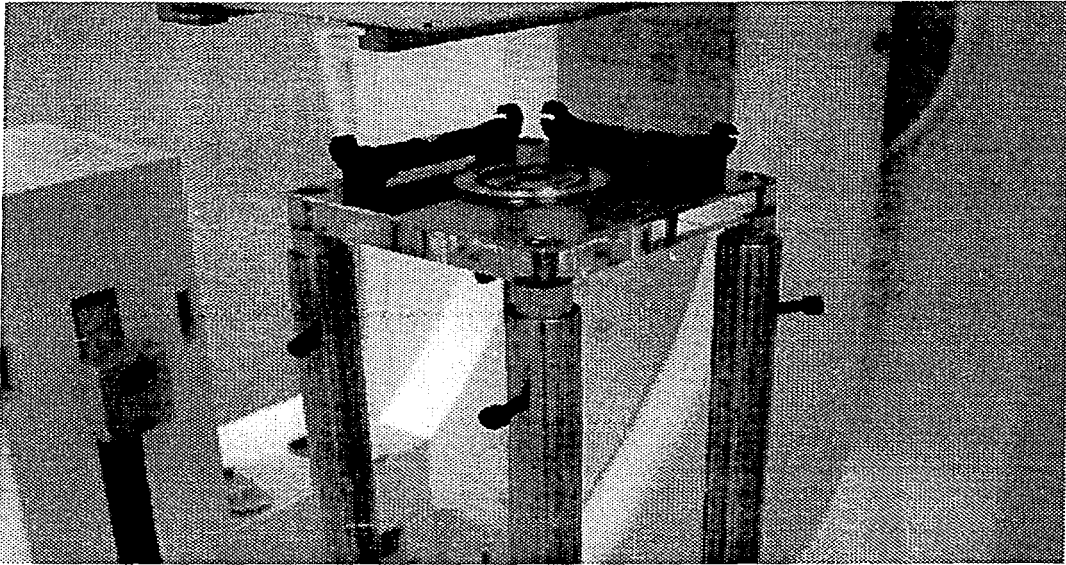


Figura 3.6. Cámara de rendija, dispositivo para medir la amplificación y niveles de burbuja.

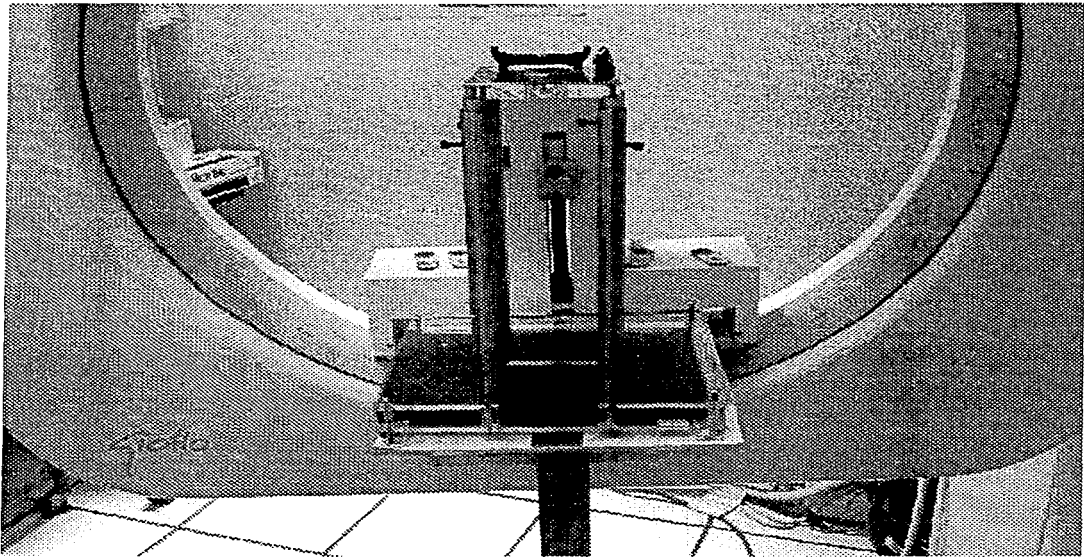


Figura 3.7. Colocación del soporte para cámara de rendija en el equipo de mamografía estudiado.

A continuación se presentan los métodos empleados para la obtención de las imágenes radiográficas de la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras, y cómo son evaluadas por un primer observador (OF) en un negatoscopio con una lupa, en un monitor a través de la digitalización de las imágenes y, finalmente, por un segundo observador (OH), que visualiza las imágenes en el mismo negatoscopio y bajo las mismas condiciones que el primer observador. Se lista el equipo utilizado en el presente trabajo. Se dan las condiciones que se siguieron para la visualización y evaluación de las imágenes radiográficas por los observadores OF y OH, y la visualización y evaluación de las imágenes ya digitalizadas en la pantalla de un monitor.

### 3.2 MÉTODO DE MEDICIÓN

#### A. Tamaño del punto focal con cámara de rendija.

Para medir el tamaño de punto focal se obtienen imágenes radiográficas (con combinación película-pantalla) de la rendija, paralela y perpendicularmente al eje ánodo-cátodo (ver figura 3.8), de tal forma que se obtenga un factor de amplificación mayor que 2, y una densidad óptica entre 1.2 y 1.6. La cámara de rendija se coloca en la plataforma del soporte para cámara de rendija y éste se coloca sobre el portachasis. Se asegura la alineación con el eje de radiación, usando un dispositivo de alineación (ver figuras 3.3 y 3.5) y la nivelación de la cámara de rendija, con la ayuda de niveles de burbuja (ver figura 3.6). Finalmente se pasa al revelado de la película.

Las imágenes de la cámara de rendija son visualizadas en un negatoscopio (del servicio de radiología al que pertenece el equipo de mamografía), por un primer observador. Se mide el ancho central de la imagen de la rendija usando una lente de aumento de 25X con rejilla graduada. El tamaño del punto focal se obtiene utilizando la ecuación 1.2.

Las imágenes de la rendija se digitalizan; cada imagen radiográfica se captura de tal forma que ésta se visualice vertical y horizontalmente en la pantalla del monitor (ver figura 3.9). Se mide el ancho de la imagen de la rendija. El tamaño del punto focal se obtiene utilizando la ecuación 1.2. Para mayor detalle de la producción de las imágenes radiográficas y el análisis ver anexo A.

Un segundo observador efectúa bajo las mismas condiciones y de la misma forma que el primer observador, las mediciones de las imágenes de la cámara de rendija.

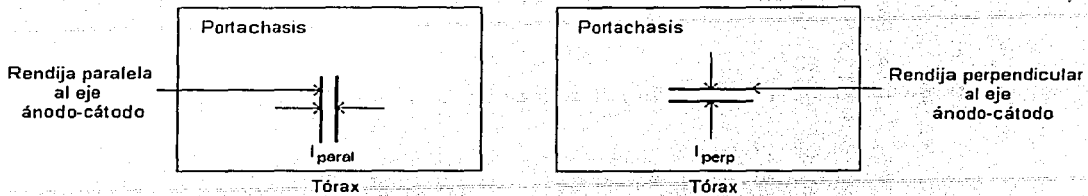


Figura 3.8. Posición que guarda la rendija con respecto al portachasis (no a escala).

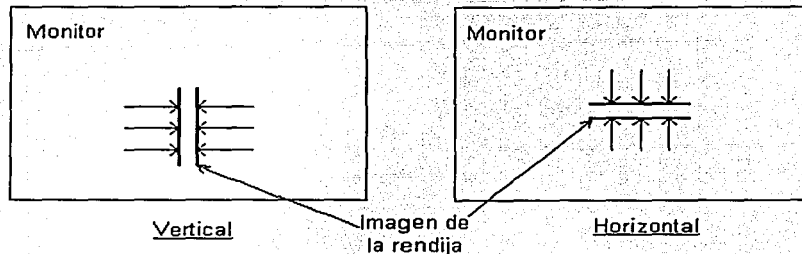


Figura 3.9. Mediciones hechas en las imágenes digitalizadas de las imágenes radiográficas de la rendija. Las flechas indican los lugares donde se midió el ancho de la rendija (no a escala).

#### B. Tamaño del punto focal con patrón de estrella

Para medir el tamaño del punto focal se obtiene una imagen radiográfica (película sin pantalla) del patrón de estrella, de tal forma de obtener una amplificación mayor que 2 y una densidad óptica de 1.5. Se toman exposiciones de un patrón de estrella de 1° con éste colocado justamente a la salida del colimador de rayos X.

En la imagen se mide el tamaño de la borrosidad (sin lupa) tal como se describe en el capítulo I, 1.6. El tamaño de punto focal se obtiene utilizando la ecuación 1.11. Para mayor detalle de la producción de las imágenes radiográficas y el análisis ver anexo B.

#### C. Tamaño del punto focal con patrón de barras

Se utilizan las mismas imágenes que las obtenidas en la prueba de resolución con patrón de barras (inciso siguiente). El tamaño de punto focal se obtiene utilizando la ecuación 1.12.

#### D. Resolución con patrón de barras

Se utilizan tres técnicas para la evaluación de la resolución espacial del equipo de mamografía; la primera es sugerida por el ACR [AC99] y las otras dos por M. M. Goodsitt [Go97]. Para determinar la resolución se obtienen imágenes radiográficas (con combinación película-pantalla) del patrón de barras, paralelo y perpendicularmente al eje ánodo-cátodo (ver figura 3.10). Se colocan placas de acrílico de 4.5 cm de espesor sobre el

portachasis y pegadas al lado del tórax. El patrón de barras se coloca sobre las placas de acrílico alineado paralelamente con la marca central del compresor y a 1 cm del lado del tórax. Se coloca el chasis cargado con película para mamografía en el portachasis y se toma una exposición. Después se alinea el patrón de barras perpendicularmente con el eje ánodo-cátodo, colocándose a 1 cm del lado del tórax y con el mayor número de pares de líneas hacia el lado del tórax y se toma una exposición con otra película. Con las condiciones anteriores, pero ahora colocándose el chasis sobre el portachasis, se obtienen exposiciones del PB paralelo y perpendicularmente al eje ánodo-cátodo. Finalmente se coloca el chasis sobre el portachasis, no se usan placas de acrílico, el patrón de barras se coloca justamente encima del chasis y se fijan placas de aluminio 1100 a la salida del colimador como atenuador. De esta forma se toman exposiciones con esta técnica alineando el patrón de barras paralela y perpendicularmente al eje ánodo-cátodo tal como se ha comentado anteriormente.

Las imágenes del patrón de barras son visualizadas en un negatoscopio (del servicio de radiología al que pertenece el equipo de mamografía), por un primer observador. Estas imágenes son dispuestas vertical y horizontalmente en la pantalla del negatoscopio. Se observa el número máximo de pares de líneas que se resuelven en la imagen.

Las imágenes del patrón de barras se digitalizan; cada imagen radiográfica se captura de tal forma que ésta se visualice vertical y horizontalmente en la pantalla del monitor (ver figura 3.11). En las imágenes digitales se observa el máximo número de pares de línea por milímetro que se alcanzan a distinguir. Para mayor detalle de la producción de las imágenes radiográficas y el análisis ver anexo C.

Un segundo observador efectúa bajo las mismas condiciones y de la misma forma que el primer observador, las mediciones de las imágenes del patrón de barras.

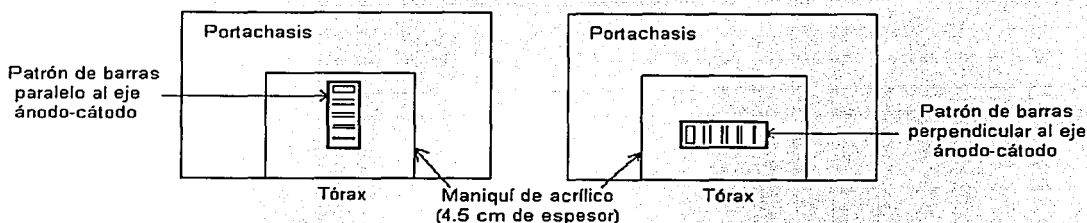


Figura 3.10. Posición que guarda el patrón de barras con respecto al portachasis (no a escala).

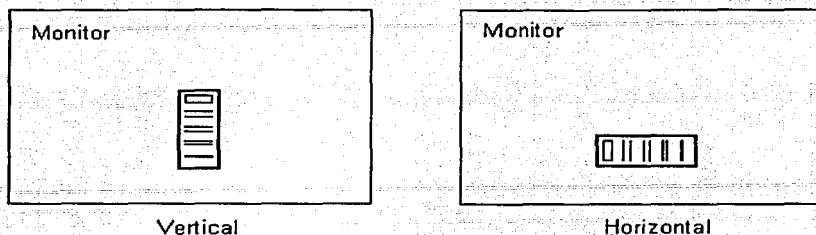


Figura 3.11. Patrón de barras como se observa en la pantalla del monitor (no a escala).

### 3.3 EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado durante el presente trabajo pertenece al Instituto de Física, UNAM (IFUNAM)<sup>1</sup>, parte de él fue financiado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS)<sup>2</sup>. El Instituto Nacional de Cancerología (INCAN)<sup>3</sup> nos permitió el uso de sus instalaciones y del material requerido.

- Equipo de mamografía:  
<sup>3</sup>IMS, modelo Giotto MF, No. de serie: 63/36/38.
- Medición del punto focal:  
<sup>2</sup>Cámara de rendija, Nuclear Associates, 07-624  
<sup>2</sup>Patrón de estrella de 1°, Nuclear Associates, 07-542  
<sup>2</sup>Patrón de barras paralelas, Gammex, Precision test pattern RMI 1112  
<sup>2</sup>Lente de aumento de 25X, marca Mitutoyo, 183-202  
<sup>1</sup>Soporte para cámara de rendija (elaborado en la presente tesis) con <sup>1</sup>dispositivo para la alineación, <sup>1</sup>dispositivo para medir la amplificación y <sup>1</sup>niveles de burbuja.
- Medición de la resolución:  
<sup>2</sup>Patrón de barras paralelas, Gammex, Precision test pattern RMI 1112  
<sup>1</sup>Placas de acrílico de 10 x 10 y 4.5 cm de espesor, referidas como maniquí a lo largo de la tesis.
- Equipo receptor:  
<sup>3</sup>Chasis Kodak Min R-2000 de una pantalla.  
<sup>3</sup>Película para mamografía Kodak, ortocromática.
- Equipo de revelado:  
<sup>3</sup>Procesadora de película, Kodak, modelo RP-X-OMAT.
- Negatoscopios:  
<sup>3</sup>GE Medical Systems.



- Digitalizador (escáner) de película:  
Coolscan III (LS-30), de marca Nikon. A continuación se presentan algunas características del digitalizador, y en la figura 3.9, una foto del mismo. Para mayor detalle de las funciones del digitalizador, ver anexo F.

Tiempo de barrido promedio de 20 s con resolución óptica de 2700 dpi. Fuente de luz por LED. Intervalo dinámico de 3.0 con sistema controlador de color de Nikon que permite trabajar en el espacio de color RGB, así como también en CMYK. Cuantización de color para lectura de 30 bits para color y 10 bits en tonos de gris con salida de 24 bits color y 8 bits tonos de gris. El tamaño de los archivos en color puede alcanzar hasta 28 MB.

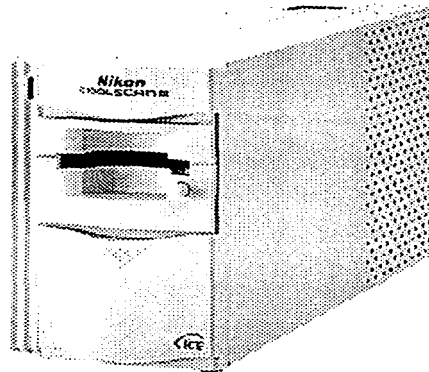


Figura 3.10. Digitalizador (escáner) utilizado, Coolscan III (LS-30), Nikon

### 3.4 MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

A continuación se presentan los pasos que se siguieron para las mediciones de las películas radiográficas obtenidas. Las películas fueron evaluadas visualmente por dos observadores OF y OH sin entrenamiento previo y después las imágenes fueron digitalizadas con el equipo Coolscan III (LS-30) y analizadas.

#### A. Análisis visual de las imágenes por dos observadores diferentes.

Las imágenes radiográficas fueron analizadas por dos observadores diferentes (OF y OH) sin ningún entrenamiento previo para la medición del punto focal. Las imágenes de la cámara de rendija fueron evaluadas en un negatoscopio del servicio cubriéndolo con una

superficie opaca de tal forma que sólo el área ocupada por la imagen fuera iluminada y con las luces de la habitación apagadas. De esta forma se midió el ancho central de la imagen de la rendija con una lente de aumento de 25X con rejilla graduada.

Las imágenes del patrón de barras fueron dispuestas en el mismo negatoscopio, de la misma forma que las imágenes de la cámara de rendija. De esta forma se observó el número máximo de pares de líneas por milímetro que se resolvieron en cada imagen radiográfica con una lupa de aumento de 5X.

#### B. Digitalización de las imágenes usando el digitalizador Coolscan III (LS-30), Nikon.

Todas las imágenes (empleando la cámara de rendija y el patrón de barras) se digitalizan con una resolución óptica de 2700 dpi. Se decidió digitalizar dos veces cada imagen, situándolas de tal forma que aparecen vertical y horizontalmente en la pantalla del monitor. Las imágenes se analizaron usando Photoshop 6.0 desplegándolas en un monitor con resolución de 1024x768 dpi con las luces de la habitación apagadas.

Para las imágenes de la cámara de rendija se utiliza la máxima amplificación posible del programa y se toman tres medidas del ancho de la rendija (ver figura 3.7) y se obtiene un promedio (en pixeles); ninguna de estas mediciones se hicieron en las orillas para evitar posibles efectos de borde. Se digitaliza un objeto de dimensiones conocidas y se obtienen sus medidas en pixeles; de esta forma se cuenta con un factor de conversión (F) de pixeles a milímetros al hacer el cociente de las dimensiones en milímetros entre las dimensiones en pixeles del objeto digitalizado.

Este cociente se emplea para convertir el promedio del ancho de la rendija en pixeles a milímetros.

Las imágenes del patrón de barras se visualizan con una amplificación de 300%, y se observan el número máximo de pares de líneas por milímetro que se distinguen en la imagen desplegada.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

Este capítulo presenta tanto los resultados obtenidos al efectuar las pruebas para la obtención del tamaño del punto focal con patrón de estrella, cámara de rendija y patrón de barras; así como la determinación de la resolución usando un patrón de barras.

### 4.1 IMÁGENES OBTENIDAS

A continuación se presentan algunas imágenes obtenidas de la cámara de rendija y el patrón de barras (la resolución de cada una fue disminuida para poder ser presentadas en este documento).

En la figura 4.1 se presentan 2 imágenes digitalizadas de una misma imagen radiográfica de la rendija, producida con una tensión de 22 kVp y una carga de 60 mAs. Las dos imágenes digitales corresponden a una orientación vertical y horizontal tal como se observan en la pantalla del monitor. Observe la existencia de efectos de borde en las orillas de la imagen de la rendija, estos se visualizan como zonas más claras en los bordes de las orillas.



Figura 4.1. De izquierda a derecha: imagen de la cámara de rendija digitalizada: vertical y horizontal, obtenida a 22 kVp y 60 mAs.

En la figura 4.2 se presentan 2 imágenes digitalizadas de una misma imagen radiográfica de la rendija, producida con una tensión de 28 kVp y una carga de 60 mAs. Las dos imágenes digitales corresponden a una orientación vertical y horizontal tal como se observan en la pantalla del monitor.



Figura 4.2. De izquierda a derecha: una imagen de la cámara de rendija digitalizada: vertical y horizontal, obtenida a 28 kVp y 60 mAs.

En la figura 4.3 se presentan 2 imágenes digitalizadas de una misma imagen radiográfica del patrón de barras, producida con una tensión de 26 kVp y una carga de 5 mAs, sin utilizar placas de acrílico. Las dos imágenes digitales corresponden a una orientación vertical y horizontal tal como se observan en la pantalla del monitor. La imagen radiográfica del patrón de barras tiene una densidad óptica, al centro de la placa radiográfica de 3.29. Observe que para una misma imagen digitalizada vertical y horizontalmente la primera es más oscura que la última si se excede el intervalo dinámico del digitalizador (escáner) que es de hasta 3.0 en densidad óptica.

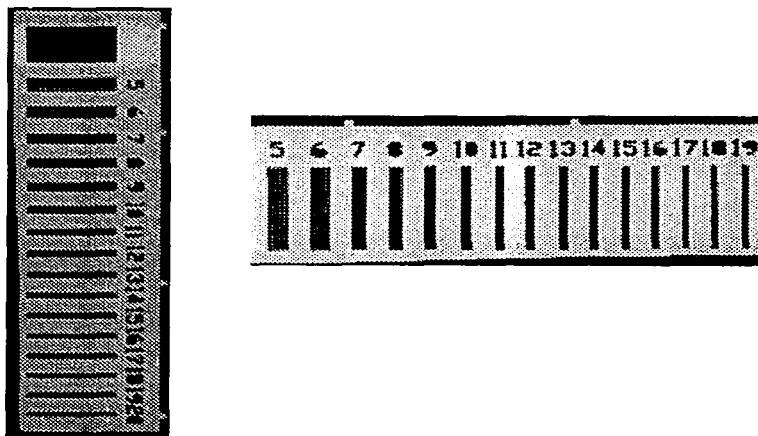


Figura 4.3. De izquierda a derecha: una imagen del patrón de barras digitalizado: vertical y horizontal.

En el tipo de imágenes presentadas de la cámara de rendija se mide el ancho de la imagen de la rendija y en las imágenes del patrón de barras se observa el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) que se alcanzan a distinguir en la imagen.

## 4.2 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS CON LA CÁMARA DE RENDIJA, EL PATRÓN DE ESTRELLA Y EL PATRÓN DE BARRAS

A continuación se presentan primero los datos obtenidos a partir de las imágenes producidas al efectuar las mediciones para determinar el tamaño del punto focal, usando cámara de rendija, patrón de estrella y patrón de barras, por el observador OF. Posteriormente estas imágenes fueron digitalizadas (con excepción del patrón de estrella), con el digitalizador Coolscan III (LS-30) y se presentan los resultados obtenidos por el observador OF a partir de su visualización en un monitor. Al final se presentan los datos obtenidos al evaluar visualmente las imágenes radiográficas de la cámara de rendija y el patrón de barras por el observador OH.

En las tablas presentadas, las casillas marcadas en gris corresponden a las recomendaciones del ACR [AC99], para la obtención de las imágenes radiográficas. Las abreviaturas  $a_{\text{perp}}$  y  $a_{\text{paral}}$  representan el ancho y largo de punto focal respectivamente. Los números de películas indican el orden en que se obtuvieron las imágenes radiográficas.

### A. Tamaño del punto focal con cámara de rendija

En la tabla 4.1 se presentan las mediciones hechas por el observador OF de las imágenes radiográficas obtenidas de la cámara de rendija, sobre un negatoscopio del servicio de radiología del INCAN y con una lente de 25X. Las imágenes se obtuvieron con un factor de amplificación de  $M = 2.64 \pm 0.05$ .  $I_{\text{perp}}$  e  $I_{\text{paral}}$  significan el ancho de la imagen de la rendija alineada perpendicular y paralelamente al eje ánodo-cátodo respectivamente. El tamaño del punto focal (ancho y largo) se calculó utilizando la ecuación 1.2.

Tabla 4.1. Resultados obtenidos con la cámara de rendija por el observador OF.

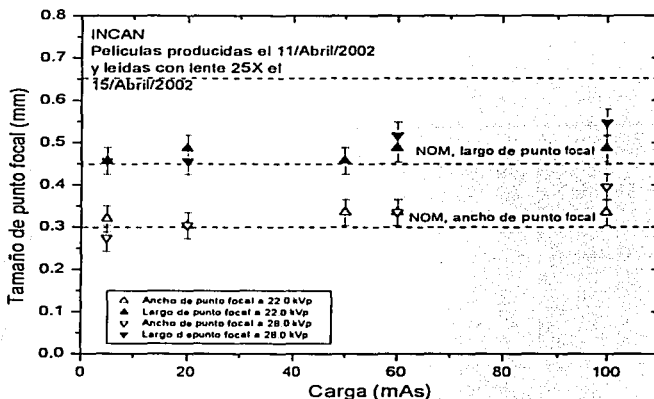
		<b>Tensión: 22 kVp</b>			
Película	Carga (mAs)	$I_{\text{paral}} \pm 0.05$ (mm)	$I_{\text{perp}} \pm 0.05$ (mm)	$a_{\text{perp}}^* \pm 0.03$ (mm)	$a_{\text{paral}}^* \pm 0.03$ (mm)
2	5	0.50	0.75	0.30	0.46
3	5	0.53	0.75	0.32	0.46
4	20	0.50	0.80	0.30	0.49
5	50	0.55	0.75	0.33	0.46
9	60	0.55	0.80	0.33	0.49
13	100	0.55	0.80	0.33	0.49

		<b>Tensión: 28 kVp</b>			
Película	Carga (mAs)	$I_{\text{paral}} \pm 0.05$ (mm)	$I_{\text{perp}} \pm 0.05$ (mm)	$a_{\text{perp}}^* \pm 0.03$ (mm)	$a_{\text{paral}}^* \pm 0.03$ (mm)
11	5	0.45	0.75	0.27	0.46
10	20	0.50	0.75	0.30	0.46
6	60	0.55	0.85	0.33	0.52
12	100	0.65	0.90	0.40	0.55

\*  $a_{\text{perp}}$  y  $a_{\text{paral}}$  representan el ancho y largo de punto focal respectivamente.

Los datos de la tabla 4.1 se presentan en la gráfica 4.1, donde se observa que para la tensión de 28 kVp se obtiene en general un tamaño de punto focal (ancho y largo) más grande que para 22 kVp sin importar la carga empleada; con excepción de 5 mAs donde además hay

acuerdo en el largo del punto focal para 22 y 28 kVp; y de 60 mAs donde hay acuerdo en el ancho del punto focal encontrado para ambas tensiones. Las líneas punteadas representan los intervalos de aceptación para el tamaño del punto focal de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM-158-SSA1-1996 [NO97] (aquellos puntos donde sólo se ve un símbolo blanco, indican coincidencia en el ancho o largo de punto focal observado vertical y horizontalmente).



Gráfica 4.1. Variación del tamaño del punto focal con la carga (mAs) para las tensiones de 22 y 28 kVp. Mediciones hechas por el observador OF.

En la tabla 4.2 se presentan las mediciones hechas en las imágenes digitalizadas de las imágenes radiográficas de la cámara de rendija. En cada imagen se hicieron tres mediciones del ancho de la imagen de la rendija en pixeles, tal como se muestra en la figura 3.7 y se reporta el promedio de las medidas. Después se obtiene el factor de conversión de pixeles a milímetros tal como se describe en el capítulo III, sección 3.2-B. cuyo valor es  $F = (9.35 \pm 0.06) * 10^{-3}$  mm/p. Con este factor de conversión se transforma el ancho promedio de la rendija en pixeles a milímetros y con la ecuación 1.2 se obtiene el tamaño del punto focal.  $I_{perp}$  e  $I_{paral}$  significan el ancho de la rendija alineada perpendicular y paralelamente al eje ánodo-cátodo respectivamente. Vertical y horizontal es la disposición de la rendija como se visualiza en el monitor y la palabra subrayada indica, de acuerdo con la figura 3.7: vertical: la imagen de la rendija se tomó paralela al eje ánodo-cátodo y horizontal: la imagen de la rendija se tomó perpendicular al eje ánodo-cátodo.

Los datos de la tabla 4.2 se presentan en la gráfica 4.2 (aquellos puntos donde sólo se ve un símbolo blanco, indican coincidencia en el ancho o largo de punto focal observado vertical y horizontalmente), donde se obtiene el mismo tamaño de punto focal sin importar si una misma imagen se digitalizó de tal forma que apareciera vertical u horizontalmente en la pantalla para una carga 50 y 60 mAs, a excepción del ancho del punto focal para la tensión de 22 kVp. En general el tamaño del punto focal obtenido (ancho y largo) es más grande al emplear la tensión de 28 kVp que la de 22 kVp.

Tabla 4.2. Resultados obtenidos al evaluar las imágenes digitalizadas de las imágenes radiográficas de la cámara de rendija.

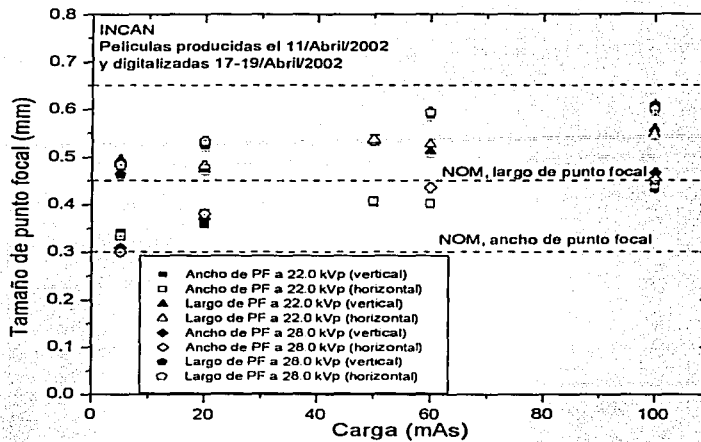
Tensión: 22 kVp

Película	Carga (mAs)	$I_{\text{paral prom}} \pm 1 (p)$		$I_{\text{perp prom}} \pm 1 (p)$		$I_{\text{paral prom}} \pm 0.009(\text{mm})$		$I_{\text{perp prom}} \pm 0.009 (\text{mm})$		$a_{\text{perp}} (\text{mm})$		$a_{\text{paral}} (\text{mm})$	
		vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal
3	5	60.0	58.7	87.0	85.3	0.561	0.549	0.814	0.798	$0.342 \pm 0.008$	$0.334 \pm 0.008$	$0.495 \pm 0.010$	$0.486 \pm 0.010$
4	20	63.0	67.0	83.3	84.7	0.589	0.627	0.780	0.792	$0.359 \pm 0.008$	$0.381 \pm 0.009$	$0.474 \pm 0.010$	$0.482 \pm 0.010$
5	50	71.3	71.7	94.0	94.3	0.667	0.670	0.879	0.882	$0.406 \pm 0.009$	$0.408 \pm 0.009$	$0.535 \pm 0.011$	$0.537 \pm 0.011$
9	60	70.7	70.7	90.0	92.3	0.661	0.661	0.842	0.864	$0.402 \pm 0.009$	$0.402 \pm 0.009$	$0.512 \pm 0.011$	$0.526 \pm 0.011$
13	100	76.0	77.3	98.0	96.3	0.711	0.723	0.917	0.901	$0.433 \pm 0.010$	$0.440 \pm 0.010$	$0.558 \pm 0.011$	$0.548 \pm 0.011$

Tensión: 28 kVp

Película	Carga (mAs)	$I_{\text{paral prom}} \pm 1 (p)$		$I_{\text{perp prom}} \pm 1 (p)$		$I_{\text{paral prom}} \pm 0.009(\text{mm})$		$I_{\text{perp prom}} \pm 0.009 (\text{mm})$		$a_{\text{perp}} (\text{mm})$		$a_{\text{paral}} (\text{mm})$	
		vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal
11	5	54.3	52.7	81.3	85.0	0.508	0.493	0.761	0.795	$0.309 \pm 0.008$	$0.300 \pm 0.008$	$0.463 \pm 0.010$	$0.484 \pm 0.010$
10	20	65.0	66.7	92.0	93.7	0.608	0.624	0.861	0.876	$0.370 \pm 0.009$	$0.380 \pm 0.009$	$0.524 \pm 0.011$	$0.533 \pm 0.011$
6	60	76.3	76.3	103.3	104.3	0.714	0.714	0.967	0.976	$0.435 \pm 0.010$	$0.435 \pm 0.010$	$0.588 \pm 0.012$	$0.594 \pm 0.012$
12	100	82.0	79.3	107.0	105.3	0.767	0.742	1.001	0.985	$0.467 \pm 0.010$	$0.452 \pm 0.010$	$0.609 \pm 0.012$	$0.600 \pm 0.012$

(p) significa número de pixeles



Gráfica 4.2. Variación del tamaño del punto focal con la carga (mAs) para las tensiones de 22 y 28 kVp. Mediciones hechas en las imágenes desplegadas en la pantalla del monitor. PF significa punto focal.

### B. Tamaño del punto focal con patrón de estrella

En la tabla 4.3 se presentan los resultados de las mediciones hechas en las imágenes radiográficas obtenidas al usar el patrón de estrella de 1° con una amplificación de  $M = 1.91 \pm 0.01$  y densidad óptica de  $2.0 \pm 0.01$  en las orillas de la imagen radiográfica del patrón de estrella. Se observa que el resultado para el tamaño del punto focal calculado, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM) es aceptable para el largo, más no para el ancho.

Tabla 4.3. Resultados encontrados usando un patrón de estrella de 1°.

Técnica (s/pantalla)	Tamaño nominal del punto focal (mm)	Longitud paralela al eje ánodo-cátodo (mm)	Longitud perpendicular al eje ánodo-cátodo (mm)	Receptor
Tensión: 24 kVp	0.3	0.44 ± 0.02	0.38 ± 0.02	Película s/pantalla
Carga: 40 mAs				18 x 24 cm

### C. Tamaño del punto focal con patrón de barras

Para calcular el tamaño del punto focal a partir de las imágenes del patrón de barras se deben utilizar los resultados obtenidos durante la prueba de resolución, lo que se presenta posteriormente (tabla 4.7).

En la tabla 4.4 se presentan los resultados de acuerdo con las mediciones hechas por el observador OF de las imágenes radiográficas obtenidas con el patrón de barras, sobre un negoscopio del servicio de radiología del INCAN y con una lente de 5X. Se utilizaron tres



técnicas diferentes, para ver su influencia en el tamaño del punto focal calculado. En cada imagen radiográfica se observó el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) distinguibles, y se obtuvo el tamaño del punto focal con la ecuación 1.12.  $I_{\text{perp}}$  e  $I_{\text{paral}}$  significan el ancho de la rendija alineada paralela y perpendicularmente al eje ánodo-cátodo respectivamente.

En todas las mediciones en las cuales se usó el patrón de barras la densidad óptica de la película (DOc) se midió al centro de la imagen del maniquí. "Comp." indica la posición del compresor según la escala del equipo de mamografía. Horizontal y vertical se refieren a la manera en que se observaron en la pantalla del monitor.

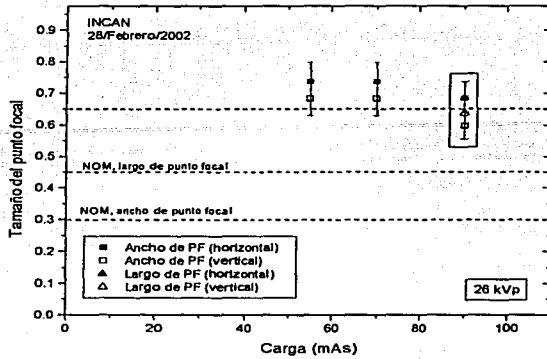
Gráficas representativas de los resultados de la tabla 4.4 se presentan en la gráfica 4.4 (aquellos puntos donde sólo se ve un símbolo blanco, indican coincidencia en el ancho o largo de punto focal observado vertical y horizontalmente). En la gráfica 4.4 a) se presentan sólo a manera de ejemplos, medidas del ancho del punto focal para 55 y 70 mAs, ya que estas imágenes no cumplen con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99]; y para 90 mAs no se obtiene acuerdo entre las medidas hechas visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio. En la gráfica 4.4 b) se presentan sólo medidas del ancho del punto focal para 0.5 y 0.7 mm de Al 1100 ya que no presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]; y en las obtenidas al usar 1.0 mm de Al 1100, visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio, no se obtiene acuerdo en el ancho ni en el largo del punto focal. En la gráfica 4.4 c) sólo se presentan medidas del ancho del punto focal ya que ninguna de las técnicas utilizadas produce imágenes radiográficas con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99].

Tabla 4.4 Resultados del tamaño del punto focal al utilizar un patrón de barras paralelas. Imágenes radiográficas analizadas por el observador OF.

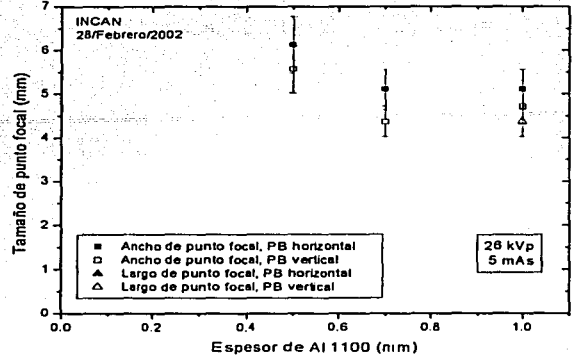
Película	Atenuador $\pm 0.05$ mm de Al 1100	M** $\pm 0.02$	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOc	Comp. $\pm$ 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	a <sub>perp</sub> (mm)		a <sub>paral</sub> (mm)	
								Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB* sobre las placas											
1	---	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	$0.684 \pm 0.053$	$0.737 \pm 0.061$		
2			26	70	0.88	4.2	paral	$0.684 \pm 0.053$	$0.737 \pm 0.061$		
3			26	90	1.18	4.2	paral	$0.599 \pm 0.042$	$0.684 \pm 0.053$		
4			26	90	1.22	4.2	perp			$0.638 \pm 0.047$	$0.684 \pm 0.053$
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis											
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	$5.567 \pm 0.539$	$6.124 \pm 0.645$		
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	$4.374 \pm 0.344$	$5.103 \pm 0.458$		
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	$4.711 \pm 0.394$	$5.103 \pm 0.458$		
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp			$4.374 \pm 0.344$	$4.374 \pm 0.344$
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas											
9	---	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	Imposible de visualizar, imagen muy clara			
10			30	120	0.25	4.2	paral	$0.917 \pm 0.082$	$1.000 \pm 0.096$		
11			32	210	0.54	5.5	paral	$0.611 \pm 0.039$	$0.647 \pm 0.043$		
12			34	180	0.59	5.5	paral	$0.579 \pm 0.036$	$0.647 \pm 0.043$		

\* PB significa patrón de barras

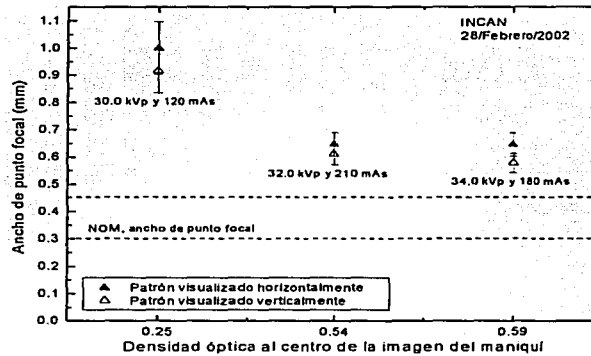
\*\* M significa factor de amplificación



a)



b)



c)

Gráfica 4.4. Resultados del tamaño del punto focal (ancho y largo), obtenidos con un patrón de barras por el observador OF, presentados en la tabla 4.4. Se presentan las gráficas: a) películas 1 a 4, b) películas 5 a 8 y c) películas 9 a 12. Se enmarcan las medidas de las imágenes que presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]. PF significa punto focal y PB significa patrón de barras.

En la tabla 4.5 se presentan las mediciones hechas por el observador OF en las imágenes digitalizadas del patrón de barras. En todas las imágenes se observa el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) que se alcanzan a distinguir en la pantalla del monitor. Con estos datos se calcula el tamaño del punto focal (ancho y largo) de acuerdo con la ecuación 1.12.

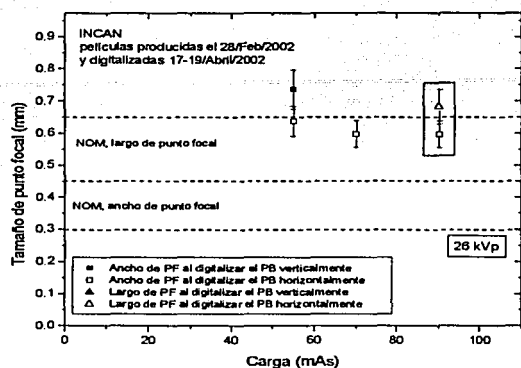
Gráficas representativas de los resultados de la tabla 4.5 se presentan en la gráfica 4.5 (aquellos puntos donde sólo se ve un símbolo blanco, indican coincidencia en el ancho o largo de punto focal observado vertical y horizontalmente). En la gráfica 4.5 a) se presentan sólo a manera de ejemplos, medidas del ancho del punto focal para 55 y 70 mAs, ya que estas imágenes no cumplen con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99]; y para 90 mAs, en las medidas hechas visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en el monitor, se obtiene acuerdo. En la gráfica 4.5 b) se presentan sólo medidas del ancho del punto focal para 0.5 y 0.7 mm de Al 1100, ya que las imágenes radiográficas no presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]; y en las obtenidas al usar 1.0 mm de Al 1100, visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio, no se obtiene acuerdo en el ancho ni en el largo. En la gráfica 4.5 c) sólo se presentan medidas del ancho del punto focal ya que ninguna de las técnicas utilizadas produce imágenes radiográficas con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99].

Tabla 4.5. Resultados del tamaño del punto focal al utilizar un patrón de barras paralelas. Las imágenes radiográficas son digitalizadas y analizadas en la pantalla del monitor.

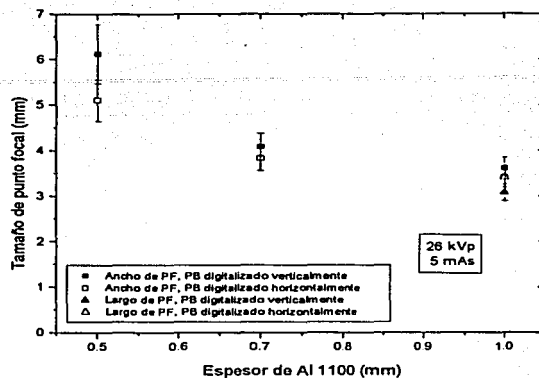
Película	Atenuador $\pm 0.05$ mm de Al 1100	M** $\pm 0.02$	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOc	Comp. $\pm$ 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	a <sub>perp</sub> (mm)		a <sub>paral</sub> (mm)	
								Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB* sobre las placas</b>											
1	—	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	$0.737 \pm 0.061$	$0.638 \pm 0.047$		
2			26	70	0.88	4.2	paral	$0.599 \pm 0.042$	$0.599 \pm 0.042$		
3			26	90	1.18	4.2	paral	$0.599 \pm 0.042$	$0.599 \pm 0.042$		
4			26	90	1.22	4.2	perp			$0.684 \pm 0.054$	$0.684 \pm 0.054$
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis</b>											
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	$6.124 \pm 0.642$	$5.103 \pm 0.455$		
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	$4.083 \pm 0.301$	$3.828 \pm 0.268$		
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	$3.602 \pm 0.241$	$3.402 \pm 0.218$		
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp			$3.062 \pm 0.184$	$3.402 \pm 0.220$
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas</b>											
9	—	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	Imposible de visualizar, imagen muy clara			
10			30	120	0.25	4.2	paral	$0.786 \pm 0.061$	$0.786 \pm 0.061$		
11			32	210	0.54	5.5	paral	$0.579 \pm 0.036$	$0.611 \pm 0.039$		
12			34	180	0.59	5.5	paral	$0.579 \pm 0.036$	$0.611 \pm 0.039$		

\* PB significa patrón de barras

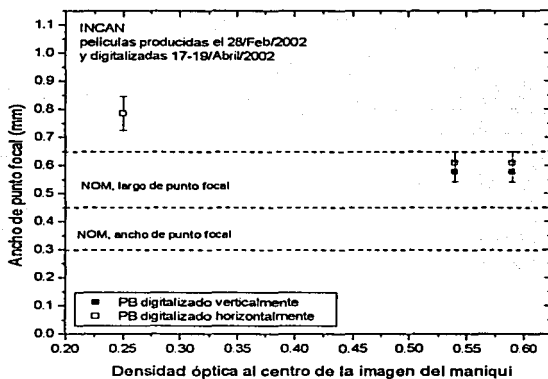
\* M significa factor de amplificación



a)



b)



c)

Gráfica 4.5. Resultados del tamaño del punto focal (ancho y largo), obtenidos al visualizar imágenes de un patrón de barras en un monitor, presentados en la tabla 4.5. Se presentan las gráficas: a) películas 1 a 4, b) películas 5 a 8 y c) películas 9 a 12. Se enmarcan las medidas de las imágenes radiográficas que presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]. PF significa punto focal y PB significa patrón de barras.

#### D. Resolución con patrón de barras

En la tabla 4.6 se presentan las mediciones hechas por el observador OF de las imágenes radiográficas obtenidas con patrón de barras, sobre un negatoscopio del servicio de radiología del INCAN y con una lente de 5X. Se utilizaron tres técnicas diferentes, para ver la resolución alcanzada en cada una de ellas. En cada imagen se observó el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) distinguibles en la imagen radiográfica.

De los resultados de la tabla 4.6 se observa que ninguna de las técnicas utilizadas produce imágenes radiográficas con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99], con excepción de la imagen 4. Ésta cumple con el criterio de resolución sugerido por el ACR, pero no existe acuerdo en la resolución observada en la imagen radiográfica del patrón de barras al ver la imagen vertical y horizontalmente en la pantalla del negatoscopio. Gráficas representativas de los resultados de la tabla 4.6 se presentan en la gráfica 4.6.

En la tabla 4.7 se presentan las mediciones hechas en las imágenes digitalizadas de las imágenes radiográficas del patrón de barras. En todas las imágenes se observa el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) que se alcanzan a distinguir en la pantalla del monitor.

De los resultados de la tabla 4.7 se observa que de las técnicas utilizadas para la producción de las imágenes del patrón de barras, alineado paralela y perpendicularmente con el eje ánodo-cátodo, sólo aquella realizada con pantalla intensificadora y con placas de acrílico produce imágenes con la densidad óptica recomendada por el ACR [AC99]. Estas imágenes con DOc de 1.18 y 1.22 presentan el mismo número de pl/mm al observarse tanto vertical como horizontalmente en la pantalla del monitor. Gráficas representativas de los resultados de la tabla 4.7 se presentan en la gráfica 4.7 (aquellos puntos donde sólo se ve un símbolo blanco, indican coincidencia en el número de pl/mm observado vertical y horizontalmente).

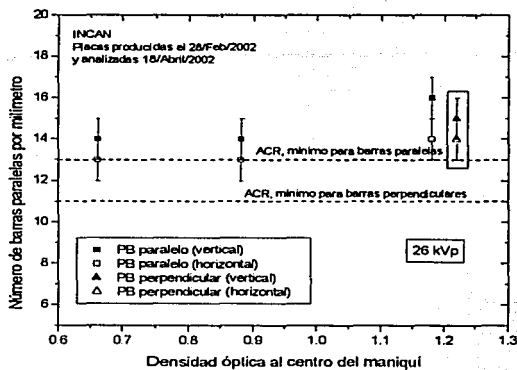
Tabla 4.6. Resultados de la resolución al utilizar un patrón de barras paralelas. Imágenes radiográficas analizadas por el observador OF.

Película	Atenuador ± 0.05 mm de Al 1100	M** ± 0.02	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOC	Comp. ± 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	Horizontal ± 1 pl/mm	Vertical ± 1 pl/mm
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB *sobre las placas</b>									
1	—	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	13	14
2			26	70	0.88	4.2	paral	13	14
3			26	90	1.18	4.2	paral	14	16
4			26	90	1.22	4.2	perp	14	15
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis</b>									
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	10	11
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	12	14
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	12	13
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp	14	14
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas</b>									
9	---	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	No se puede determinar el número de pl/mm	
10			30	120	0.25	4.2	paral	11	12
11			32	210	0.54	5.5	paral	17	18
12			34	180	0.59	5.5	paral	17	19

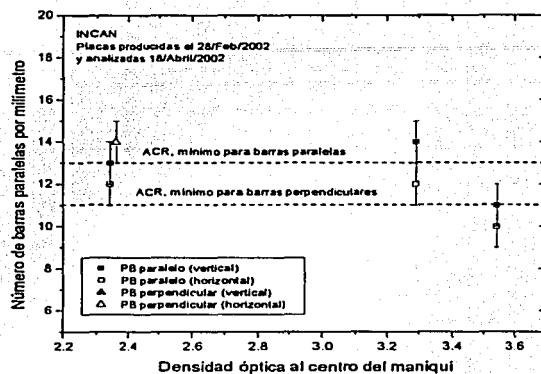
\* PB significa patrón de barras.

\* M significa factor de amplificación

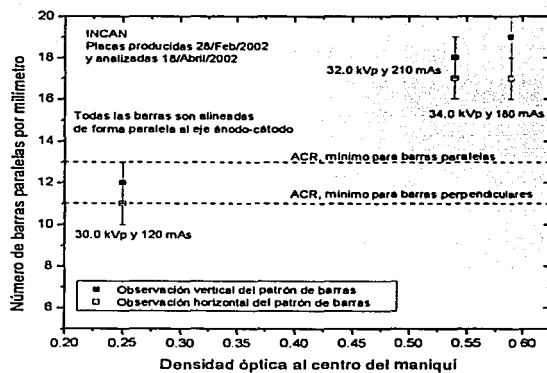




a)



b)



c)

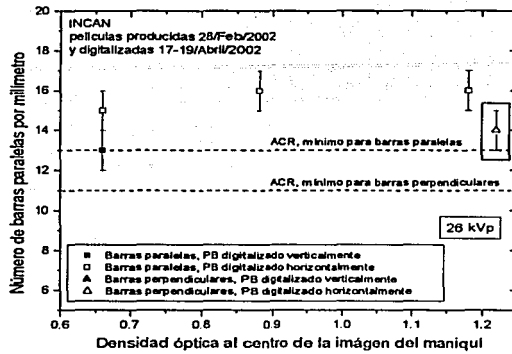
Gráfica 4.6. Resultados de la resolución del equipo en pares de líneas por milímetro obtenidos al visualizar imágenes de un patrón de barras por el observador OF, presentados en la tabla 4.6. Se presentan las gráficas: a) películas 1 a 4, b) películas 5 a 8 y c) películas 9 a 12. Se enmarcan las medidas de las imágenes radiográficas que presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]. PB significa patrón de barras.

Tabla 4.7. Resultados de la resolución al utilizar un patrón de barras paralelas. Las imágenes radiográficas son digitalizadas y analizadas en la pantalla del monitor.

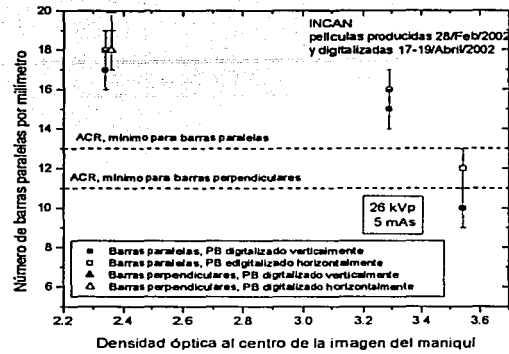
Película	Atenuador ± 0.05 mm de Al 1100	M** ± 0.02	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOc	Comp. ± 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	Horizontal ± 1 pl/mm	Vertical ± 1 pl/mm
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB* sobre las placas									
1	--	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	13	15
2			26	70	0.88	4.2	paral	16	16
3			26	90	1.18	4.2	paral	16	16
4			26	90	1.22	4.2	perp	14	14
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis									
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	10	12
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	15	16
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	17	18
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp	20	18
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas									
9	--	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	No se puede determinar el número de pl/mm	
10			30	120	0.25	4.2	paral	14	14
11			32	210	0.54	5.5	paral	19	18
12			34	180	0.59	5.5	paral	19	18

\* PB significa patrón de barras.

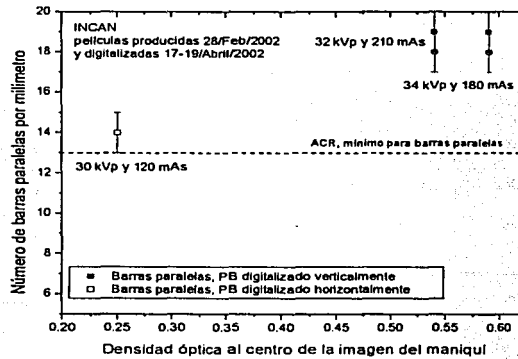
\*\* M significa factor de amplificación



a)



b)



c)

Gráfica 4.7. Resultados de la resolución del equipo en pares de líneas por milímetro obtenidos al visualizar imágenes de un patrón de barras en un monitor, presentados en la tabla 4.7. Se presentan las gráficas: a) películas 1 a 4, b) películas 5 a 8 y c) películas 9 a 12. Se enmarcan las medidas de las imágenes radiográficas que presentan densidades ópticas recomendadas por el ACR [AC99]. PB significa patrón de barras.

E. Resultados de las mediciones realizadas con la cámara de rendija y el patrón de barras, de acuerdo con las mediciones del observador OH

A continuación se presentan las tablas de resultados que obtuvo el observador OH al evaluar las imágenes radiográficas de la cámara de rendija y el patrón de barras en un negatoscopio del servicio de radiología del INCAN. Las abreviaturas  $a_{\text{perp}}$  y  $a_{\text{paral}}$  representan el ancho y largo de punto focal respectivamente. Los números de películas indican el orden en que se obtuvieron las imágenes radiográficas.

En la tabla 4.8 se presentan las mediciones hechas por el observador OH de las imágenes radiográficas obtenidas de la cámara de rendija, sobre un negatoscopio del servicio de radiología del INCAN y con una lente de 25X. Las imágenes se obtuvieron con un factor de amplificación de  $M = 2.64 \pm 0.05$ .  $I_{\text{perp}}$  e  $I_{\text{paral}}$  significan el ancho de la rendija alineada perpendicular y paralelamente al eje ánodo-cátodo respectivamente. El tamaño del punto focal (ancho y largo) se hizo utilizando la ecuación 1.2.

Tabla 4.8. Resultados obtenidos con la cámara de rendija por el observador OH.

Tensión: 22 kVp

Película	mAs	$I_{\text{paral}} \pm 0.05$ (mm)	$I_{\text{perp}} \pm 0.05$ (mm)	$a_{\text{perp}}^* \pm 0.03$ (mm)	$a_{\text{paral}}^* \pm 0.03$ (mm)
2	5	0.50	0.75	0.30	0.46
3	5	0.55	0.75	0.33	0.46
4	20	0.55	0.80	0.33	0.49
5	50	0.55	0.75	0.33	0.46
9	60	0.55	0.90	0.33	0.55
13	100	0.55	0.90	0.33	0.55

Tensión: 28 kVp

Película	mAs	$I_{\text{paral}} \pm 0.05$ (mm)	$I_{\text{perp}} \pm 0.05$ (mm)	$a_{\text{perp}}^* \pm 0.03$ (mm)	$a_{\text{paral}}^* \pm 0.03$ (mm)
11	5	0.50	0.75	0.30	0.46
10	20	0.55	0.90	0.33	0.55
6	60	0.55	0.90	0.33	0.55
12	100	0.50	0.95	0.30	0.58

\*  $a_{\text{perp}}$  y  $a_{\text{paral}}$  representan el ancho y largo de punto focal respectivamente.

En la tabla 4.9 se presentan las mediciones usadas para el cálculo del tamaño del punto focal hechas por el observador OH. Estas medidas fueron obtenidas con las imágenes del patrón de barras colocadas sobre un negatoscopio del servicio y con una lente de 5X. Se utilizaron tres técnicas diferentes, para ver su influencia en el tamaño de punto focal calculado. En cada imagen se observó el número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm) distinguibles en la imagen radiográfica (ver tabla 4.6) y se obtuvo el tamaño de punto focal con la ecuación 1.12. La densidad óptica de la película (DOc) se midió al centro de la imagen del maniquí. "Comp." indica la posición del compresor según la escala del equipo de mamografía. Vertical y horizontal indican la forma en que se visualizaron en la pantalla del negatoscopio.

Tabla 4.9. Resultados del tamaño del punto focal al utilizar un patrón de barras paralelas. Imágenes radiográficas analizadas por el observador OH.

Película	Atenuador $\pm 0.05$ mm de Al 100	M** $\pm 0.02$	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOc	Comp. $\pm$ 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	a <sub>perp</sub> (mm)		a <sub>paral</sub> (mm)	
								Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB *sobre las placas</b>											
1	---	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	0.684 $\pm$ 0.053	0.684 $\pm$ 0.053		
2			26	70	0.88	4.2	paral	0.737 $\pm$ 0.061	0.684 $\pm$ 0.053		
3			26	90	1.18	4.2	paral	0.684 $\pm$ 0.053	0.638 $\pm$ 0.047		
4			26	90	1.22	4.2	perp			0.684 $\pm$ 0.047	0.638 $\pm$ 0.053
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis</b>											
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	5.567 $\pm$ 0.539	5.567 $\pm$ 0.539		
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	5.103 $\pm$ 0.458	5.103 $\pm$ 0.458		
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	5.567 $\pm$ 0.539	4.711 $\pm$ 0.394		
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp			4.083 $\pm$ 0.344	4.083 $\pm$ 0.344
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>											
<b>Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas</b>											
9	---	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	Imposible de visualizar, imagen muy clara			
10			30	120	0.25	4.2	paral	1.000 $\pm$ 0.096	1.000 $\pm$ 0.096		
11			32	210	0.54	5.5	paral	0.611 $\pm$ 0.039	0.611 $\pm$ 0.039		
12			34	180	0.59	5.5	paral	0.647 $\pm$ 0.043	0.647 $\pm$ 0.043		

\* PB significa patrón de barras

\*\* M significa factor de amplificación

En la tabla 4.10 se presentan los resultados de la resolución al utilizar un patrón de barras paralelas de acuerdo con las mediciones hechas por el observador OH. Las imágenes del patrón de barras se visualizaron sobre un negoscopio del servicio con una lente de 5X. Se utilizaron tres técnicas diferentes, para ver la resolución alcanzada en cada una de ellas. En cada imagen se observó el número máximo de pl/mm distinguibles en la imagen radiográfica.

Tabla 4.10. Resultados de la resolución al utilizar un patrón de barras paralelas. Imágenes radiográficas analizadas por el observador OH.

Película	Atenuador ± 0.05 mm de Al 1100	M** ± 0.02	Tensión (kVp)	Carga (mAs)	DOc	Comp. ± 0.1 (cm)	Alineación de las barras con respecto al eje ánodo-cátodo	Horizontal ± 1 p/mm	Vertical ± 1 p/mm
<b>Con pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis en el portachasis, placas sobre portachasis y PB* sobre las placas</b>									
1	---	1.12	26	55	0.66	4.40	paral	14	14
2			26	70	0.88	4.2	paral	14	13
3			26	90	1.18	4.2	paral	15	14
4			26	90	1.22	4.2	perp	15	14
<b>Con pantalla intensificadora y sin placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis sobre portachasis y PB directamente sobre el chasis</b>									
5	0.5	1.02	26	5	3.54	1.5	paral	11	11
6	0.7		26	5	3.29	1.5	paral	12	12
7	1.0		26	5	2.34	1.5	paral	13	11
8	1.0		26	5	2.36	1.5	perp	15	15
<b>Sin pantalla intensificadora y con placas de acrílico (4.5 cm)</b>									
<b>Chasis sobre el portachasis, placas sobre el chasis y PB sobre las placas</b>									
9	---	1.10	26	90	0.22	4.2	paral	No se puede determinar el número de p/mm	
10			30	120	0.25	4.2	paral	11	11
11			32	210	0.54	5.5	paral	18	18
12			34	180	0.59	5.5	paral	17	17

\* PB significa patrón de barras

\*\* M significa factor de amplificación

## CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El capítulo presenta el análisis de los resultados obtenidos para el tamaño del punto focal usando la cámara de rendija, el patrón de estrella y el patrón de barras. Se presentan de igual forma los resultados obtenidos para la resolución usando el patrón de barras. Al final se encuentran las conclusiones de este trabajo de tesis.

### 5.1 TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL

#### A. Cámara de rendija

##### A.1 Análisis por el observador OF

Se evalúan en un negatoscopio las imágenes de la cámara de rendija con una lupa de 25X con rejilla graduada.

De acuerdo con la tabla y la gráfica 4.1 obtenemos que para la tensión de 22 kVp el valor promedio para el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.32 con  $\sigma = 0.01$  mm y 0.48 con  $\sigma = 0.02$  mm, respectivamente. Para la tensión de 28 kVp el valor promedio para el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.33 con  $\sigma = 0.05$  mm y 0.50 con  $\sigma = 0.04$  mm, respectivamente, lo que indica que la dispersión en el ancho y en el largo del tamaño del punto focal calculado es más pequeña para 22 kVp que para 28 kVp. Esto último se debe a que a 28 kVp, al aumentar la carga se incrementa la densidad óptica en la imagen, pudiéndose apreciar mejor. En ambos casos, tanto para 22 como para 28 kVp, al aumentar el mAs, el tamaño del punto focal calculado es mayor. De acuerdo con el Colegio Estadounidense de Radiología (ACR) [AC99], la medida del tamaño del punto focal se debe hacer con la tensión de 28 kVp y carga de 60 mAs; para esta exposición en particular obtenemos  $0.33 \pm 0.03$  y  $0.52 \pm 0.03$  mm para el ancho y largo del punto focal respectivamente; lo que significa un punto focal aceptable de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM), que establece que el valor para el ancho del punto focal debe estar entre [0.3 - 0.45] mm y para el largo entre [0.45 - 0.65] mm.

##### A.2 Análisis al digitalizar las imágenes

Se evalúan las imágenes en un monitor, habiendo sido éstas digitalizadas con el equipo Nikon, Coolscan III (LS-30).

A partir de la tabla y la gráfica 4.2 obtenemos que para la tensión de 22 kVp el valor promedio para el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.391 con  $\sigma = 0.034$  mm y 0.515 con  $\sigma = 0.028$  mm respectivamente. Para la tensión de 28 kVp el valor promedio para



el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.393 con  $\sigma = 0.060$  mm y 0.549 con  $\sigma = 0.052$  mm respectivamente, lo que indica que la dispersión en el ancho y en el largo del tamaño del punto focal calculado es más pequeña para 22 kVp que para 28 kVp.

En todos los casos, tanto para la tensión como para la posición de la imagen de la rendija en el monitor, al aumentar la carga se incrementa el tamaño del punto focal calculado. Esto último se debe a que al aumentar la carga se incrementa la densidad óptica en la imagen.

Para 5 mAs las imágenes son muy claras y para 100 mAs las imágenes son muy oscuras, por lo que su evaluación no es la adecuada.

Se obtiene acuerdo en el ancho del punto focal de las imágenes obtenidas a 22 kVp con 60 mAs y digitalizadas de tal forma que aparecen vertical y horizontal en la pantalla del monitor. Este comportamiento se observa también a 28 kVp con 60 mAs, pero ahora se obtienen tamaños del punto focal un poco más grandes que a 22 kVp. Una explicación es que a mayor kVp la energía e intensidad del haz de rayos X es mayor, debido a esto la imagen se hace más oscura, y hay un ensanchamiento de la imagen de la rendija en la película radiográfica. Debido a esto, se observa también este ensanchamiento, al ser digitalizadas las imágenes.

Al comparar los tamaños del punto focal al digitalizar una misma imagen de tal forma que esta aparece horizontal o vertical en la pantalla del monitor, se tiene la menor variación para 22 kVp a 50 mAs (0.4 %) y para 28 kVp a 60 mAs (1.1 %) en lo que respecta al largo del punto focal, ya que el ancho del punto focal con estas técnicas es el mismo (horizontal y vertical). De acuerdo con el ACR [AC99], la medida del punto focal se debe hacer a 28 kVp con 60 mAs; para esta exposición obtenemos un valor promedio (horizontal y vertical) de  $0.435 \pm 0.010$  y de  $0.591 \pm 0.012$  mm para el ancho y largo del punto focal respectivamente, lo que significa un punto focal aceptable de acuerdo con la NOM: [0.3-0.45] mm para el ancho y [0.45-0.65] mm para el largo del punto focal.

A 28 kVp se obtuvo que las imágenes digitalizadas de tal forma que se visualicen verticalmente en la pantalla del monitor fueron más oscuras que las digitalizadas horizontalmente. Una posible explicación es que esto se debe al intervalo dinámico del digitalizador de 3.0 en densidad óptica, lo que hace que las imágenes radiográficas oscuras ( $DO > 3.0$ ) al ser digitalizadas no sean confiables para el análisis del punto focal. Al usar la tensión de 22 kVp esta diferencia no se observa y el tamaño del punto focal calculado promedio (horizontal y vertical), para esta tensión, con la carga de 60 mAs es  $0.402 \pm 0.009$  y  $0.519 \pm 0.011$  mm para el ancho y largo del punto focal respectivamente.

### A.3 Análisis por el observador OH

Se presentan los resultados obtenidos por el observador OH al usar la misma lupa de 25X y bajo las mismas condiciones que el observador OF.

De acuerdo con la tabla y la gráfica 4.8 obtenemos que para la tensión de 22 kVp el valor promedio para el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.32 con  $\sigma = 0.01$  mm y 0.49

con  $\sigma = 0.04$  mm respectivamente. Para la tensión de 28 kVp el valor promedio para el ancho y largo del tamaño del punto focal es 0.31 con  $\sigma = 0.01$  mm y 0.53 con  $\sigma = 0.04$  mm respectivamente, lo que indica que la dispersión en el ancho y en el largo del tamaño del punto focal calculado es más pequeña para 22 kVp que para 28 kVp. Esto último se debe a que a 28 kVp al aumentar la carga se incrementa la densidad óptica en la imagen, pudiéndose apreciar mejor. En ambos casos, tanto para 22 como para 28 kVp, al aumentar el mAs, el tamaño del punto focal calculado es mayor. De acuerdo con el Colegio Estadounidense de Radiología (ACR) [AC99], la medida del tamaño del punto focal se debe hacer con la tensión de 28 kVp y carga de 60 mAs; para esta exposición en particular obtenemos  $0.33 \pm 0.03$  y  $0.55 \pm 0.03$  mm para el ancho y largo del punto focal respectivamente; lo que significa un punto focal aceptable de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM) [NO97], que establece que el valor para el ancho del punto focal debe estar entre [0.3 - 0.45] mm y para el largo entre [0.45 - 0.65] mm.

#### A.4 Comparación entre los resultados de OF al usar una lupa y un digitalizador

Al comparar los resultados obtenidos por OF al evaluar las imágenes, primero en un negatoscopio con una lupa de 25X (con rejilla graduada) y segundo, los obtenidos al evaluar las imágenes en un monitor, se observa que los tamaños del punto focal calculados con el segundo método son mayores que al emplear el primero, aproximadamente un 11% en promedio.

Comparando las imágenes producidas con la técnica recomendada por el ACR, se encuentra que el punto focal es 24 % más ancho y 14% más largo al usar el digitalizador. Además, al utilizar una lupa para obtener el ancho del punto focal, usando la carga de 60 mAs, tanto para 22 kVp y 28 kVp, el tamaño es el mismo. Sin embargo, al usar el digitalizador el tamaño del punto focal calculado a 28 kVp con 60 mAs es mayor que para 22 kVp con la misma carga, que es lo que se espera debido a que la energía e intensidad del haz de rayos X es mayor a 28 kVp, por lo que la imagen resulta más oscura y la película radiográfica puede llegar a saturarse.

#### A.5 Comparación entre los observadores OF y OH

Se presenta la comparación entre los observadores OF y OH usando una lupa de 25X con rejilla graduada.

Se tiene buen acuerdo del tamaño del punto focal tanto para el ancho como para el largo al utilizar 22 kVp con 50 mAs.

Para 22 kVp se tiene un buen acuerdo entre el largo y ancho del punto focal calculado por los dos observadores al usar una carga  $\leq 50$  mAs (a excepción de 20 mAs para el ancho del punto focal). Para 28 kVp los tamaños del punto focal son mayores que a 22.0 kVp y hay acuerdo entre los observadores para el ancho del punto focal para 60 mAs, y en largo para 5 mAs.

Hay acuerdo entre los observadores para el largo del punto focal calculado para 22 y 28 kVp con una carga de 5 mAs, pero no para el ancho del punto focal. Se observa que a mayor tensión el desacuerdo de los observadores es más significativo. Una probable razón es que la densidad óptica de las imágenes influye en la visión de los observadores. Para que exista acuerdo (ancho y largo de punto focal) entre los observadores se sugiere utilizar una imagen que no sea ni muy clara ni muy oscura; es decir, una densidad óptica "intermedia", se recomienda usar 22 kVp con 50 mAs o 28 kVp con 60 mAs.

Al promediar el tamaño del punto focal (ancho y largo por separado), para los distintos mAs utilizados se obtiene buen acuerdo entre observadores para el ancho, pero no para el largo de punto focal.

La variación mínima en el cálculo del ancho y largo del punto focal hecho por los observadores ocurre a 28 kVp con 60 mAs que es la técnica recomendada por el ACR [AC99].

### B. Patrón de estrella

La imagen del patrón de estrella fue evaluada sólo por el observador OF, encontrando valores de  $0.38 \pm 0.02$  y  $0.44 \pm 0.02$  mm para el ancho y largo del punto focal, respectivamente, usando una tensión de 24 kVp con 40 mAs de carga. De acuerdo con las recomendaciones de la NOM, el ancho del punto focal cumple con la recomendación [0.3 – 0.45] mm, pero el largo no, ya que es 0.01 mm menor que lo recomendado por la NOM [0.45 – 0.65] mm. Sin embargo aunque esta última medida del punto focal no cumple con las recomendaciones de la NOM para el largo, de acuerdo con los resultados usando la cámara de rendija, tanto el ancho como el largo del punto focal cumplen con la NOM.

### C. Patrón de barras

Se utiliza, para la obtención de la imagen radiográfica del patrón de barras, una combinación de película-pantalla y sólo película. Se decide utilizar estas técnicas debido a la discusión entre Kimme-Smith [Ki88], indicando que el tamaño calculado del punto focal es mayor al utilizar pantalla intensificadora, y Tang y Barnes [Ta95], que encuentran un tamaño del punto focal calculado es ligeramente menor al usar pantalla intensificadora que al no usarla.

Para las mediciones usando el patrón de barras la película 9 fue imposible de evaluar ya que es muy clara ( $DOc = 0.22$ ) y no se pudo visualizar ningún par de líneas por milímetro (pl/mm).

#### C.1 Análisis por el observador OF

Se evalúan en un negatoscopio las imágenes del patrón de barras con una lupa de 5X.

De acuerdo con la tabla y gráfica 4.4 se observa que para las películas 1 a 4, tanto el ancho como el largo del punto focal es mayor al ver el patrón de barras horizontal que verticalmente en la pantalla del negatoscopio. Para las películas 5 a 8, se observa también este comportamiento, salvo para la película 4 para la cual hay acuerdo, que se produjo al evaluar el largo del punto focal usando la tensión de 26 kVp, carga de 5 mAs y 1.0 mm de Al 1100 a la salida del colimador. Para las películas 10 a 12 el ancho del punto focal es mayor al ver el patrón de barras horizontal que verticalmente en la pantalla del negatoscopio.

El único acuerdo en el tamaño del punto focal calculado al ver las imágenes del patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio se obtiene para la película 8 ( $DOc = 2.36$ ).

Todos los resultados obtenidos muestran un tamaño del punto focal mayor que los recomendados por la NOM, hasta de un orden de magnitud superior para las películas 5 a 8. La menor diferencia al observar el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio se obtiene en la película 11, en la cual se obtuvo una  $DOc$  de 0.54.

### C.2 Análisis por el observador OF al digitalizar las imágenes

Se evalúan las imágenes en un monitor, habiendo sido éstas digitalizadas con el equipo Nikon, Coolscan III (LS-30).

De acuerdo con la tabla y la gráfica 4.5; para las películas 1 a 4 hay acuerdo en el tamaño del punto focal encontrado, al visualizar la imagen digital del patrón de barras horizontal en el monitor, con excepción de las imágenes tomadas con la carga de 55 mAs. Para las películas 5 a 8 el ancho del punto focal encontrado al evaluar las imágenes, de tal forma que aparezcan verticalmente en el monitor, es mayor que al evaluarlas horizontalmente, y menor en el caso del largo del punto focal. La película 9 fue imposible de evaluar en el monitor ya que es muy clara ( $DOc = 0.22$ ) y no se pudo visualizar ningún par de líneas por milímetro (pl/mm). Para las películas 10 ( $DOc = 0.22$ ) existe acuerdo para el ancho del punto focal calculado.

En todas las imágenes, la forma de evaluarlas verticalmente en el negatoscopio lleva a un cálculo del punto focal menor que para el horizontal, a excepción de las películas 11 y 12.

### C.3 Análisis por el observador OH

Se presentan los resultados obtenidos por el observador OH al usar la misma lupa de 5X y bajo las mismas condiciones que el observador OF.

De acuerdo con la tabla 4.9 se observa que para las películas 1 a 4 tanto el ancho como el largo del punto focal es mayor al ver el patrón de barras horizontal que verticalmente en la pantalla del negatoscopio, a excepción de la película 1 para la cual existe acuerdo entre ambas medidas. Para las películas 5 a 8 se observa que, a excepción de la película 7, en todas hay acuerdo al evaluar las imágenes horizontal y verticalmente en el negatoscopio.

Para las películas 10 a 12 existe acuerdo en los resultados al evaluar las imágenes vertical y horizontalmente en la pantalla del negatoscopio.

#### C.4 Comparación entre los resultados de OF al usar una lupa y un digitalizador.

Se presentan las comparaciones entre los resultados del observador OF al evaluar las imágenes con una lupa y al digitalizarlas.

En las películas evaluadas en el monitor, se obtienen más acuerdos entre verlas horizontal y verticalmente, que las evaluadas en el negatoscopio. Al evaluar las imágenes en la pantalla del monitor hay acuerdo en el tamaño del punto focal calculado visualizando las imágenes horizontal y verticalmente para las películas 2 a 4 y 7 a 12. Al usar la lupa para evaluar todas las películas (a excepción para 1, 2 y 8 en las cuales hay acuerdo), se obtienen tamaños del punto focal mayores al evaluarlas horizontal que verticalmente en el negatoscopio, mientras que esto sólo sucede para las películas 11 y 12 en la pantalla del monitor. Además, de acuerdo con lo recomendado por el ACR se debe usar una técnica de 28 kVp con 60 mAs para producir una imagen para evaluar el tamaño del punto focal. De esta forma, al evaluar las imágenes producidas con la técnica recomendada, se obtiene acuerdo en el tamaño del punto focal calculado entre visualizarlas horizontal y verticalmente en el monitor, mientras que esto no ocurre al evaluarlas horizontal y verticalmente en el negatoscopio.

#### C.5 Comparación entre los observadores OF y OH

Se presenta la comparación entre los observadores OF y OH usando una lupa de 5X.

El observador OH presenta más coincidencias en el tamaño del punto focal calculado entre ver las imágenes vertical y horizontalmente en el negatoscopio que el observador OF. De las 18 evaluaciones de las imágenes para calcular el ancho del punto focal, hay acuerdo entre los observadores en 6 de ellas. Para calcular el largo del punto focal no hay acuerdo entre ver el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio. El ACR recomienda producir imágenes del patrón de barras con una densidad óptica entre 1.2 y 1.6. La película 4 es la única que presenta la densidad óptica recomendada, pero en ésta, no hay acuerdo de los observadores al evaluarla horizontal y verticalmente en la pantalla del negatoscopio.

#### C.6 Comentarios generales

En general, usando el patrón de barras, tanto para la comparación entre los observadores como al usar el digitalizador, se obtuvieron tamaños de punto focal mayores que los encontrados al utilizar la cámara de rendija. Esto puede deberse en el caso del patrón de

barras, a la dependencia con el factor de amplificación en la ecuación para obtener el tamaño del punto focal usando el patrón de barras:  $\alpha = \frac{M}{(M-1) \cdot pl/mm}$ .

Por ejemplo:

$$\text{Si } M = 1.12 \text{ entonces } \frac{M}{M-1} = 9.6 \quad (5.1)$$

$$\text{Si } M = 2.12 \text{ entonces } \frac{M}{M-1} = 1.9 \quad (5.2)$$

Pero como el tamaño del punto focal es constante (supongamos 0.375 mm) independientemente de la amplificación, entonces:

Si  $M = 1.12$  entonces se deben visualizar 25 pl/mm

Si  $M = 2.12$  entonces se deben visualizar 5 pl/mm

Sin embargo nuestro patrón de barras físico sólo tiene hasta 20 pl/mm, lo que podría significar que faltan más pl/mm para obtener 25 pl/mm en la imagen; pero, en la imagen obtenida con  $M = 1.12$  se alcanzan a visualizar del orden de 17 pl/mm por lo que el problema no es la falta de pl/mm del patrón de barras físico, sino del factor de amplificación. Entonces es necesario rehacer la prueba para determinar el tamaño del punto focal con patrón de barras teniendo cuidado de utilizar una amplificación mayor que 2.

Los resultados obtenidos al usar placas de acrílico, con o sin pantalla intensificadora evaluadas por un observador difieren un 5% de las medidas hechas para las mismas imágenes ( $DO > 1.0$ ) usando un digitalizador. El promedio de los resultados anteriores para un observador son aproximadamente 94% más grandes que los resultados encontrados por un observador con cámara de rendija. Este mismo comportamiento se observa para los resultados encontrados al usar el digitalizador. La explicación, una vez más, es debido al factor de amplificación ya que, por ejemplo, pasar de un factor de amplificación de 1.12 a 2.12 implica un cociente (ver ecuaciones 5.1 y 5.2) un orden de magnitud mayor.

Las imágenes obtenidas al no usar pantalla intensificadora con maniquí de acrílico, resultan ser muy claras, con densidad óptica  $< 0.60$ . No se obtuvieron imágenes con densidades ópticas superiores (recomendación del [ACR99]:  $1.2 < DO < 1.6$ ), ya que para las tensiones utilizadas (kVp), se necesitarían cargas muy altas, superiores a 300 mAs, lo que implica sobrecalentar al tubo de rayos X (en la práctica la carga empleada no es mayor que 200 mAs).

Se sugiere emplear para todos los casos un factor de amplificación mayor que 2 y no usar placas de acrílico.

#### D. Comparación con resultados obtenidos por otros trabajos

En general se encuentran los mismos resultados que los comentados por Barnes [Ta95] y Everson [Ev87], en lo que se refiere a la variación entre observadores usando una lupa para evaluar las imágenes, donde sólo se obtienen acuerdos parciales entre ellos para el ancho y

largo del punto focal calculado. Además, Barnes comenta que los resultados que un mismo observador encuentra, son consistentes con él mismo, ya que la diferencia de sus medidas no es grande (el observador evalúa cinco veces una misma imagen).

Sin embargo en el presente trabajo se decide evaluar las imágenes del patrón de barras visualizándolas horizontal y verticalmente en un negatoscopio y en un monitor (previa digitalización); encontramos diferencias al ver la imagen de estas dos formas, aún cuando la película cumpla con las recomendaciones del ACR. Pero al analizar las imágenes (aquellas que cumplen con la recomendación del ACR), por el mismo observador, éste encuentra un igual tamaño del punto focal calculado, visualizando el patrón de barras vertical y horizontalmente en un monitor; disminuyendo así la subjetividad de la medida por el mismo observador.

## 5.2 RESOLUCIÓN

### A. Análisis por el observador OF

Se evalúan las imágenes del patrón de barras visualizándolas vertical y horizontalmente en la pantalla de un negatoscopio con una lupa de 5X.

En todas las películas el número de pares de líneas por milímetro (pl/mm) observando el patrón de barras verticalmente en la pantalla del negatoscopio es mayor que al observarlo horizontalmente. Para las películas 1 a 4, conforme la densidad óptica aumenta (de 0.66 a 1.22) el número de pl/mm aumenta de 13 a 16 pl/mm. El ACR recomienda evaluar imágenes con densidad óptica entre 1.2 y 1.6, sin embargo aunque la película 4 cumple con la recomendación ( $DO_c = 1.22$ ), no hay acuerdo entre el número de pl/mm observando la imagen horizontal y verticalmente en el negatoscopio. Para las películas 5 a 8 mientras la densidad óptica disminuye (de 3.54 a 2.36), el número de pl/mm aumenta de 10 a 14 pl/mm. En las películas 10 a 12 mientras la densidad óptica aumenta (de 0.25 a 0.59) el número de pl/mm aumenta de 11 a 19 pl/mm.

Las recomendaciones del ACR para el número de pl/mm con el patrón de barras paralelo al eje ánodo-cátodo es que debe ser superior a 11 pl/mm, mientras que en la dirección perpendicular al eje ánodo-cátodo debe ser superior a 13 pl/mm. Las imágenes deben ser producidas al utilizar chasis con pantalla intensificadora dentro del portachasis y placas de acrílico. De esta forma se tiene que las imágenes 1 a 4 cumplen con esta recomendación.

La resolución encontrada, es mayor (mayor número de pl/mm) al no utilizar pantalla intensificadora que al usarla.

### B. Análisis por el observador OF al digitalizar las imágenes

Se evalúan las imágenes en un monitor, habiendo sido éstas digitalizadas con el equipo Nikon, Coolscan III (LS-30).

En las películas 1, 5, 6 y 7 el número de pares de líneas por milímetro (pl/mm) observando el patrón de barras verticalmente en la pantalla del monitor es mayor que al observarlo horizontalmente y viceversa para las películas 11 y 12. Se tiene acuerdo en el número de pl/mm observando horizontal y verticalmente en el monitor las películas: 2 (DOc = 0.88), 3 (DOc = 1.18) y 4 (DOc = 1.22). Para las películas 1 a 4 conforme la densidad óptica aumenta, el número de pl/mm aumenta de 13 a 16 pl/mm. El ACR recomienda evaluar imágenes con densidad óptica entre 1.2 y 1.6; la película 4 cumple con la recomendación y hay acuerdo en el número de pl/mm visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en la pantalla del monitor. Para las películas 5 a 8 conforme la densidad óptica disminuye, el número de pl/mm aumenta de 10 a 20 pl/mm. En las películas 10 a 12 conforme la densidad óptica aumenta el número de pl/mm aumenta de 14 a 19 pl/mm.

Las recomendaciones del ACR para el número de pl/mm con el patrón de barras paralelo al eje ánodo-cátodo es que debe ser superior a 11 pl/mm, mientras que en la dirección perpendicular al eje ánodo cátodo debe ser superior a 13 pl/mm. Las imágenes deben ser producidas al utilizar chasis con pantalla intensificadora dentro del portachasis y placas de acrílico. De esta forma se tiene que las imágenes 1 a 4 cumplen con esta recomendación.

La resolución encontrada, es mayor (mayor número de pl/mm) al no utilizar pantalla intensificadora que al usarla.

### C. Análisis por el observador OH

Se presentan los resultados obtenidos por el observador OH al usar la misma lupa de 5X y bajo las mismas condiciones que el observador OF.

En las películas 2, 3, 4, 7 y 8 el número de pares de líneas por milímetro (pl/mm) observando el patrón de barras verticalmente en la pantalla del negatoscopio es menor que al observarlo horizontalmente. Se tiene acuerdo en el número de pl/mm observando horizontal y verticalmente en el negatocopio las películas 1 (DOc = 0.66), 5 (DOc = 3.54), 6 (DOc = 3.29) y 10 a 12 (DOc de 0.25 a 0.59). Para las películas 1 a 4 conforme la densidad óptica aumenta, el número de pl/mm aumenta ligeramente de 14 a 15 pl/mm. El ACR recomienda evaluar imágenes con densidad óptica entre 1.2 y 1.6; la película 4 cumple con la recomendación, sin embargo no hay acuerdo en el número de pl/mm visualizando el patrón de barras horizontal y verticalmente en el negatoscopio. Para las películas 5 a 8 conforme la densidad óptica disminuye, el número de pl/mm aumenta de 11 a 15 pl/mm. En las películas 10 a 12 conforme la densidad óptica aumenta el número de pl/mm aumenta de 11 a 17 pl/mm.

Las recomendaciones del ACR para el número de pl/mm con el patrón de barras paralelo al eje ánodo-cátodo es que debe ser superior a 11 pl/mm, mientras que en la dirección perpendicular al eje ánodo cátodo debe ser superior a 13 pl/mm. Las imágenes deben ser producidas al utilizar chasis con pantalla intensificadora dentro del portachasis y placas de acrílico. De esta forma se tiene que las imágenes 1 a 4 cumplen con esta recomendación.



La resolución encontrada, es mayor (mayor número de pl/mm) al no utilizar pantalla intensificadora que al usarla.

#### D. Comparación entre los resultados de OF al usar una lupa y un digitalizador.

Al comparar las imágenes vistas de forma horizontal en el negatoscopio y en el monitor, hay coincidencia en el número de pl/mm observados para las películas 1, 4 y 5. Mientras que observando el patrón de barras de forma vertical en el negatoscopio y en el monitor hay coincidencia en el número de pl/mm para las películas 3 y 11. El comportamiento en el número de pl/mm que se observa al variar la densidad óptica es el mismo para ambos métodos.

Al tomar en cuenta la película 4 que cumple con la densidad óptica recomendada por el ACR, observamos que al verla en el monitor hay coincidencia en el número de pl/mm observando el patrón de barras horizontal y verticalmente, mientras que esto no ocurre al observar las imágenes en el negatoscopio.

Al ver las películas 5 a 12 se observa un mayor número de pl/mm en el monitor que en el negatoscopio y se aumenta el acuerdo en el número de pl/mm entre ver el patrón de barras horizontal y verticalmente, es decir, se disminuye la subjetividad de un observador al evaluar las imágenes del patrón de barras.

#### E. Comparación entre los observadores OF y OH

De las 11 evaluaciones observando el patrón de barras horizontalmente en el negatoscopio, hay 3 acuerdos en el número de pl/mm entre los observadores. De igual forma, al ver el patrón de barras verticalmente en el negatoscopio hay 3 acuerdos en el número de pl/mm entre los observadores.

El comportamiento en el número de pl/mm que se observa al variar la densidad óptica es el mismo para ambos observadores.

Mientras que el observador OH obtiene acuerdo en el número de pl/mm al no usar pantalla intensificadora en las películas 10 a 12, esto no sucede para el observador OF.

#### F. Comentarios generales

En general, tanto para los observadores como al usar el digitalizador (escáner) se tiene un mayor número de pares de líneas por milímetro que el mínimo recomendado por el Colegio Estadounidense de Radiología, 11 pl/mm para barras perpendiculares (patrón de barras

perpendicular) al eje ánodo cátodo y 13 pl/mm para barras paralelas (patrón perpendicular) al eje ánodo-cátodo.

Para las observaciones hechas por los observadores OF y OH existe acuerdo entre el número de pares de líneas que encuentran por separado (en  $\pm 1$  pl/mm) al usar una lupa.

Para el digitalizador como para los observadores si la DO de las imágenes aumenta a más de 3.0 en densidad óptica (intervalo dinámico del escáner) el número de pl/mm desciende.

### 5.3 CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó el soporte para cámara de rendija y ahora el grupo de Física Médica del Instituto de Física, UNAM, está en condiciones de medir el tamaño del punto focal de cualquier equipo de mamografía.

Se establecieron los procedimientos para producir imágenes radiográficas de la cámara de rendija y del patrón de estrella para la medición del punto focal, y del patrón de barras para determinar la resolución de un equipo de mamografía. La posterior digitalización de las imágenes de la cámara de rendija y del patrón de barras para su evaluación en un monitor.

Se encuentra para el tamaño del punto focal un ancho de  $0.393 \pm 0.060$  mm y un largo de  $0.549 \pm 0.052$ . De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM) [NO97], para un tamaño nominal del punto focal de 0.3 mm (el cual se empleó en las mediciones), el ancho debe estar en el intervalo de [0.3-0.45] mm y el largo en el intervalo de [0.45-0.65] mm; por lo que el equipo de mamografía cumple con las recomendaciones de la NOM.

El Colegio Estadounidense de Radiología (ACR) [AC99] recomienda que un equipo de mamografía debe resolver 11 pl/mm para barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo y 13 pl/mm para barras paralelas al eje ánodo-cátodo. El equipo estudiado resuelve 14 pl/mm para barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo y 16 pl/mm para barras paralelas al eje ánodo-cátodo. Por lo que el equipo de mamografía cumple con las recomendaciones al resolver un mayor número de pares de líneas por milímetro que el sugerido por el ACR.

El uso de una cámara de rendija para medir el tamaño del punto focal es un método más confiable que el utilizar un patrón de estrella.

Las imágenes obtenidas para la prueba de resolución con el patrón de barras paralelas no son adecuadas para la medición del tamaño del punto focal. Se sugiere utilizar una amplificación mayor que 2.

Se debe tener cuidado de que las imágenes radiográficas tengan una densidad óptica menor al intervalo dinámico del digitalizador utilizado. El ACR recomienda que las imágenes radiográficas deben tener una densidad óptica entre 1.2 y 1.6.

La manipulación de las imágenes es más cómoda y flexible al ser digitalizadas y analizadas que al estudiarse con lupa en un negatoscopio.

El digitalizar las imágenes y proceder a su análisis por un observador resulta ser un método menos subjetivo para medir el tamaño del punto focal y la resolución de un equipo de mamografía que el usar una lupa y un negatoscopio.

Existen ventajas al digitalizar las imágenes obtenidas, ya que de esta forma no existe deterioro de la imagen como sucede con la película radiográfica que se expone a rayado y deterioro por el paso del tiempo. Además existe capacidad de análisis digital de la imagen, como separación de colores, copias y facilidad de transporte, entre otros.

El uso de un digitalizador con resolución mínima de 2700 dpi ópticos para la digitalización de las imágenes y su análisis en un monitor con resolución mínima de 1024x768 es justificado.

#### 5.4 TRABAJO A FUTURO

El determinar el tamaño del punto focal usando un patrón de barras paralelas no se logró exitosamente y se piensa que la medición debería realizarse produciendo imágenes radiográficas del patrón de barras con amplificación mayor que 2 y sin usar placas de acrílico entre el patrón de barras y el chasis. Además, deberían considerarse los siguientes puntos para la manera correcta de hacer las mediciones:

- ◆ Utilizar el soporte para cámara de rendija fabricado durante el desarrollo de este trabajo, con un aditamento (disco de acrílico con una abertura y de tal forma que el patrón de barras sea colocado en una posición reproducible), para colocar el patrón de barras en el nicho correspondiente a la cámara de rendija. Producir varias imágenes con diferentes técnicas, evaluar y comparar los resultados con los del presente trabajo.
- ◆ Proponer el procedimiento y el formato para la evaluación del tamaño del punto focal usando un patrón de barras paralelas.

## REFERENCIAS

- [AC99]  
ACR, Reston, VA: American College of Radiology: II. Mammography Quality Control Tests, Evaluation of System Resolution 238-240; III. Slit Camera Evaluation of Focal Spot Performance 321-324 *Mammography, Quality Control Manual*, 1999.
- [Ba91]  
Gary T. Barnes and G. Donald Frey, *Screen Film Mammography*, 1991; 67-111.
- [CE92]  
CEC. *The European Protocol for the Quality Control of the Technical Aspects of Mammography Screening*. Luxembourg: European Commission, 1992.
- [Cu90]  
Thomas S. Curry, James E. Dowdey, Robert C. Murry, Jr., Christensen's Physics of Diagnostic Radiology, 1990; 222-225.
- [DA97]  
DALSA CCD Image Capture Technology, Databook, 1996-1997; 22-23, 361-362.
- [Do98]  
D. J. Dowset, P. A. Kenny and R. E. Johnston, *The Physics of Diagnostic Imaging*, 1998, 177-180
- [Ev87]  
J. D. Everson and J. E. Gray, *Focal Spot Measurement: Comparison of Slit, Pinhole, and Star Resolution Pattern Techniques*, Radiology; 1987, 165: 261-264.
- [Go97]  
Mitchell. M. Goodsitt, Heang-Ping Chan, and Bob Liu, *Investigation of the Line-Pair Pattern Method for Evaluating Mammographic Focal Spot Performance*, Med. Phys.; 1997, 24: 11-15.
- [IE93]  
International Electrical Commission (IEC): IEC Publication No. 336: *Tube Assemblies For Medical Diagnosis - Characteristics of focal Spots*, 3<sup>rd</sup> ed. (IEC, Geneva, Switzerland, 1993).
- [Ki88]  
Kimme-Smith, C. Bassett, L. W. & Gold, R. H., *Focal Spot Size Measurements with Pinhole and Slit for Microfocus Mammography Units* Med. Phys.; 1988, 15: 298-303.
- [La93]  
J. Law, *Measurement of Focal Spot Size in Mammography X-ray Tubes*, Br. J. Radiol.; 1993, 66: 44-50.

- [NA95]  
Nuclear Associates, Instruction Manual, *Star X-Ray Test Patterns*, models 07-503, 07-509, 07-510, 07-543, 1995
- [NE92]  
National Electrical Manufacturers Association (NEMA): *NEMA Standard Publication No. XR-5 – Measurements of Dimensions and Properties of Focal Spot of Diagnostic X-ray Tubes* (NEMA, Washington DC, 1992).
- [NO97]  
*Especificaciones Técnicas para Equipos de Diagnóstico Médico con Rayos X*. NOM-158-SSA.1-1996. México, D.F.: Secretaría de Salud, 1997.
- [NI02]  
Operation of Nikon, Coolscan III (LS-30), Key Features and Technical Specifications, <http://www.nikonusa.com>
- [RA92]  
Radiology, Instruments and Accessories, Catalogue G-6. Nuclear Associates, Slit Camera, 22, 1992.
- [RE02]  
Revista digital, analógica y de conservación, <http://www.lmi.com.mx>
- [Ru01]  
C. G. Ruiz Trejo, *Calidad de Imagen y Dosis en Mamografía, Evaluación de dos Servicios de Salud Pública en el Distrito Federal*, tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Física Médica), 2001.
- [Sp87]  
Sprawls, Jr, R. *Physical Principles of Medical Imaging*. Rockville, MD., Aspen Publishers; 1987, 252-259, 452-454.
- [Ta95]  
S. Tang and G. T. Barnes, *Slit Camera Focal Spot Measurement Errors in Mammography*, *Med. Phys.*; 1995, 22: 1803-1813.
- [Ya97]  
J. Yaffe and J. A. Rowlands, *X-ray Detectors for Digital Radiography*, *Phys. Med. Biol.*; 1997, 42: 1-39.

## **ANEXOS**

### **PROCEDIMIENTOS Y FORMATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO FOCAL Y RESOLUCIÓN DE UN EQUIPO DE MAMOGRAFÍA**

### **CÁMARA DE RENDIJA, PATRÓN DE ESTRELLA Y PATRÓN DE BARRAS**

**(Producción de imágenes radiográficas, digitalización y análisis)**

## ANEXO A

### EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UNA CÁMARA DE RENDIJA Y UN DIGITALIZADOR

# EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UNA CÁMARA DE RENDIJA Y UN DIGITALIZADOR

## Instrucciones

### OBJETIVO:

Medir el tamaño del punto focal efectivo de un tubo de rayos X. Si el punto focal no es el adecuado existen problemas de resolución espacial. Se recomienda que esa prueba junto con la del patrón de barras se realice para equipos nuevos y después sólo se use el patrón de barras para pruebas de rutina.

### REFERENCIAS:

- ACR, Reston, VA: American College of Radiology: II. Mammography Quality Control Tests, Evaluation of System Resolution 238-240; III. Slit Camera Evaluation of Focal Spot Performance, *Mammography, Quality Control Manual*; 321-324, 1999.
- S. Tang and G. T. Barnes, *Slit Camera Focal Spot Measurement Errors in Mammography*, *Med. Phys.*; 1995, 22: 1803-1813.
- J. Law, *Measurement of Focal Spot Size in Mammography X-ray Tubes*, *Br. J. Radiol.*; 1993, 66: 44-50.
- J. D. Everson and J. E. Gray, *Focal Spot Measurement: Comparison of Slit, Pinhole, and Star Resolution Pattern Techniques*, *Radiology*; 1987, 165: 261-264.

### MATERIAL Y EQUIPO:

- Cámara de rendija, Nuclear Associates, 07-624 (ancho de la rendija: 10  $\mu\text{m}$ )
- Soporte para cámara de rendija con dispositivo para la alineación de la rendija con el eje de radiación y dispositivo para medir el factor de amplificación.
- Chasis Kodak, Min R-2000, con pantalla intensificadora.

Observación: Se usará el mismo chasis durante toda la prueba. Para asegurar el mejor contacto entre la pantalla y la película deje transcurrir un tiempo de 15 minutos, entre el cargado de la película en el chasis y la exposición, para asegurarse que el aire atrapado se escape.

- Película mamográfica.



- Digitalizador (escáner) Nikon con resolución óptica mínima de 2700 dpi y soportes adecuados para la colocación de la imagen radiográfica, en el área de barrido del escáner para asegurar una alineación reproducible.

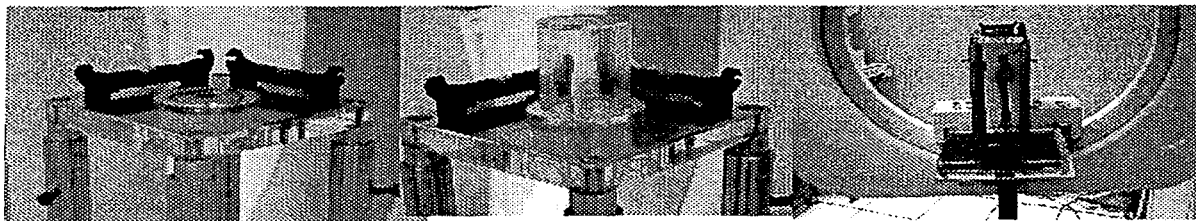


Figura A.1. Soporte para cámara de rendija. De izquierda a derecha, cámara de rendija, dispositivo para medir la amplificación y niveles de burbuja; dispositivo para la alineación con el eje de radiación; y soporte para cámara de rendija.

#### **PRECAUCIONES:**

El tubo de rayos X no deberá exceder las unidades de calor recomendadas por el fabricante.

#### **PROCEDIMIENTO:**

1. Remueva la placa del compresor y cono (si hubiera) del equipo de mamografía.
2. Coloque el soporte para cámara de rendija sobre el portachasis del lado del tórax y asegúrese de obtener la máxima amplificación posible (plataforma superior lo más cerca posible a la salida del colimador), de tal forma de poder introducir y sacar el dispositivo de alineación sin mover el soporte para cámara de rendija. Ver figura A.1.
3. Con la ayuda de los niveles de burbuja, nivele la plataforma superior del soporte para cámara de rendija para que ésta quede perpendicular al eje de radiación.
4. Coloque de manera reproducible el dispositivo de alineación en la plataforma superior.
5. Coloque el chasis cargado en la plataforma inferior del soporte para cámara de rendija.
6. Tome una exposición. Se sugiere que intente primero con 22.0 kVp y 5 mAs.
7. Revele la película radiográfica.
8. En la imagen radiográfica debe verse solo un punto (figura A.2) al centro de la imagen del alineador. Si no es así, mueva el soporte para cámara de rendija de tal forma que solo visualice un punto y repita a partir del punto 5.

Observación: Tome en cuenta que para ver sólo un punto del alineador es posible que deba sacar el soporte para cámara de rendija mas allá de la superficie del portachasis en la dirección del tórax, para lo cual debe contar con una placa rígida para colocar al soporte en la posición adecuada. En nuestro caso se utilizó una placa de aluminio con espesor de 2 mm y para asegurar la estabilidad del sistema se colocó un soporte de madera, del piso al borde de la placa saliente de aluminio, ver figura A.3.

9. Coloque la cámara de rendija en la plataforma superior junto con el dispositivo para medir la amplificación de la imagen. La rendija debe estar alineada perpendicularmente con el eje ánodo-cátodo.
10. Coloque el chasis cargado en la plataforma inferior del soporte para cámara de rendija.

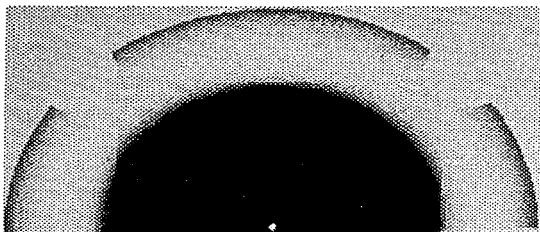


Figura A.2 a. Imagen radiográfica mostrando una buena alineación con el eje de radiación.



Figura A.2 b. Imagen radiográfica mostrando una mala alineación con el eje de radiación.

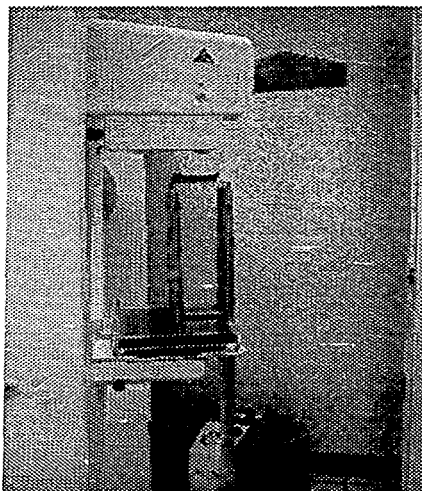


Figura A.3. Montaje del soporte para cámara de rendija en el equipo de mamografía.

11. Seleccione un tamaño nominal de punto focal y utilice una técnica (kVp y mAs) de tal forma que la densidad óptica de la imagen de la rendija esté en el intervalo [1.2 – 2.5]. Se sugiere probar a 22.0 kVp con 50 o 60 mAs.
12. Revele la película expuesta.
13. Repita los puntos 8 a 11 pero ahora la rendija debe estar alineada paralelamente al eje ánodo-cátodo.
14. Si el equipo de mamografía cuenta con diferentes tamaños de punto focal, repita los puntos 8 a 12 para cada uno.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E INTERPRETACIÓN:

1. Determine el factor de amplificación (M) midiendo la distancia entre los puntos del dispositivo de amplificación en la imagen radiográfica y divida esta distancia por la medida entre los puntos metálicos del dispositivo de amplificación, es decir:

$$M = \frac{TI}{TO}$$

Donde TI significa tamaño de la imagen y TO significa tamaño del objeto.

- Utilice el digitalizador y digitalice las imágenes tomadas de la cámara de rendija de tal forma que se visualicen en posición vertical en la pantalla del monitor, sin usar ningún programa de cómputo para tratamiento de imágenes. Guarde las imágenes en formato .tiff (máxima calidad).

Observación: En nuestro caso se utilizó el digitalizador Coolscan III de marca Nikon y se recomienda que las imágenes deban digitalizarse habiendo sido éstas colocadas en la parte central de la superficie de barrido del digitalizador de tal forma que se visualicen verticalmente en la pantalla del monitor; sin que haya ninguna superficie entre el digitalizador y el área a digitalizar. Cuando las imágenes hayan sido digitalizadas se sugiere que éstas sean salvadas directamente al disco duro de la computadora (el tamaño cada imagen puede ser de 1 a 3 MB)

- Las imágenes ya digitalizadas deben analizarse en un monitor con resolución mínima de 1024x768 pixeles y en una habitación donde la única fuente de luz durante la observación de las imágenes provenga del monitor.
- Las imágenes pueden evaluarse con un programa comercial afín.

Observación: En nuestro caso, las imágenes digitalizadas fueron trasladadas directamente del programa de exploración propio del digitalizador a Photoshop 6.0, como la aplicación estandarizada. En Photoshop 6.0 puede hacerse un acercamiento de la imagen hasta poder visualizar en el monitor los pixeles que forman la imagen digital. Además, se cuenta con un mapa pequeño que presenta la posición del área desplegada en la imagen; por lo que no importando el acercamiento que se haga, no se pierde la noción del lugar en que se encuentra el cursor en la imagen digital.

- Mida el ancho de la rendija en pixeles, en 3 posiciones: el centro y dos posiciones un poco alejadas del centro hacia las orillas de la imagen de la rendija, tomando precaución de no hacerlo muy cerca de las orillas ya que puede haber efectos de borde haciendo creer un ancho menor. Haga el promedio de las mediciones para obtener el ancho promedio de la imagen de la rendija.

El criterio para medir el ancho en pixeles es:

a) Observe la imagen con el acercamiento que haya establecido (en el presente trabajo se usó la máxima amplificación disponible para Photoshop 6.0 bajo las condiciones de digitalización de las imágenes).

b) Aprecie los tonos e intensidades que presentan los pixeles que forman la imagen; habrá en los bordes de la imagen de la rendija pixeles con intensidades "claras", luego se oscurecen gradualmente hasta ser completamente oscuros justo en los bordes de la imagen de la rendija.

c) Justo a la mitad del cambio de tonos e intensidades observadas en b) marque ese pixel con ayuda de Photoshop (puede utilizar la herramienta "slice" para marcar líneas perpendiculares que pasen por el pixel).

d) Repita lo mismo que en c) hasta marcar 3 pixeles en un borde de la imagen de la rendija y repita lo mismo para el otro borde (puede reducir la amplificación para observar que las marcas hechas correspondan al criterio expuesto en c). Al utilizar la herramienta "slice" puede ver líneas que marcan los bordes de la rendija).

e) Con las marcas así hechas en d) mida el ancho en pixeles de la imagen de la rendija en las 3 posiciones establecidas y anote sus resultados.

6. Una vez que se cuenta con el ancho promedio de la imagen de la rendija se debe convertir esta distancia a mm. Para tal efecto digitalice un objeto de medidas conocidas siguiendo el mismo protocolo expuesto anteriormente para las imágenes radiográficas. Determine el valor promedio en pixeles de una distancia de la imagen digital y haga el cociente de esa misma distancia medida en mm entre los que se obtuvo en pixeles. De esta forma tenemos el factor de conversión de pixeles a mm y sólo hay que multiplicar este factor por el ancho promedio de la rendija en pixeles para obtener el ancho promedio de la rendija en mm.
7. Con el ancho promedio de la rendija calcule el tamaño del punto focal medido en las direcciones paralela y perpendicular al eje ánodo-cátodo usando las expresiones siguientes:

$$\alpha_{ancho} = \frac{I_{paral} - sM}{M - 1}$$

$$\alpha_{largo} = \frac{I_{perp} - sM}{M - 1}$$

Donde:

*s*: ancho de la rendija ( típicamente de 10 µm).

*M*: factor de amplificación.

*I<sub>paral</sub>*: ancho de la imagen de la rendija en mm. Esta imagen corresponde a la rendija alineada paralelamente al eje ánodo-cátodo.

*I<sub>perp</sub>*: ancho de la imagen de la rendija en mm. Esta imagen corresponde a la rendija alineada perpendicularmente al eje ánodo-cátodo.

*α<sub>ancho</sub>*: ancho del punto focal efectivo.

*α<sub>largo</sub>*: largo del punto focal efectivo.

### CRITERIO DE ACEPTACIÓN:

Los equipos de mamografía pueden contar con varios tamaños nominales de punto focal.

Los valores medidos de las dimensiones del punto focal deben estar dentro de los límites establecidos en la tabla A.1. El valor nominal del tamaño del punto focal no debe ser mayor que 0.4 mm.

*Tabla A.1: Tolerancias en las dimensiones del punto focal*

<b>Punto focal</b>	<b>Dimensiones del punto focal</b>	
<b>(Valor nominal)</b>	<b>Valores permisibles (mm)</b>	
<b>mm</b>	<b>Ancho*</b>	<b>Largo*</b>
0.10	0.10 – 0.15	0.10 – 0.15
0.15	0.15 – 0.23	0.15 – 0.23
0.20	0.20 – 0.30	0.20 – 0.30
0.25	0.25 – 0.38	0.25 – 0.38
0.30	0.30 – 0.45	0.45 – 0.65
0.40	0.40 – 0.60	0.60 – 0.85

- “Ancho” corresponde a la dimensión perpendicular al eje ánodo-cátodo. “Largo” corresponde a la dimensión paralela al eje ánodo-cátodo

## EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UNA CÁMARA DE RENDIJA Y UN DIGITALIZADOR

Hospital : \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Equipo de rayos X: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_  
 Cámara de rendija: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ S/N: \_\_\_\_\_ Ancho de rendija (s): \_\_\_\_\_  
 Modo de exposición: Manual DFI: \_\_\_\_\_ DFOBJeto: \_\_\_\_\_

Tamaño de punto focal nominal, $a_{nom}$				
Tensión nominal (kVp)				
Carga nominal (mAs)				
Ancho de rendija (p): $I_{paral}$ e $I_{perp}$				
Ancho promedio (p): $I_{paral}$ e $I_{perp}$				
Tamaño del objeto (mm)				
Tamaño del objeto (p)				
Factor de conversión (mm/p)				
Ancho promedio (mm): $I_{paral}$ e $I_{perp}$				
Distancia real entre los indicadores de amplificación (mm), O				
Distancia en la imagen entre los indicadores de amplificación (mm), I				
Factor de amplificación, $M = (I/O)$				
Tamaño del punto focal calculados:				
$\alpha_{ancho} = \frac{I_{paral} - sM}{M - 1}$				
$\alpha_{largo} = \frac{I_{perp} - sM}{M - 1}$				

(p) significa número de pixeles

Cumple:      Si / No

### CRITERIO DE ACEPTACIÓN:

Los valores medidos de las dimensiones del punto focal deben estar dentro de los límites establecidos en la siguiente tabla. El valor nominal del tamaño del punto focal no debe ser mayor que 0.4 mm.

#### Tolerancias en las dimensiones del punto focal

Punto focal (Valor nominal)	Dimensiones del punto focal	
	Valores permisibles (mm)	
mm	Ancho*	Largo*
0.10	0.10 - 0.15	0.10 - 0.15
0.15	0.15 - 0.23	0.15 - 0.23
0.20	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30
0.25	0.25 - 0.38	0.25 - 0.38
0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.65
0.40	0.40 - 0.60	0.60 - 0.85

Realizó: \_\_\_\_\_

## ANEXO B

### EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UN PATRÓN DE ESTRELLA

# EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UN PATRÓN DE ESTRELLA

## Instrucciones

### OBJETIVO:

Evaluar el tamaño del punto focal midiendo las dimensiones, tanto perpendicular como paralela al eje ánodo-cátodo, y determinar si se cumplen los requisitos de la norma vigente.

### REFERENCIAS:

- ACR., Reston VA: American College of Radiology, *Mammography Quality Control Manual*; 1994.
- NA. Star X-ray Test Patterns. Models 07-503, 07-509, 07-510, 07-542, 07-543. Instruction Manual. Carle Place, N.Y. Nuclear Associates.
- SSA. Especificaciones Técnicas para Equipos de Diagnóstico Médico con Rayos X. Norma Oficial Mexicana NOM-158-SSA1-1996.

### MATERIAL Y EQUIPO:

- Patrón de estrella de 1°, Nuclear Associates, 07-542
- Cinta adhesiva.
- Cinta métrica.
- Película mamográfica sin chasis.

### PRECAUCIONES:

El tubo de rayos X no deberá exceder las unidades de calor recomendadas por el fabricante.

### PROCEDIMIENTO:

1. Quite la placa de compresión y el cono de la unidad.
2. Monte el patrón de estrella de tal manera que el eje central del haz le sea perpendicular y pase por el centro de la estrella. Es conveniente pegar el patrón de estrella directamente a la cara del colimador.
3. Verifique la colocación del patrón utilizando el haz luminoso del equipo de mamografía.



4. Coloque una película radiográfica virgen en una bolsa o sobre negro que no permita el paso de luz hacia la película.
5. Coloque la película aproximadamente a la misma distancia a la que se encuentra el patrón del punto focal (esto debe dar un factor de amplificación de 2) y sitúe la película de tal forma que el eje del haz coincida con el eje de la película. La película debe estar paralela al patrón. Si la mancha causada por la borrosidad es pequeña, se puede incrementar la amplificación alejando la película del patrón. Si por el contrario la mancha ocasionada por la borrosidad es muy grande, la amplificación se puede disminuir acercando la película al patrón.
6. Realice una exposición. La tensión y la carga a través del tubo deben ser similares a los utilizados clínicamente, para obtener el tamaño del punto focal real, mismo que depende de los factores eléctricos que se empleen. El tiempo de exposición variará de acuerdo a la velocidad de la película que se esté utilizando. Anote estos datos en la hoja de registro.
7. Revele la película. Deben usarse los procedimientos de rutina para hacer el revelado. La densidad óptica de la imagen debe ser de 1.5 aproximadamente.

#### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:

El tamaño del punto focal se determinará con el patrón de estrella modelo 07-542 (figura B.1). Esto se realiza observando las regiones de borrosidad en la imagen radiográfica del patrón con una fuente de rayos X de tamaño finito. La radiación proveniente de diferentes áreas del punto focal ocasionará una borrosidad periódica del patrón debido a los efectos de la penumbra. Conociendo los factores geométricos y la distancia desde el centro del patrón hasta el límite donde se inicia la borrosidad, se puede calcular el tamaño del punto focal.

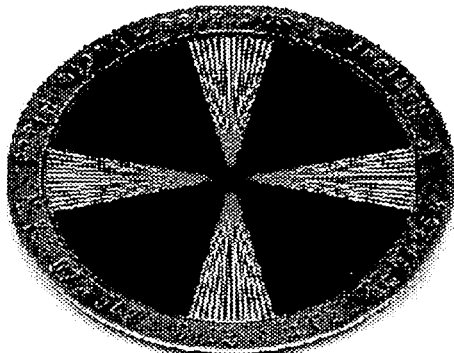
1. Determine el factor de amplificación (M) dividiendo el diámetro de la imagen radiográfica del patrón de estrella entre el diámetro nominal (45 mm).
2. Examine la imagen del patrón de estrella de la periferia hacia adentro para encontrar la región más externa en la cual la imagen de los sectores desaparece. Esta es la región de contraste cero. Mida el diámetro de esta región a lo largo de su dimensión mayor y también en la dirección perpendicular. A estos diámetros los llamaremos  $D_L$  y  $D_A$ , respectivamente.
3. El tamaño del punto focal correspondiente a las dimensiones de cada diámetro puede calcularse a partir de la ecuación:

$$a = (N/57.3) [D / (M-1)]$$

donde:

- |   |  |
|---|--|
| a | es el tamaño del punto focal en mm.  |
| N | es el ángulo de la línea del patrón de estrella (marcado en el patrón, en nuestro caso: 1°). |
| D | es el diámetro de la región de contraste cero, en mm.  |
| M | es el factor de amplificación.   |

4. a) Pueden encontrarse varias regiones de contraste cero en una sola película. Es extremadamente importante que se utilice la más grande. Si existe alguna duda, es decir, el cálculo del punto focal da valores bajos, entonces se debe hacer una segunda exposición con una amplificación menor.
- b) Si el patrón no está debidamente centrado, la imagen del patrón aparecerá distorsionada. El patrón debe alinearse de nuevo y repetirse la exposición.
- c) Las fórmulas y datos presentados conducen a obtener el tamaño del punto focal homogéneo equivalente.



*Figura B.1: Patrón de estrella*

#### **CRITERIO DE ACEPTACIÓN:**

Los valores medidos de las dimensiones del punto focal deben estar dentro de los límites establecidos en la tabla B.1. El valor nominal del tamaño del punto focal no debe ser mayor que 0.4 mm.

*Tabla B.1: Tolerancias en las dimensiones del punto focal*

Punto focal (Valor nominal)	Dimensiones del punto focal	
	Valores permisibles (mm)	
mm	Ancho*	Largo*
0.10	0.10 – 0.15	0.10 – 0.15
0.15	0.15 – 0.23	0.15 – 0.23
0.20	0.20 – 0.30	0.20 – 0.30
0.25	0.25 – 0.38	0.25 – 0.38
0.30	0.30 – 0.45	0.45 – 0.65
0.40	0.40 – 0.60	0.60 – 0.85

\* "Ancho" corresponde a la dimensión perpendicular al eje ánodo-cátodo. "Largo" corresponde a la dimensión paralela al eje ánodo-cátodo

## EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DEL PUNTO FOCAL USANDO UN PATRÓN DE ESTRELLA

Hospital : \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Equipo de rayos X: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_  
 Patrón de estrella: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Angulo: \_\_\_\_\_  
 Modo de exposición: Manual DFI: \_\_\_\_\_ DFObjeto: \_\_\_\_\_

Tamaño de punto focal nominal, $f_{nom}$					
Tensión nominal (kVp)					
Corriente nominal (mA)					
Carga (mAs)					
DO					
Diámetro patrón nominal					
Diámetro patrón medido					
Factor de amplificación (M)					
$D_L$ medido					
$D_A$ medido					
$F=(N/57.3)[D/(M-1)]$					
$D_L$ calculado					
$D_A$ calculado					
Cumple					

$D_L$  : Diámetro promedio de la zona distorsionada más externa medida en la dirección paralela al eje ánodo-cátodo.

$D_A$  : Diámetro promedio de la zona distorsionada más externa medida en la dirección perpendicular al eje ánodo-cátodo.

N: Ángulo del patrón.

F: Tamaño del punto focal.

Cumple: Sí / No

### Criterio de aceptación:

Los valores medidos de las dimensiones del punto focal deben estar dentro de los límites establecidos en la siguiente tabla. El valor nominal del tamaño del punto focal no debe ser mayor que 0.4 mm.

Tolerancias en las dimensiones del punto focal

Punto focal (Valor nominal)	Dimensiones del punto focal	
	Valores permisibles (mm)	
mm	Ancho (perp)	Largo (paralel)
0.10	0.10 - 0.15	0.10 - 0.15
0.15	0.15 - 0.23	0.15 - 0.23
0.20	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30
0.25	0.25 - 0.38	0.25 - 0.38
0.30	0.30 - 0.45	0.45 - 0.65
0.40	0.40 - 0.60	0.60 - 0.85

Realizó: \_\_\_\_\_

## ANEXO C

### EVALUACION DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL USANDO UN PATRÓN DE BARRAS PARALELAS Y UN DIGITALIZADOR

# EVALUACIÓN DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL USANDO UN PATRÓN DE BARRAS PARALELAS Y UN DIGITALIZADOR

## Instrucciones

### OBJETIVO:

Evaluar la resolución límite de un sistema completo de mamografía, incluyendo los efectos geométricos debidos al equipo de mamografía, el uso de la combinación película-pantalla y el proceso de revelado.

### REFERENCIAS:

- ACR, Reston, VA: American College of Radiology: II. Mammography Quality Control Tests, Evaluation of System Resolution 238-240; III. Slit Camera Evaluation of Focal Spot Performance, *Mammography, Quality Control Manual*; 321-324, 1999.
- J. Yaffe and J. A. Rowlands, *X-ray Detectors for Digital Radiography*, Phys. Med. Biol.; 1997, 42: 1-39.

### MATERIAL Y EQUIPO:

- Patrón de barras paralelas (en adelante llamado patrón de barras). Éste debe ser capaz de proveer una resolución de hasta 20 pares de líneas por milimetro (pl/mm).
- Un chasis del servicio de mamografía con pantalla intensificadora. Siempre se usará el mismo chasis. Para el mejor contacto entre la pantalla y la película deje un tiempo de 15 minutos entre el cargado de la película y la exposición para asegurarse de que el aire atrapado se escape.
- Digitalizador (escáner) con resolución mínima de 2700 dpi ópticos y soportes adecuados para el montaje de la imagen radiográfica.
- Un maniquí de acrílico con espesor de 4.5cm

### PROCEDIMIENTO:

1. Coloque el maniquí de acrílico al borde del lado del tórax y centrado con respecto al portachasis.
2. Coloque el patrón de barras a un 1cm del borde del lado del tórax. Coloque primero el patrón de barras perpendicular al eje ánodo-cátodo; de esta forma las barras deben estar alineadas paralelamente al eje ánodo-cátodo. Ayúdese con el campo

luminoso para que el centro del patrón de barras coincida con la sombra de la línea de referencia del compresor.

**Observación:** Es importante que el patrón de barras esté colocado en forma reproducible. Se sugiere tomar medidas de referencia de la posición que guarda el maniquí de acrílico con respecto al portachasis y colocar un indicador (como una marca de plumón) de la posición del patrón de barras sobre el maniquí de acrílico.

3. Ponga en contacto el compresor del equipo con el maniquí de acrílico. Es posible que debido a una mala nivelación del portachasis, el compresor no esté en contacto completo con el maniquí de acrílico. Anote la compresión nominal y mida la distancia entre el portachasis y la superficie en contacto del compresor con el maniquí de acrílico para futuras referencias.
4. Coloque el chasis, previamente cargado con película en el portachasis.

**Observación:** Se usará el mismo chasis durante toda la prueba. Para asegurar el mejor contacto entre la pantalla y la película deje transcurrir un tiempo de 15 minutos, entre el cargado de la película en el chasis y la exposición, para asegurarse que el aire atrapado se escape.

5. Seleccione en modo manual valores de la tensión (kVp) y de la carga (mAs) tales que se obtenga una densidad óptica entre 1.0 y 1.2 al centro del maniquí. Se sugiere como referencia probar 26.0 o 28.0 kVp con 50 o 60 mAs.
6. Haga la exposición y revele la película.
7. Repita el paso 6 con el patrón de barras paralelo al eje ánodo-cátodo (las barras deben de estar perpendiculares al eje ánodo-cátodo), con el número de pares de línea por milímetro más alto hacia el lado del tórax. El patrón de barras se coloca igualmente a 1 cm del lado del tórax y se alinea a su centro con la línea de referencia del compresor.

#### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E INTERPRETACIÓN:**

1. Utilice el digitalizador y digitalice las imágenes tomadas del patrón de barras sin utilizar ningún programa de cómputo (software) de tratamiento de imagen. Es importante que no haya ninguna superficie entre el escáner y el área de la imagen radiográfica.

**Observación:** En nuestro caso se utilizó el digitalizador Coolscan III de marca Nikon y se recomienda que las imágenes deban digitalizarse habiendo sido éstas colocadas en la parte central de la superficie de barrido del digitalizador de tal forma que se visualicen verticalmente en la pantalla del monitor; sin que haya ninguna superficie entre el digitalizador y el área a digitalizar. Cuando las imágenes hayan sido digitalizadas se sugiere que éstas sean salvadas directamente en el disco duro de la computadora (el tamaño de cada imagen puede ser de 9 a 10 MB).

2. Las imágenes ya digitalizadas deben analizarse en un monitor con resolución mínima de 1024x768 pixeles y en una habitación donde la única fuente de luz durante la observación de las imágenes provenga del monitor.
3. Haga una amplificación al 300% de la imagen para observar hasta qué número de pares de líneas por milímetro se alcanzan a visualizar adecuadamente en la pantalla. Anote

entonces el número máximo de pl/mm que se alcancen a visualizar para los casos en que las barras se tomaron paralelas y perpendiculares al eje ánodo-cátodo.

Observación: Un criterio para contabilizar un par de líneas por milímetro es que al menos la mitad de las barras de un pl/mm se alcancen a visualizar claramente.

#### **CRITERIO DE ACEPTACIÓN:**

La imagen con las barras paralelas al eje ánodo-cátodo (patrón de barras perpendicular) debe al menos resolver 13 pl/mm y la imagen con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo (patrón de barras paralelo) debe al menos resolver 11 pl/mm.

## EVALUACIÓN DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL USANDO UN PATRÓN DE BARRAS PARALELAS Y UN DIGITALIZADOR

Hospital : \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Equipo de rayos X: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_  
 Patrón de barras: Marca: \_\_\_\_\_ Modelo: \_\_\_\_\_ Serie: \_\_\_\_\_  
 Número máximo de pares de líneas por milímetro (pl/mm): \_\_\_\_\_  
 Maniquí: Material: \_\_\_\_\_ Espesor: \_\_\_\_\_

Tamaño de punto focal nominal, $a_{nom}$					
Tensión nominal (kVp)					
Carga nominal (mAs)					
Número de pl/mm que se resuelven con el patrón de barras perpendicular al eje ánodo-cátodo: pl/mm <sub>perp</sub>					
Número de pl/mm que se resuelven con el patrón de barras paralelo al eje ánodo-cátodo: pl/mm <sub>paral</sub>					

Cumple: Si / No

### CRITERIO DE ACEPTACIÓN:

La imagen con las barras paralelas al eje ánodo-cátodo (patrón de barras perpendicular) debe al menos resolver 13 pl/mm y la imagen con las barras perpendiculares al eje ánodo-cátodo (patrón de barras paralelo) debe al menos resolver 11 pl/mm.

Realizó: \_\_\_\_\_



## ANEXO D

### DESCRIPCIÓN Y ESQUEMA DE LA CÁMARA DE RENDIJA UTILIZADA

## DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE RENDIJA

### REFERENCIAS:

- Radiology, Instruments and Accessories, catalogue G-6, Nuclear Associates, slit camera, 22.

### DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

La cámara de rendija, Nuclear Associates, 07-624 cumple con los estándares de la NEMA publicadas en XR-5-1984, sugeridos para medición del punto focal con cámara de rendija.

Ancho de rendija:  $10\ \mu\text{m}$  ( $\pm 1\ \mu\text{m}$ ) con  $4^\circ$  de apertura a cada lado del borde.

Largo de la rendija: 10 mm.

Material de la rendija: Talio, con 1.5 mm de espesor.

Un diagrama de la cámara de rendija se muestra en la figura D.1.

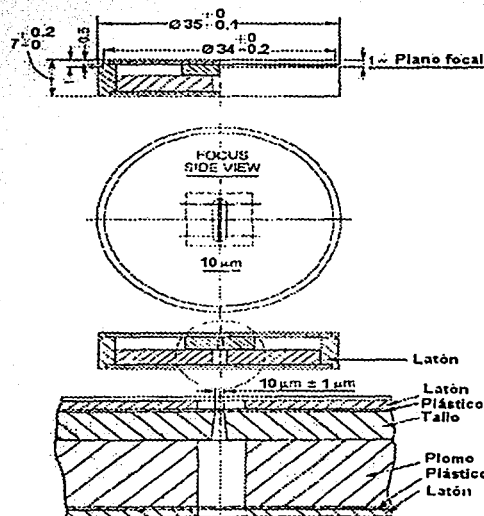


Figura D.1. Esquema de la cámara de rendija.

## ANEXO E

**CARACTERÍSTICAS DEL DIGITALIZADOR  
(ESCÁNER) UTILIZADO:  
COOLSCAN III (LS-30), DE MARCA NIKON**

# DESCRIPCIÓN DEL DIGITALIZADOR (ESCÁNER) COOLSCAN III (LS-30), DE MARCA NIKON

## REFERENCIAS:

- [N102]  
Operation of Nikon, Coolscan III (LS-30), key features and technical specifications,  
<http://www.nikonusa.com>

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Digitalizador de película (transmisión).

Una fotografía del digitalizador se muestra en la figura E.1.

**Tipo de película:** 35 mm / Avanzado sistema de película fotográfico (positivos, negativos, color o monocromáticas).

**Resolución de lectura:** 2592 pixeles monocromáticos con arreglo lineal de CCD; 2700 dpi ópticos.

**Área de barrido:** 24.3 x 36.5 mm (2592 x 3894 pixeles).

**Tamaño de la apertura:** 23.4 x 35.4 mm (película de 35.4x 35.4), 16.1 x 27.4 mm (Advanced Photo System)

**Método de iluminación:** Arreglo de LED, RGB, luz condensada y difusa.

**Separación del color:** RGB lineal.

**Óptica asociada a la toma de datos:** 6 lentes en 4 grupos.

**Auto-enfoque:** Detección de contraste por medio de CCD; área de enfoque seleccionable.

**Indicadores del panel:** READY, BUSY y ERROR se indican por medio del LED.

**Programa de cómputo para adquisición de imágenes:** Nikon Scan(TM) 2.5.

**Transferencia de imágenes:** Secuencia lineal de paso simple en RGB.

**Máxima tasa de transferencia:** 3MB/s.

**Barrido de la imagen:** Sistemas ópticos y CCD conducidos por motor paso a paso, blanco fijo y paso simple de barrido.

**Tiempo de barrido:** Aproximadamente 20 s. (positivo/negativo) sin incluir el tiempo de transferencia a la computadora.

**Densidad óptica:** Intervalo dinámico de 3.0.

**Conversión A/D:** 10 bits.

**Datos de salida:** 8 bits por canal de color.

**Digital ICE(TM):** Remueve automáticamente defectos de la superficie (rayones o deterioro de la imagen por el tiempo).

**Requerimientos de alimentación:** 100 - 240 VAC, 0.3 - 0.2A, 50/60 Hz.

**Ambiente:** Temperatura: 10°C - 35°C (50°F - 95°F); humedad relativa: 20 - 85% (no condensación).

**Dimensiones (A x H x P):** 85 x 142 x 275 mm (3.4 x 5.6 x 10.8 in.).

**Peso:** Approx. 2.4 kg (5 lbs.).

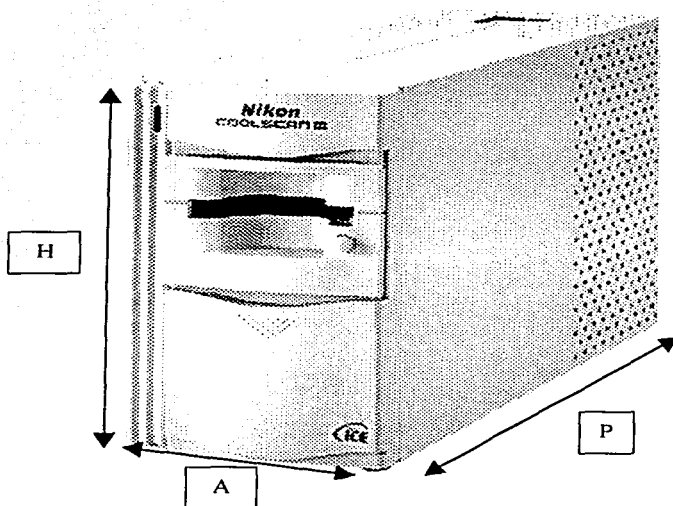


Figura E.1. Digitalizador (escáner) Coolscan III (LS-30), Nikon.