

## CARACTERIZACIÓN DOSIMÉTRICA DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS DE USO EN RADIODIAGNÓSTICO

### DOSIMETRIC CHARACTERIZATION OF RADIOGRAPHIC FILMS OF USE IN RADIODIAGNOSIS

A. LÓPEZ ESPINOZA<sup>\*,1</sup> & F. J. GÓMEZ GRANCE\*

\*Laboratorio de Ciencias Radiológicas e Imagenología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN). Campus Universitario. San Lorenzo – Paraguay. <sup>1</sup>E-mail: ana\_liz\_87@hotmail.es

**Resumen:** La dosimetría filmica utiliza películas radiográficas como detectores de radiaciones ionizantes, relacionando la densidad óptica (DO) con las dosis absorbidas por medio de curvas de caracterización dosimétricas. El objetivo de este trabajo fue caracterizar films radiográficos los cuales serán empleados en un futuro para evaluar la dosis equivalente personal de trabajadores en equipos rayos X convencional. Las irradiaciones se realizaron con un tubo de Rayos X de uso clínico - potenciales de 60, 100 y 125 kVp- y con fantoma construido para albergar un detector UNFORS Xi, películas radiográficas y filtros de Cobre o Aluminio. Se construyeron curvas de Densidad óptica y Dosis absorbida, sin filtro y con filtro, interponiendo en el haz un fantoma de PMMA de espesor variable. Estas curvas se pusieron a prueba estimando las dosis absorbidas en 12 películas irradiadas, con dosis conocidas con un haz directo no atenuado. La desviación porcentual en promedio entre las dosis estimadas y las conocidas fue del 20%; además pudimos constatar que dicho valor aumenta con el aumento del kVp.

**Palabras claves:** Dosis absorbida, densidad óptica, dosimetría filmica

**Abstract:** The film dosimetry uses radiographic film as detectors of ionizing radiation, relating the optical density (DO) with absorbed doses by curves of dosimetric characterization. The aim of this paper was to characterize radiographic films which will be used in the future for evaluate the personal equivalent doses of workers in conventional X ray equipment. The irradiations were performed with an X Ray tube of clinical use - potentials of 60, 100 and 125 kVp – and with phantom that was constructed for harbor an UNFORS Xi detector, radiographic films and filters of Copper or Aluminum. Curves of DO and Absorbed Doses, without filter and with filter were constructed, interposing a phantom of PMMA of variable thickness at the beam. These curves were tested by estimating the absorbed doses in 12 irradiated films with known doses with direct beam unattenuated. The percentage deviation between the estimated doses and known doses was 20% on average, also we found that this value increases with the kVp increase.

**Key words:** Absorbed dose, optical density, film dosimetry

## INTRODUCCIÓN

Los dosímetros fílmicos están constituidos por películas radiográficas cuyo grado de ennegrecimiento, luego de ser expuestas a radiación ionizante, están relacionadas con las dosis absorbidas; estos dosímetros tienen la ventaja de almacenar permanentemente la información, permitiendo de esa manera consultar el registro de dosis en diferentes ocasiones, si esto fuera necesario (Curso de Postgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, 1998).

Típicamente, los sistemas de dosimetría fílmica utilizan dos películas radiográficas, una de baja y otra de alta velocidad, ambas sensibles al

azul y cuyas condiciones de revelado la define el fabricante (Sáez & Barroto, 1995). Sin embargo, existen otros tipos de películas radiográficas, las cuales son utilizadas en radiografía industrial y en radiodiagnóstico, por ejemplo las películas empleadas en Mamografía, Odontología y Radiografía Convencional.

Dichas películas tienen doble emulsión y pueden ser: de velocidades variables, sensibles al verde o al azul y utilizarse con o sin pantallas intensificadoras, dependiendo estas características tanto del tamaño del grano de las sales de plata, como del espesor de la emulsión (Alcaraz, 2002).

Debido a la necesidad de estimar las dosis de

radiación ionizante producidas por fotones dispersos de Rayos X de calidad diagnóstica, este trabajo tiene como objetivo la caracterización dosimétrica de películas radiográficas para la evaluación de las dosis en condiciones conocidas, y en un futuro la dosis equivalente personal de trabajadores.

La caracterización dosimétrica consiste en la determinación de parámetros físicos que condicionan la respuesta dosimétrica de las películas radiográficas, de modo a obtener distintas curvas que relacionen las densidades ópticas bajo distintos filtros y sin filtro con las dosis impartidas.

### MATERIALES Y MÉTODOS.

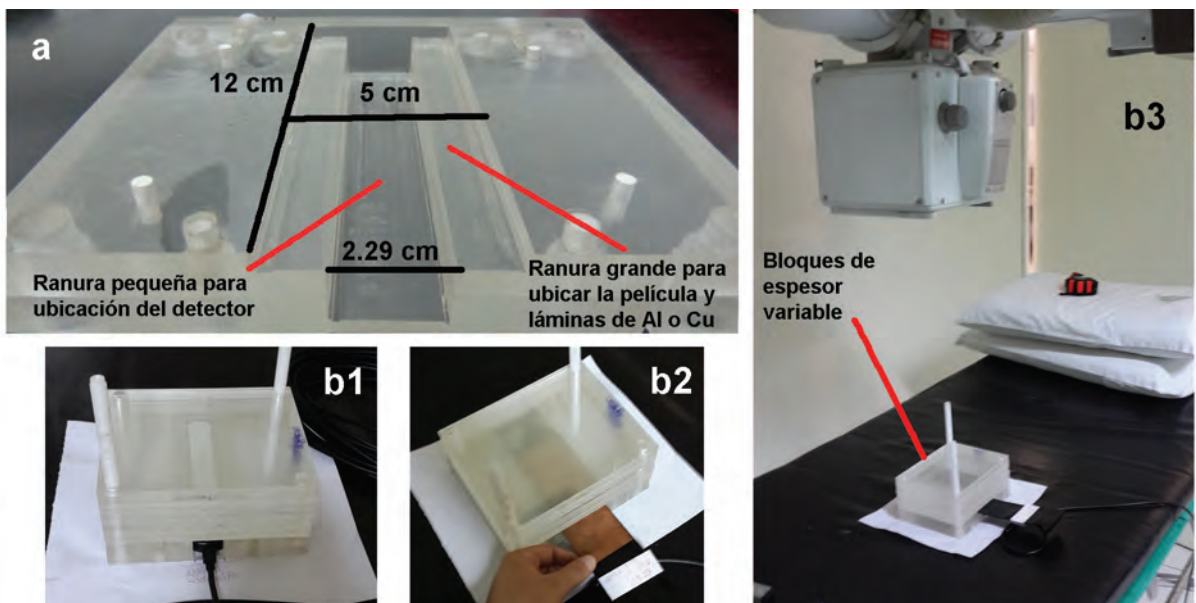
En este trabajo fue diseñado y construido un fantoma con bloques de Polimetilmetacrilato (PMMA), la base del fantoma se muestra en la Figura 1a, en donde se pueden notar dos ranuras con dimensiones diferentes, de modo a ubicar conjuntamente el detector UNFORS Xi (R/F), las películas radiográficas y los filtros; dichos filtros son láminas de Cobre (Cu) o Aluminio (Al) de espesores variables. Se utilizan dichos filtros porque, ya que el efecto fotoeléctrico y la absorción diferencial no influirán en demasía en las densidades ópticas

de las películas radiográficas, por el bajo número atómico de estos materiales, y por tanto así se tendrán diferentes valores de densidades ópticas en el rango de energías de fotones de Rayos X utilizados (Radiodiagnóstico).

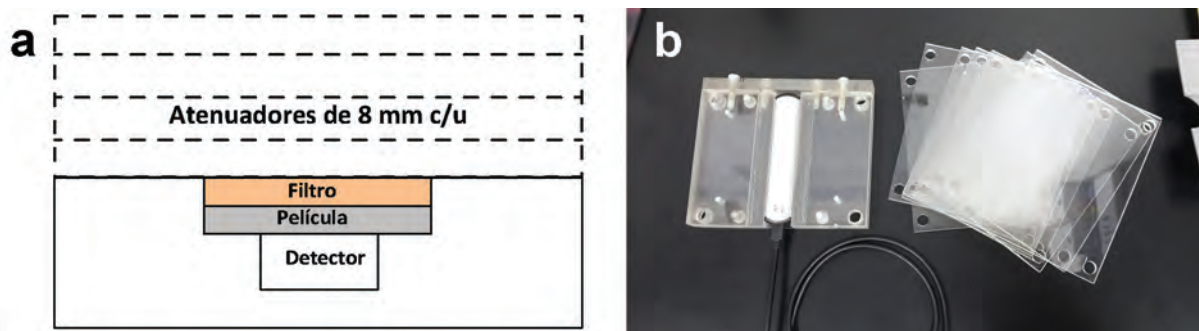
Por otra parte, las películas radiográficas de uso en radiodiagnóstico, ortocromáticas, de grano fino con ultra-alta resolución y de doble emulsión, fueron preparadas con dimensiones de 25 cm x 5 cm, que facilita su carga en sobres radio-opacos de similar dimensión.

En el arreglo anterior, la película radiográfica fue expuesta a un haz de Rayos X generado en un Tubo de marca SIEMENS y modelo Gigatos con distancia fuente - película de 80 cm (Figura 1b.3). Este equipo de rayos X convencional es de uso clínico y se realizaron controles periódicos, debido a que no contamos con un Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica.

El esquema de radiación se muestra en la Figura 1b, en donde se puede observar que el detector UNFORS Xi (R/F) es ubicado en la ranura pequeña en la base del fantoma (Figura 1b.1), luego se ubica el sobre radio-opaco cargado con una película radiográfica, sin filtro, en la ranura de mayor dimensión.



**Figura 1.** Fantoma utilizado en este trabajo. a) Base del fantoma de PMMA b) Ubicación de las películas y filtros para las irradiaciones.



**Figura 2.** Estructura del fantoma. a) Esquema del montaje de irradiación b) Base del fantoma y atenuadores.

Las técnicas de exposición utilizadas fueron elegidas por ser los más estables en la prueba de reproducibilidad del Control de Calidad aplicado al equipo.

Primero se irradió con 60 kVp, 20 mAs, sin filtro y sin placas de PMMA. La película así expuesta fue retirada y almacenada para su posterior revelado. Seguidamente se ubica un bloque de PMMA de 8 mm de espesor por encima de la base del fantoma.

Se irradia nuevamente y todo el procedimiento se repite hasta completar 88mm de espesor de PMMA, con placas de PMMA de 8mm cada una.

Para las consecutivas dos series de irradiaciones se mantuvo la técnica de exposición pero se colocaron primero un filtro de Cobre de 0,5 mm de espesor, como se muestra en la Figura 1b.2. y luego uno de 1mm de espesor y finalmente se reemplazó por un filtro de Aluminio de 1mm de espesor.

Todo el procedimiento mencionado sin filtro fue repetido hasta completar los 88mm de espesor de PMMA. Al terminar las anteriores series de exposiciones, se procede a revelar las películas radiográficas de cada exposición.

Una nueva serie de exposiciones se efectúa siguiendo el mismo procedimiento de los párrafos anteriores, modificando los potenciales a 100 kVp y 125 kVp para cada serie de irradiación. (Figura 2a y Figura 2b).

El espesor del atenuador interpuesto entre las películas radiográficas y el haz, se modifica agregando otros bloques de PMMA de 8 mm de espesor ( ) en cada serie de irradiaciones, hasta totalizar un espesor final de 88 mm de PMMA.

Las 132 películas radiográficas, fueron reveladas

en una procesadora automática AGFA CP1000, sin presencia de luz de seguridad en el cuarto oscuro. Luego, medimos la densidad óptica de cada una de las 132 películas, con un densitómetro digital X-RITE 331, cuyo rango de medida es de 0 - 4.0 DO.

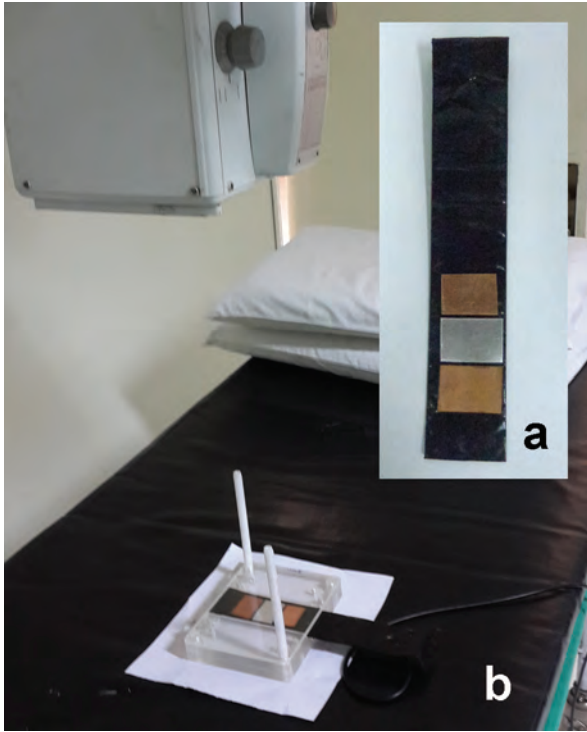
Con los valores determinados de las dosis y densidades ópticas se trazaron las curvas de caracterización dosimétricas, clasificándolas como sigue:

*Cartilla Tipo I:* Son curvas que relacionan las Dosis vs. DO sin filtro y es utilizada con tres cartillas diferentes del tipo II.

*Cartillas Tipo II:* Son curvas que relacionan la DO en las películas radiográficas irradiadas con filtros (Cu 0,5mm; Cu 1mm; Al 1mm) vs. DO sin filtro.

A modo de probar todo el sistema dosimétrico, las curvas fueron utilizadas para estimar las dosis en películas expuestas a dosis conocidas. Dichas películas radiográficas fueron ubicadas en el interior de sobres radio-opacos, cuya parte externa está cubierta con los filtros de cobre y aluminio de espesores diferentes, constituyéndose en un prototipo de irradiación (Figura 3a).

Para la exposición de las películas, se ubicó el detector y el prototipo en la base del fantoma, en las ranuras adecuadas. Este arreglo se colocó en el centro del campo luminoso (Figura 3b), a 80 cm de distancia fuente-película en el eje central del haz de radiación, de esta manera, el arreglo es expuesto al haz de Rayos X con una técnica de 60 kVp y 20 mAs. Se registró la dosis medida por el detector y la película expuesta fue retirada y almacenada para su revelado.



**Figura 3.** Exposición del prototipo en condiciones conocidas.

Seguidamente se realizaron dos exposiciones más con la misma técnica anterior.

Posteriormente y con el mismo procedimiento, se expusieron otras películas a los potenciales de 80, 100 y 125 kVp, manteniendo constantes los 20 mAs y la distancia fuente-película. De este modo, se obtuvieron 12 películas expuestas que fueron reveladas en la procesadora automática.

Luego, se midieron las densidades ópticas de la imagen obtenida en cada película y en cada zona con filtro o sin filtro. Dichas medidas fueron agrupadas en tablas como DO SF, DO Cu 0,5 mm; DO Cu 1mm y DO Al 1 mm para el posterior cálculo de dosis.

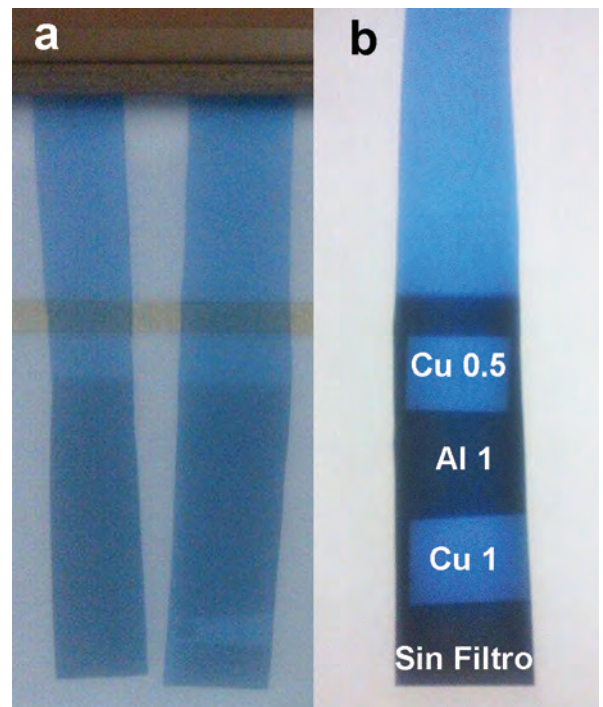
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta de las películas radiográficas a las dosis impartidas fue variada mediante la interposición de filtros de Cobre y Aluminio de espesores diferentes entre el haz de Rayos X y las películas. El ennegrecimiento de las películas irradiadas bajo filtros y atenuadores de espesores diferentes (Figu-

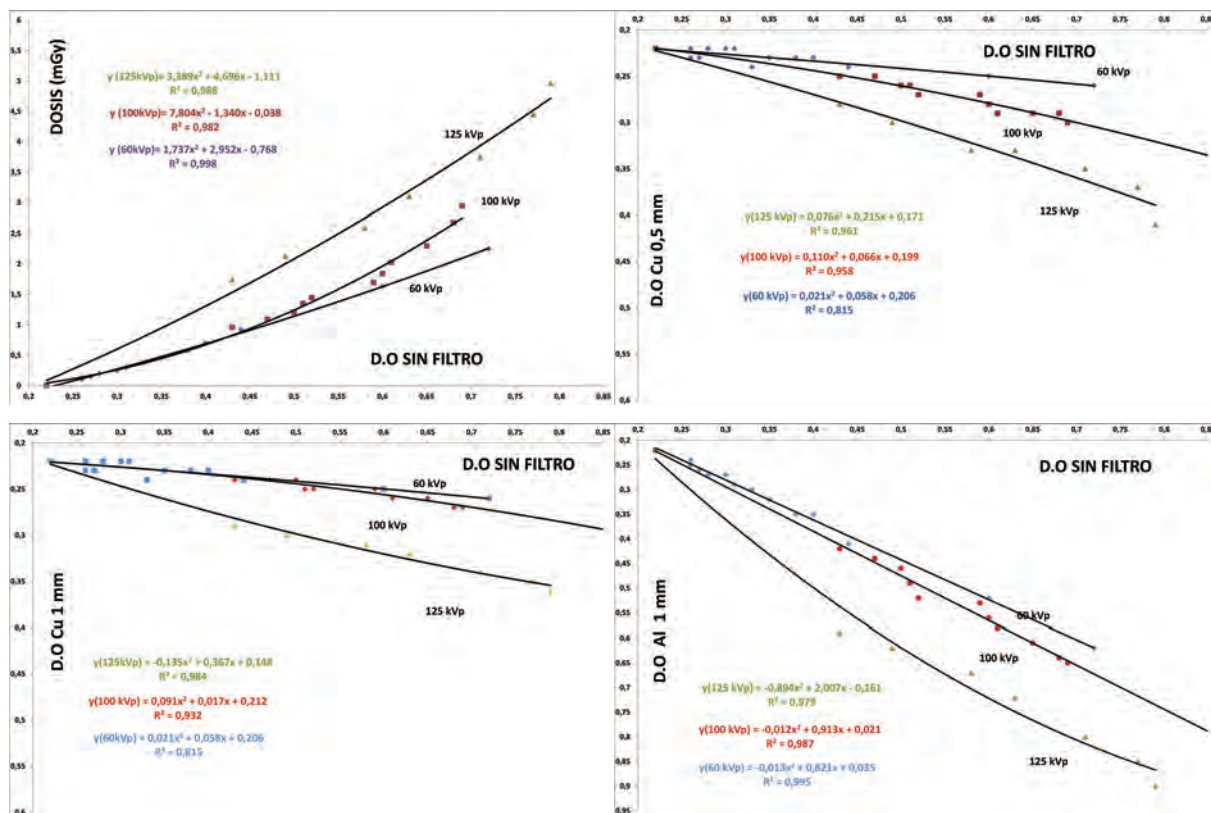
ra 4a) fue proporcional a las dosis registradas en cada exposición. La imagen de la película expuesta como prototipo mostrada en la Figura 4b, denota una visible densidad óptica diferente en zonas con filtros y sin filtro.

La construcción de los gráficos fue realizado mediante planillas de datos en Excel, en donde se agregaron las curvas de mejor ajuste a los puntos obtenidos en las irradiaciones. De esta forma, la Figura 5a muestra las curvas que relacionan las dosis con las densidades ópticas en la irradiación sin filtro. Estas curvas fueron clasificadas anteriormente como Cartilla de Tipo I. Se puede notar que las curvas obtenidas no representan una relación lineal entre densidad óptica y dosis, lo cual está en concordancia con publicaciones internacionales (OIEA, 2004).

Por otro lado, las figuras 5b, 5c y 5d muestran las curvas que relacionan densidades ópticas entre sí, correspondientes a películas que fueron irradiadas bajo filtros de Cobre de 0,5 mm de espesor (5b),



**Figura 4.** Resultados de la irradiación sobre la película. a) Película revelada para caracterización b) Película prototipo revelada.



**Figura 5.** Cartillas para estimación de dosis: a) Cartilla I. b) Cartilla II - Cu 0,5 mm. c) Cartilla II - Cu 1 mm. d) Cartilla II - Al 1 mm.

Cobre de 1 mm de espesor (5c) y Aluminio 1 mm (5d). Estas curvas fueron clasificadas anteriormente como Cartillas de Tipo II.

Las densidades ópticas medidas en cada zona y las dosis a las cuales fueron expuestas las películas (dosis conocidas) se muestran en el Cuadro 1, con las incertidumbres asociadas a la medición de las dosis.

Las incertidumbres asociadas a la medición de densidades ópticas se muestran en el Cuadro 2. Estos valores son resultados de la influencia de las condiciones de revelado de las películas radiográficas.

Para calcular las dosis, introducimos en la Cartilla Tipo II - Cu 0,5 mm el punto (DO SF, DO Cu 0,5mm) correspondiente a las densidades medidas en la imagen de la película en las zonas indicadas. Se observa a que curva de kVp ese punto intersepta. Si no es así se debería hacer una interpolación.

Luego, usando la Cartilla Tipo I, se determina la dosis que corresponde al punto de intersección de la recta DO SF (valor de DO proveniente de la Cartilla Tipo II) con la curva de kVp que pasa por el punto (DO SF, DO Cu 0,5mm) en la Cartilla Tipo II.

En los casos en que el punto (DO SF, DO Cu 0,5mm) no intercepte ninguna curva en la Cartilla Tipo II, se determina el punto (DO SF, DO Cu 0,5(2)), donde DO Cu 0,5(2) es la DO en el punto de intersección de la recta de DO SF y la curva de kVp conocido más próxima al punto con coordenadas (DO SF, DO Cu 0,5mm).

Posteriormente, usando la Cartilla Tipo I, se determina la dosis  $D_1$  que corresponde al punto de intersección de la recta DO SF (valor de DO proveniente de la Cartilla Tipo II) con la curva de kVp que pasa por el punto (DO SF, DO Cu 0,5mm (2)) en la Cartilla II. La dosis que corresponde al punto (DO SF, DO Cu 0,5mm) se determina mediante la

**Cuadro 1.** Dosis medidas con el detector Unfors y DO medidas en los films.

N° Prototipo	kVp nominal	Dosis (mGy)	Dosis con Incertidumbre (mGy)	DO Sin Filtro	DO Cu 0,5 mm	DO Cu 1 mm	DO Al 1 mm
1		4,4		0,67	0,41	0,39	0,86
2	125	4,505	4,49±0,17	0,59	0,38	0,35	0,71
3		4,574		0,61	0,39	0,34	0,8
4		2,932		0,68	0,31	0,29	0,62
5	100	2,989	2,96±0,11	0,78	0,35	0,33	0,73
6		2,953		0,78	0,35	0,33	0,73
7		1,673		0,58	0,29	0,27	0,54
8	80	1,742	1,69±0,12	0,59	0,29	0,28	0,55
9		1,648		0,59	0,29	0,28	0,55
10		0,8389		0,43	0,26	0,25	0,4
11	60	0,8209	0,83±0,10	0,43	0,26	0,25	0,4
12		0,8286		0,43	0,26	0,25	0,4

interpolación de valores y un factor de escala entre cartillas I y II. Finalmente, la dosis estimada  $D_E$  se obtiene con la ecuación:

$$D_E = D_1 + f \cdot \Delta DO$$

Donde:

$\Delta DO = DO_{Cu\ 0,5mm} - DO_{Cu\ 0,5mm}$  (2), es la diferencia de densidades ópticas en la recta que contiene a DO SF.

$f =$  Factor de corrección de escala entre las Cartillas I y II. Se encontró que este valor es 10 unidades de

Dosis / unidades DO, para los gráficos obtenidos.

$D_1 =$  Es la dosis correspondiente al punto (DO SF, DO Cu 0,5mm).

$D_E =$  Dosis estimada con el filtro analizado.

Este procedimiento se repitió para la Cartilla Tipo II - Cu 1 mm y Cartilla Tipo II - Al 1 mm, reportando el promedio de las dosis estimadas como la dosis recibida por la película. Luego, se calcularon las desviaciones porcentuales entre dosis conocidas y estimadas para cada película, mostrados en el

**Cuadro 2.** Incertidumbres asociadas a la medición de las densidades ópticas.

kVp nominal	DO Sin Filtro	DO Cu 0,5 mm	DO Cu 1 mm	DO Al 1 mm
125	0,62 ± 0,09	0,39 ± 0,04	0,36 ± 0,05	0,79 ± 0,21
100	0,75 ± 0,17	0,34 ± 0,05	0,32 ± 0,05	0,69 ± 0,05
80	0,59± 0,03	0,29± 0,03	0,28± 0,03	0,55± 0,03
60	0,43± 0,03	0,26± 0,03	0,25± 0,03	0,4± 0,03

**Cuadro 3.** Dosis estimadas y desviaciones porcentuales para diferentes valores de KVp.

kVp	Dosis conocidas (mGy)	Dosis estimadas por filtro (mGy)			$D_E$ (mGy)	SD	Desviación (%)
		Cu 0,5 mm	Cu 1 mm	Al 1 mm			
125	4,400	4,156	4,136	4,336	4,210	0,551	4,323
	4,510	3,389	3,149	2,839	3,126		30,694
	4,570	3,594	3,194	3,714	3,501		23,392
100	2,930	2,809	2,959	2,509	2,759	0,679	5,849
	2,990	3,974	4,214	3,614	3,934		31,572
	2,950	3,974	4,214	3,614	3,934		33,356
80	1,670	1,959	1,979	1,729	1,889	0,060	13,134
	1,740	2,007	2,137	1,837	1,994		14,593
	1,650	2,007	2,137	1,837	1,994		20,843
60	0,840	0,928	0,948	0,978	0,951	0,000	13,264
	0,820	0,928	0,948	0,978	0,951		16,026
	0,830	0,928	0,948	0,978	0,951		14,629

**Cuadro 3.**

Los valores mostrados son resultados de las interpolaciones matemáticas realizadas en las curvas correspondientes, ya que en ningún caso las curvas de la Cartilla Tipo II, pasaron por el punto de intercepción de las densidades ópticas medidas la película prototipo. Dicho comportamiento se le atribuye a la influencia de las condiciones de almacenado y revelado de las películas en las densidades ópticas.

Las desviaciones porcentuales diferentes a cero entre los valores medidos (conocidos) y estimados se deben a la respuesta de las películas radiográficas a las dosis de radiaciones ionizantes, afectando las densidades ópticas medidas, que a su vez es dependiente de parámetros físicos como: las condiciones de almacenamiento de las películas, la temperatura y PH de los líquidos reveladores (Gómez et al, 2010).

La repetibilidad de las dosis conocidas es dependiente de la respuesta del detector a las radiaciones ionizantes, así como de la variación del espectro de Rayos X del tubo de uso clínico y la repetibilidad

de potencial del mismo tubo.

Una característica importante encontrada en este trabajo es la repetibilidad en la estimación de las dosis en función del KV. Este parámetro aumenta a KVp bajos, mejorando la respuesta de las películas radiográficas a pocos kilovoltios, obteniendo una mejor repetibilidad que el detector de referencia, inclusive. La literatura consultada indica que las películas radiográficas tienen una alta dependencia energética a bajas energías (OIEA, 2004), sin embargo, en los resultados obtenidos se observa lo contrario, al menos, en el tipo de películas radiográficas empleadas en este trabajo.

En el rango de potenciales utilizados, el promedio de desviaciones porcentuales es  $\pm 20\%$ , respecto a las medidas registradas con el detector de referencia, en condiciones de irradiación con haz de Rayos X directo.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten inferir que la caracterización dosimétrica de las películas radio-

gráficas de uso en radiodiagnóstico es posible, aun teniendo en cuenta las condiciones de caracterización: exposición con tubo de Rayos X de uso clínico, pureza del PMMA empleado y condiciones de revelado de las películas en procesadora automática.

Comparando con calibraciones realizadas en laboratorios de dosimetría (FOMA Personal Monitoring Film; IPR, Chile), los cuales no detallan el procedimiento empleado para la calibración de las películas (específicas para dosimetría), hemos obtenido las curvas de caracterización dosimétricas de películas radiográficas que no se utilizan con este fin.

Sin embargo, la caracterización de dichas películas fueron influenciadas en mayor grado por las condiciones de almacenado y revelados de los filmes, las cuales influyeron en los valores de densidades ópticas medidas para la estimación de las dosis.

Estos factores fueron el motivo por el cual el porcentaje de desviación entre las dosis estimadas y las conocidas son en promedio 20%, para una caracterización dosimétrica con exposiciones a un haz directo de Rayos X de un tubo de uso clínico al cual se verificaron la reproducibilidad y repetibilidad del potencial. Un trabajo futuro pretende adecuar la caracterización dosimétrica a la IRAM-ISO 1757.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARÁZ BAÑOS, M. 2002. Tema 10 "La película radiográfica". Clases de la Universidad de Murcia. <http://webs.um.es>. Acceso el 20 de mayo de 2013.
- AUTORIDAD REGULATIVA NUCLEAR. Curso de Post-Grado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear. Buenos Aires (Argentina); 1998.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y BIENESTAR SOCIAL. Reglamento Nacional de Seguridad para la Protección Contra las Radiaciones Ionizantes y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación. Asunción (Paraguay). 2002.
- INSTITUTO BALSEIRO. Departamento de Protección Radiológica. Principios de Detección de la Radiación. 26-28. Disponible en: [http://labrad.fisica.edu.uy/docs/Detectores\\_de\\_Radiacion\\_Balseiro.pdf](http://labrad.fisica.edu.uy/docs/Detectores_de_Radiacion_Balseiro.pdf). Acceso el 8 de octubre de 2013.
- FOMA. Personal Monitoring Film. Hoja Técnica de Laboratorios FOMA de República Checa. Disponible en: <http://www.foma.cz/en/catalogue-personal-monitoring-film-detail-1080>. Acceso el 24 de julio de 2013.
- GÓMEZ FJ, VELAZQUEZ OA, TONINA J, PEIREIRA C, VUKOJEVIC O. 2010. Análisis de Parámetros Físicos que Influyen en la Calidad de las Placas Radiográficas Obtenidas en Servicios de Radiodiagnóstico en Paraguay. Reporte Científico de la FACEN, 1(2):15-30.
- INSTITUTO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. Dosimetría Personal. Santiago de Chile (Chile); Última actualización 2012.
- JOHNS, H y CUNNINGHAM, J R. 1983. The Physics of Radiology. Fourth Edition. United States. Editorial Charles C Thomas.
- ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. 2004. Guía de Seguridad N° RS -G 1.3 "Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación". Viena (Austria);
- PECORINI, V; RODRÍGUEZ PASQUÉS, R.H; ROTTA, M.C. 1981. Cámaras de Centelleo. Buenos Aires (Argentina).
- SÁEZ D & BARROTO M. 1995. Vigilancia individual de la exposición ocupacional al roentgenodiagnóstico. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 33(1).
- UNFORS X- RAY TEST. Manual de Usuario y Certificado de Calibración.
- X-RITE 331. 1995. Manual de Usuario y Certificado de Calibración. Michigan (Estados Unidos). 17p.