

Respuesta de dosímetros PTR a la irradiación con electrones y rayos gama

A.E. Buenfil y M.E. Brandan

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, apartado postal 20-364, 01000 México, D.F.

(recibido el 19 de febrero de 1988; aceptado el 19 de mayo de 1988)

Resumen. La respuesta dosimétrica de películas de tinte radiocrómico tanto comerciales como fabricadas en nuestro laboratorio ha sido estudiada frente a la irradiación con rayos-gama (Co-60) y con electrones de 1.2 MeV. El intervalo de dosis comprende entre 1 y 130 kGy (0.1 y 13 Mrads) y la tasa de dosis, entre 0.6 y 60 Gy/s. No se observan diferencias sistemáticas en la respuesta asociada al tipo de radiación ni a la tasa de dosis.

PACS: 28.80.Cg

1. Introducción

Las películas de tinte radiocrómico (PTR) son dosímetros constituidos por una base de plástico a la que se le ha agregado un precursor de tinte que genera color al ser irradiado [1]. La propiedad que se mide es el cambio en la densidad óptica (DO) como respuesta a la dosis absorbida. Los dosímetros presentan diferentes características en su comportamiento dependiendo de la combinación plástico-tinte, del proceso de elaboración y de las condiciones ambientales durante dicho proceso. Pueden variar su sensibilidad a la radiación, el intervalo de dosis en que son utilizables y la longitud de onda de la luz que servirá para el análisis de su respuesta.

Estos dosímetros fueron desarrollados a partir de 1965 por McLaughlin y Chalkey y actualmente se utilizan a nivel industrial y de investigación [2-4] en procesos que requieren dosis altas de radiación ($10^3 - 10^5$ Gy). Desde 1980, el laboratorio de dosimetría del Instituto de Física de la UNAM [5] fabrica dosímetros PTR respondiendo a la necesidad de efectuar la dosimetría del acelerador de electrones Van de Graaff de 2 MeV del IFUNAM. Debido a que no se cuenta con un dosímetro primario en el acelerador, las películas PTR se calibran primero con un fuente de Co-60 y luego, suponiendo la misma respuesta para electrones y rayos gama en todo el intervalo de dosis necesario, se les usa como medidores de la dosis correspondiente a los electrones. En la literatura especializada se encuentran artículos [4,6] que reportan diferencias del orden de un 10% en la respuesta de algunos dosímetros PTR a ambos tipos de radiación. Estudios independientes [7] han concluido que la respuesta dosimétrica puede depender de la tasa de dosis durante la irradiación.

Nuestras irradiaciones de calibración con rayos gama y la utilización del dosímetro con electrones implican tasas de dosis que difieren hasta en dos órdenes de magnitud.

Por las razones recién expuestas, hemos realizado este estudio, cuyo propósito ha sido comparar el comportamiento de los dosímetros PTR fabricados en nuestro laboratorio al ser irradiados con electrones de 1.2 MeV y con rayos gama de 1.17 y 1.33 MeV (Co-60) bajo condiciones normales de uso (sin control de temperatura, presión, ni humedad). Por completez, realizamos el mismo estudio para una película PTR de procedencia comercial. La observación de diferencias entre las respuestas podría interpretarse como una dependencia de la respuesta de los dosímetros respecto de la energía de los electrones, debido a que los rayos gama transfieren su energía a un material a través de electrones secundarios cuyo espectro de energía es continuo desde cero hasta valores cercanos a la energía del fotón.

2. Método experimental

Se llama respuesta R de un dosímetro PTR al cambio de densidad óptica ocasionado por una irradiación, dividido por el espesor de la película:

$$R = \frac{DO(\text{película irradiada}) - DO(\text{película sin irradiar})}{\text{espesor (mm)}}$$

siendo sus unidades mm^{-1} .

El análisis espectrofotométrico de una película irradiada muestra un espectro de absorción que es característico de la combinación plástico-precursor de color. La densidad óptica para el cálculo de la respuesta dosimétrica de la PTR se mide siempre a una longitud de onda dada, que corresponde generalmente a aquélla para la cual la absorción es máxima ($\lambda_{máx}$).

La Fig. 1 muestra los espectros de absorción para las dos películas estudiadas: F-3, fabricada en el IFUNAM, que utiliza polivinil butiral (PVB) como base y cianuro de pararosnilina como precursor del color y FWT-60 (fabricada por Farwest Technology, Inc.), que utiliza nylon como plástico y hexahidroxietil de pararosnilina como tinte.

Idealmente, la respuesta de todo dosímetro debería ser una función lineal de la dosis absorbida o, al menos, presentar tal comportamiento para un intervalo amplio de dosis. En general, las PTR exhiben una respuesta que se desvía del comportamiento lineal, hecho que no era suficientemente enfatizado en los primeros trabajos relacionados con las películas. Un trabajo reciente [8] propone la siguiente parametrización para la curva de respuesta de películas PTR:

$$\log D = B_0 + B_1 \log R + B_2(\log R)^2 + \dots \quad (1)$$

donde D es la dosis y B_0, B_1, \dots son constantes que varían entre diferentes lotes

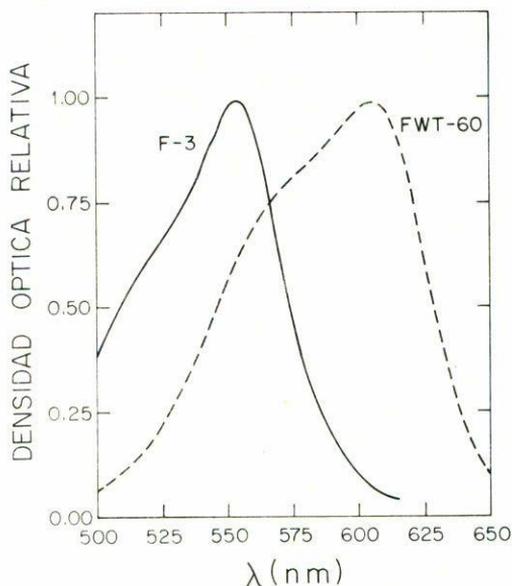


FIGURA 1. Espectros normalizados de absorción para las películas utilizadas en este estudio.

de películas. En nuestro estudio se trabajó con películas F-3 provenientes de dos lotes diferentes (fabricadas con un año de diferencia), que identificamos como F-3A y F-3B, con el objetivo de cuantificar las posibles variaciones entre lote y lote. Las películas FWT-60 provenían todas del mismo lote.

Las irradiaciones con rayos gama (Co-60) se realizaron en el irradiador Gammacell-220 del ININ, cuya tasa de dosis había sido previamente determinada con un dosímetro primario (solución Fricke) [9]. Se irradiaron paquetes de tres películas de área $1 \times 1 \text{ cm}^2$ y grosor aproximado de 0.05 mm y 0.015 mm para FWT-60 y F-3, respectivamente. Las películas fueron colocadas entre dos placas de lucita de aproximadamente 0.5 cm de espesor para garantizar el equilibrio electrónico [9], con una tasa de dosis de 0.6 Gy/s. Los valores totales de la dosis en estas condiciones oscilan entre 10^3 y 5×10^4 Gy. Las películas F-3 se irradiaron además a una tasa de 3.3 Gy/s en el intervalo de dosis entre 5×10^3 y 2×10^5 Gy.

Las irradiaciones con electrones se realizaron en aire, con partículas de aproximadamente 1.2 MeV de energía, cubriendo el mismo intervalo de dosis que con rayos gama. Las tasas de dosis fueron de 30 y 60 Gy/s. La dosis se midió de modo relativo usando una jaula de Faraday conectada a un integrador de carga, la cual colectaba la totalidad del haz. El valor absoluto de la dosis se calculó para cada lote a partir de la respuesta de la película a la dosis más baja, suponiendo que a esta dosis la respuesta es igual para rayos gama y electrones. Este método no permite detectar diferencias en la respuesta absoluta, pero sí en el comportamiento relativo frente a ambos tipos de radiación. Esto es de suma importancia, pues a menudo la calibración con rayos gama cubre un intervalo limitado de dosis.

Película	$\lambda_{m\acute{a}x}$ (nm)	Tasa de dosis (Gy/s)		B_0	B_1	B_2
		Rayos gama	Electrones			
F-3A	554	0.3×10^2	0.6	0.21	1.02	0.01
F-3B	554	0.6×10^2	0.6 - 3.3	0.24	0.87	0.11
FWT-60	605	0.3×10^2	0.6 - 3.3	-0.21	0.81	0.18

TABLA I.

La densidad óptica de cada película se leyó antes y veinticuatro horas después de la irradiación, esto último para permitir el desarrollo completo del color en el plástico. El espesor individual de las PTR se determinó con un medidor digital. La precisión de estos valores se estima en una milésima de milímetro. La tabla I resume los parámetros principales del estudio.

3. Resultados

En la Fig. 2 se muestran los resultados del estudio. El valor de las respuestas es un promedio entre las tres películas que componían cada paquete y las incertidumbres asignadas corresponden a la máxima dispersión entre las respuestas individuales. La respuesta medida para cada lote debió corregirse debido al deterioro que sufren las películas en su sensibilidad a medida que transcurre el tiempo desde su fabricación. Las medidas realizadas en nuestro laboratorio [10] indican una disminución de la sensibilidad de aproximadamente un 16% cada doce meses para F-3. Para FWT-60, no hemos detectado ningún cambio dentro de periodos de cinco años.

La respuesta experimental de las películas estudiadas para irradiación gama se describe por las curvas de la Fig. 2 que corresponden a la expresión (1) después de ajustar los parámetros B , cuyos valores óptimos para cada lote aparecen en la tabla I. La comparación entre los diferentes lotes estudiados indica una mayor sensibilidad (respuesta por unidad de dosis) de FWT-60 respecto de F-3, debido principalmente a su proceso de fabricación. La máxima dosis posible de medir con FWT-60 (25 kGy) fue determinada por limitaciones del equipo densitómetro. Ninguna de las tres películas estudiadas muestra diferencias sistemáticas entre la respuesta ante irradiación con rayos gama y con electrones. Las últimas mediciones con electrones en F-3A sugieren un posible régimen de saturación. En F-3B, no se observan indicios de saturación, incluso para la más alta dosis de este estudio, 130 kGy.

Conclusiones

Hemos estudiado la respuesta dosimétrica de películas PTR a la irradiación con rayos gama y electrones, con diferentes tasas de dosis, y dentro de un intervalo amplio de dosis de interés en el área de investigación y posiblemente en la industrial. Las medidas indican que la respuesta relativa, tanto para películas fabricadas en

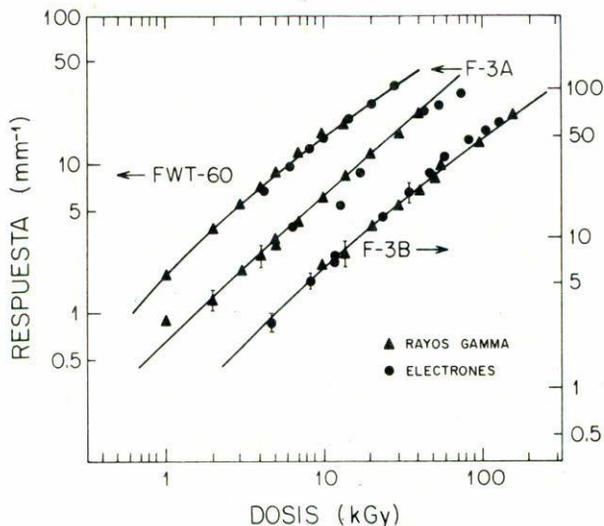


FIGURA 2. Respuesta dosimétrica de las películas estudiadas para ambos tipos de radiación. Las curvas son ajustes de la expresión (1) a los datos de la irradiación con rayos-gama. Los parámetros de las curvas se encuentran en la Tabla I.

nuestro laboratorio, como comerciales (FWT-60), es similar para ambos tipos de radiación. Esto sugiere que, de existir dependencia de la respuesta respecto de la energía de los electrones, ésta no es detectable dentro de la precisión de nuestras observaciones. Los altos valores de dosis (130 kGy) medibles con nuestros dosímetros los señalan como un instrumento indispensable en aquellos casos en que se requieran irradiaciones controladas intensas tanto con rayos gama como con electrones.

Agradecimientos

Agradecemos a los Sres. Cesar Ruíz Trejo y Margarito Vázquez la operación del acelerador de electrones, a la M. en C. M.E. Martínez, su cooperación en las irradiaciones con rayos gama y a los Dres. J.M. Hernández y S. Ramos, el apoyo e interés en este trabajo.

Referencias

1. W.L. McLaughlin and L. Chalkley, *Photo. Sci. Eng.* **9** (1965) 159.
2. A. Miller and W.L. McLaughlin, *Radiat. Phys. Chem.* **14** (1979) 525.
3. W.L. McLaughlin, *Radiat. Phys. Chem.* **15** (1980) 9.
4. A. Miller, *Riso-M-2401*, Riso National Laboratory, 1983.

5. A.E. Buenfil-Burgos, R.M. Uribe, A. de la Piedad, W.L. McLaughlin and A. Miller, *Radiat. Phys. Chem.* **22** (1983) 325.
6. W.L. McLaughlin, *Radiat. Phys. Chem.* **14** (1979) 535.
7. P. Gehringer, H. Eschweiler and E. Proksch, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **31** (1980) 595; P. Gehringer, E. Proksch and H. Eschweiler, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **33** (1982) 1403.
8. A. Miller, *Riso-1986-02-28, Riso National Laboratory.*
9. J.W.T. Spinks, *An Introduction to Radiation Chemistry*, John Wiley & Sons, 1964.
10. A.E. Buenfil y M.E. Brandan, por publicarse en *Radiat. Phys. Chem.*

Abstract. We have compared the dosimetric response of radiochromic dye films irradiated with Co-60 gamma-rays and with 1.2 MeV electrons. The absorbed dose ranges from 1 kGy to 130 kGy (0.1 to 13 Mrads) and the dose rate, from 0.6 to 60 Gy/s. We don't observe any systematic difference in the response, either for commercial films or those produced at our laboratory.