

Films radiocrómicos como dosímetros de rutina

Marco Linares^{1,*}, Liz Villanueva², Johnny Vargas¹, Mónica Vivanco¹, Emma Castro¹,
Daniel Alama²

¹ Dirección de Servicios/Dirección de Aplicaciones, Instituto Peruano de Energía Nuclear,
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

² Programa Nacional de la Mosca de la Fruta. Servicio Nacional de Sanidad Agraria, SENASA,
Av. La Molina S/N, Lima 12, Perú

Resumen

Los films radiocromicos usados para hacer las películas dosimétricas tienen, en su gran mayoría, como base a un polímero de pararosnilina cianuro, el cambio de color debido a su exposición a un campo de radiación es de un claro transparente hasta tonos oscuros de púrpura con una mayor exposición a las fuentes de radiación ionizante. El cambio en la óptica de la absorbancia de este tipo de películas se puede medir en un espectrofotómetro estándar de un solo haz digital, a una longitud de onda que puede variar entre 600-675 nm durante todo el rango de uso. Este tipo de films son ideales para rayos gamma, haz de electrones, rayos X y son comúnmente usados como dosímetros de rutina en diferentes campos de aplicación de la irradiación industrial. El objetivo principal del presente trabajo es realizar los primeros estudios comparativos y de intercalibración de este dosímetro tanto en su respuesta y en las mejores condiciones de medición, comparado con un sistema dosimétrico estandarizado como el Fricke.

Abstract

The films used to make radiochromic dosimetric films, the vast majority are based on polymer pararosnilina cyanide, color change due to exposure to a radiation field, is a clear transparent to dark purple with a greater exposure to sources of ionizing radiation. The change in optical absorbance of these films can be measured in a spectrophotometer by a standard digital single beam at a wavelength that can vary from 600-675 nm over the range of use. Films of this type are ideal for gamma rays, electron beam, X-ray and are commonly used as routine dosimeters in different fields of application of the industrial irradiation. The main objective of this study is to conduct the first comparative studies or dosimeter that intercalibration of both in their response and in the best conditions of measurement, compared with a standardized system such as the Fricke dosimetric.

1. Introducción

Existen diferentes razones para realizar una dosimetría en los procesos de irradiación, ya sea porque son regulados, forman parte de los procedimientos de calidad o porque se trata de un requisito legal, pero en definitiva lo importante del proceso de dosimetría es que nos brinda información muy cercana sobre la dosis que ha absorbido un determinado producto. En otros casos, sirve de ayuda para aumentar la escala de un proceso del nivel de investigación a nivel industrial.

Gran parte de estos requisitos se aplican al caso de la Técnica de los Insectos Estériles (SIT por sus siglas en inglés). Esta técnica consiste en exponer insectos machos criados en laboratorio, en una fase apropiada de su desarrollo, a una dosis de radiación ionizante suficiente para esterilizarlos [1].

Debido a la trascendencia de esta aplicación se debe garantizar que la dosis entregada para este fin, cumpla con los objetivos trazados; por esta razón, la dosimetría de los insectos que han sido irradiados cobra importancia para los productores agrícolas, los reguladores agrícolas, los funcionarios de salud pública y el público en general.

La selección de un adecuado sistema de dosimetría depende de varias consideraciones, incluyendo rango de dosis de interés, la precisión y la facilidad de medición, los conocimientos técnicos disponibles, los factores ambientales que puede ser importante en el lugar de uso, el costo y la incertidumbre que es coherente con el proceso [2,3].

* Correspondencia autor: mlinares@ipen.gob.pe

Teniendo en cuenta estos factores, el sistema de dosimetría de los films radiocromicos, brinda información muy rápida de la dosis absorbida con una facilidad relativamente simple y es de bajo costo. El dosímetro es una pequeña película delgada ($1 \times 1 \text{ cm}^2$) de aproximadamente 100 micras, la cual cambia de color bajo un campo de radiación. Este cambio depende de la dosis absorbida y se mide en un equipo de espectrofotometría simple en el rango de luz visible.

La dosimetría de estas películas ha sido diseñado para su empleo con rayos gamma, rayos X, electrones, protones, haces de iones, las partículas alfa y los neutrones y se puede utilizar para medir y mapear las fuentes de todo tipo de radiaciones.

El componente activo en los films Gafchromic® es un compuesto monomérico con un tamaño de partículas del orden de sub-micrones. Cuando la película es expuesta a las radiaciones ionizantes, una reacción de polimerización se inicia, lo que resulta en la producción de un polímero colorado (color azul). La cantidad de polímero producido y la profundidad del cambio de color es proporcional a la dosis absorbida en la capa activa. A pesar que la dosimetría de este sistema puede ser utilizado para diversos tipos de radiación, incluidos los electrones, los procedimientos descritos en este documento se limitan a la radiación gamma emitida por el Co-60.

El cambio de color en la películas de Gafchromic® se llegaron a medir en un espectrofotómetro de UV-VIS y un colorímetro de rango visible. Sin embargo, la mejor respuesta se obtiene con los instrumentos que miden la luz roja en longitudes de onda en el rango de la absorbancia del pico de color azul; es decir, cerca de 670 nm, como es el caso de The Radiachromic® reader FWT-92 [5,7].

2. Experimental

El trabajo se realizó con dosímetros Gafchromic® y se midieron en dos diferentes equipos de espectrofotometría; el primero, en un Perkin Elmer Lambda 2 de doble haz digital UV-VIS (IPEN) y el segundo en un colorímetro FWT-92 del SENASA que puede leer a 02 longitudes de onda; 510 y 600 nm; para este caso solo se utilizaron las lecturas

realizadas a 600 nm. Según las recomendaciones de [11] para otro tipos de espectrofotómetros se debe hallar la longitud de onda de trabajo (Scan).

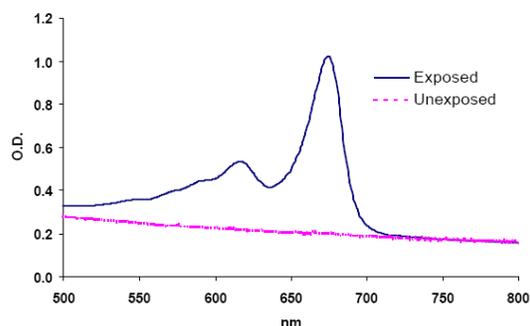


Figura 1. Espectro característico de absorción del film dosimétrico para una muestra irradiada y otra sin irradiar.

2.1 Descripción del dosímetro Gafchromic (HD-810) [3].

En la Tabla 1 se muestra la estructura y composición química de los films:

Tabla 1. Estructura y composición química de los films.

| Material | Thickness (microns) | Density (g/cm ³) | Composition (atom %) | | | |
|---------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|------|------|------|
| | | | C | H | O | N |
| Polyester film base | 97.00 | 1.35 | 45.5 | 36.4 | 18.2 | 0.0 |
| Capa activa | 6.50 | 1.08 | 31.5 | 56.0 | 5.0 | 7.5 |
| Gelatina | 0.75 | 1.20 | 23.0 | 53.0 | 8.0 | 16.0 |

2.2. Espectro de absorción

Los espectros de absorción para los dosímetros Gafchromic® para la región de longitud de onda de estudio (500 - 800 nm) se presenta en la Figura 1, la cual muestra los espectros de la película no irradiado, así como los irradiados, los cálculos en el equipo de SENASA se hicieron a 600 nm y en el IPEN a 615 nm y 675 nm [12,13].

2.3 Respuesta del film a la irradiación

La película polimérica es incolora y transparente antes de la irradiación y se vuelve de color azul instantáneamente después de la exposición a las radiaciones ionizantes. Pero se observa que existe un cambio en la tonalidad del azul (el color azul se profundiza) ligeramente con el tiempo después de la exposición, y luego va disminuyendo. Después de 24 horas el valor DO se estabiliza en un 15 - 20 % aproximadamente, más de su valor inicial (medido a los pocos minutos después de la exposición).

Este comportamiento se ilustra en la Figura 2 para una dosis de 100 Gy.

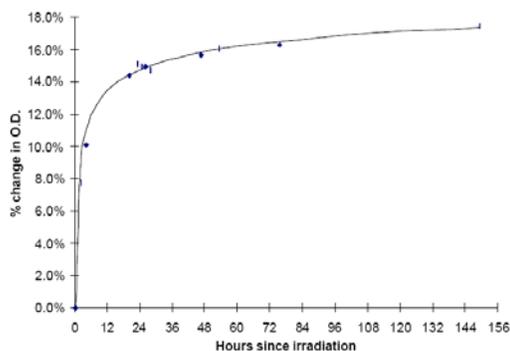


Figura 2. Comportamiento de la lectura (DO) a una dosis de 100 Gy con el tiempo (Datos de los laboratorios de Seibersdorf).

2.4 La luz ultravioleta

No hay medidas extremas que deben adoptarse para proteger el dosímetro película contra la luz ultravioleta; sin embargo, no se debe exponer las películas a la luz solar.

3. Metodología

La dosimetría se basa en la norma ISO/ASTM51275-04 Standard Practice for Use of a Radiochromic Film Dosimetry System [8,10] y en Gafchromic dosimetry system for SIT: Standard Operating Procedure [12].



Figura 3. Posición de los dosímetros en aire en Gammacell 220 Excel.

Antes de realizar las dosimetrías de inter-comparación entre la dosimetría Fricke y los films dosimétricos se debe ejecutar una prueba dosimétrica en aire de la solución Fricke. Las irradiaciones se realizan en un punto referencial de la cámara de irradiación del equipo Gammacell 220 (Figura 3).

3.1 Dosimetría en el equipo Gammacell 220 Excel

Esta prueba se realizó en el IPEN con el objetivo de verificar si la solución Fricke preparada era estable. Para lograr este paso se irradió un número determinado de dosímetros en el equipo de irradiación Gammacell-220, los tiempos de irradiación fueron de: 15, 25, 35, 45 y 55 segundos, para cada tiempo de irradiación se emplearon 03 dosímetros, manteniéndose la posición de los mismos en el centro de la cámara. Los resultados obtenidos se graficaron y se obtuvo una regresión lineal (Tabla 2). La tasa de dosis experimental es la pendiente de la curva obtenida de tiempo (s) vs dosis (kGy); posteriormente, se compara este resultado con los valores teórico-experimentales del fabricante del Gammacell 220 [6]. La desviación debe ser menor al 3%.

Tabla 2. Estadística de la regresión para la Dosimetría Fricke en aire. (06/05/09).

| Tiempo (s) | Dosis (kGy) |
|--|-------------|
| 15 | 0.04911 |
| 25 | 0.07424 |
| 35 | 0.09920 |
| 45 | 0.12451 |
| 55 | 0.14920 |
| Estadísticas de la regresión | |
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.999994133 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.999988265 |
| R ² ajustado | 0.999984354 |
| Error típico | 0.000156638 |
| Observaciones | 5 |
| Coeficientes | |
| Intercepción | 0.0115922 |
| Variable X 1 | 0.0025045 |

Tasa dosis= 9.016232+/- 0.049509 kGy/h

Dosis Nordion= 9.022339 kGy/h

% desviación /Nordion = 0.06769%

3.2 Pruebas de irradiación de los films radiocrómicos

Los films dosimétricos fueron irradiados a los tiempos computados de acuerdo con la dosimetría Fricke, por la bibliografía se procedió a leer los films a 02 longitudes de onda en el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2 (615 y 675 nm), las cuales son sugeridas por el fabricante. Los resultados se muestran en la Tabla 3 y 4, y Figura 4, posteriormente se hizo una prueba con un tiempo fijo a una dosis de trabajo de 0.11 kGy, los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 3. Estadística de la regresión para la irradiación de films a 615 nm en aire (06/05/09).

| Dosis (kGy) | Abs. (615 nm) |
|--|---------------|
| 0.05 | 0.678 |
| 0.10 | 0.852 |
| 0.15 | 1.143 |
| 0.20 | 1.440 |
| 0.25 | 1.679 |
| Estadísticas de la regresión | |
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.9967176 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.9934459 |
| R ² ajustado | 0.9912612 |
| Error típico | 0.0073904 |
| Observaciones | 5 |
| Coeficientes | |
| Intercepción | -0.0721509 |
| Variable X 1 | 0.1917849 |

Tabla 4. Estadística de la regresión para la irradiación de films a 675 nm en aire (17/02/08).

| Dosis (kGy) | Abs. (675 nm) |
|--|---------------|
| 0.05 | 0.818 |
| 0.10 | 1.082 |
| 0.15 | 1.356 |
| 0.20 | 1.596 |
| 0.25 | 1.792 |
| Estadísticas de la regresión | |
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.9980488 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.9961013 |
| R ² ajustado | 0.9948018 |
| Error típico | 0.0056999 |
| Observaciones | 5 |
| Coeficientes | |
| Intercepción | -0.1188098 |
| Variable X 1 | 0.2022952 |

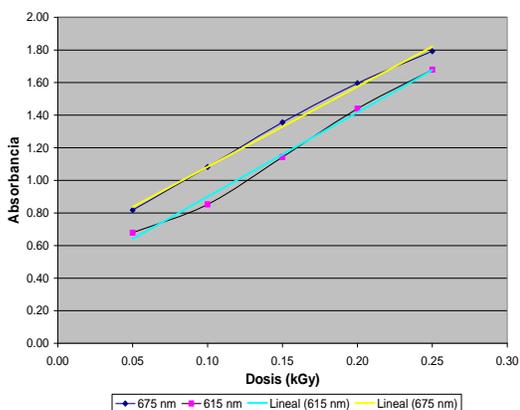


Figura 4. Respuesta de dosímetros films radiocrómicos a 02 longitudes de onda.

Tabla 5. Resultados de prueba con un tiempo fijo, a una dosis de trabajo de 0.11 kGy.

| Longitud de onda | 615 nm | | 675 nm | |
|-------------------|---------|-------------|---------|-------------|
| | Absorb. | Dosis (kGy) | Absorb. | Dosis (kGy) |
| Valores obtenidos | 0.947 | 0.1095 | 1.456 | 0.1757 |
| | 1.037 | 0.1267 | 1.249 | 0.1339 |
| | 0.907 | 0.1018 | 1.358 | 0.1559 |
| | 0.938 | 0.1077 | 1.420 | 0.1684 |
| | 0.811 | 0.0834 | 1.281 | 0.1403 |
| | 0.937 | 0.1076 | 1.153 | 0.1144 |
| | 0.906 | 0.1016 | 1.511 | 0.1869 |
| | 0.96 | 0.1120 | 1.408 | 0.1660 |
| | 1.185 | 0.1551 | 1.502 | 0.1850 |
| | 0.937 | 0.1076 | 1.463 | 0.1771 |
| Promedio | 0.978 | 0.1154 | 1.346 | 0.1535 |
| | 0.964 | 0.1127 | 1.646 | 0.2142 |
| Promedio | 0.959 | 0.1118 | 1.399 | 0.1643 |

Las siguientes pruebas de intercalibración se realizaron con un espectrofotómetro marca Farwest modelo 92 del SENASA, a una longitud de onda de 600 nm; los dosímetros Film fueron irradiados en forma conjunta con dosímetros Fricke. En la Tabla 6 se muestran los resultados de la prueba Fricke.

Tabla 6. Estadística de la regresión para la Dosimetría Fricke en aire para las pruebas en SENASA.

| Tiempo (s) | Dosis (kGy) |
|--|-------------|
| 15 | 0.0487 |
| 25 | 0.0721 |
| 35 | 0.0975 |
| 45 | 0.1228 |
| 55 | 0.1477 |
| Estadísticas de la regresión | |
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.9999030 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.9998061 |
| R ² ajustado | 0.9997415 |
| Error típico | 0.0006274 |
| Observaciones | 0.9999030 |
| Coeficientes | |
| Intercepción | 0.0106285 |
| Variable X 1 | 0.0024674 |

Tasa dosis= 8.957254 +/- 0.199957 kGy/h

Dosis Nordion=9.019090 kGy/h

% desviación /Nordion = 0.68561%

Tabla 7. Estadística de la regresión para la Dosimetría Film (DO) vs Dosis Fricke (kGy) en aire para las pruebas en SENASA en equipo Farwest a 600 nm.

| Densidad Óptica DO | Dosis (kGy) |
|--|-------------|
| 0.404 | 0.0502 |
| 0.496 | 0.0765 |
| 0.603 | 0.1018 |
| 0.694 | 0.1258 |
| 0.760 | 0.1517 |
| Estadísticas de la regresión | |
| Coefficiente de correlación múltiple | 0.9969728 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0.9939547 |
| R ² ajustado | 0.9919397 |
| Error típico | 0.0035818 |
| Observaciones | 5 |
| Coeficientes | |
| Intercepción | -0.0617815 |
| Variable X 1 | 0.2756971 |

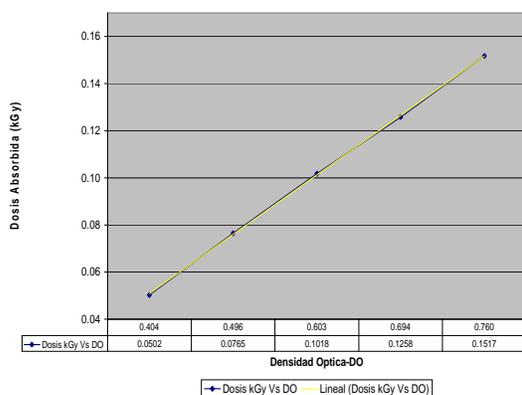


Figura 5: Relación de densidad óptica versus dosis absorbida/kGy (Fricke).

Tabla 8. Variación de la respuesta de los Dosímetros Film comparado con la dosimetría Fricke para las pruebas en SENASA en equipo Farwest a 600 nm.

| Dosis Fricke | Dosis Films (72 h) | Variación con respecto a Fricke |
|--------------|--------------------|---------------------------------|
| 0.114 | 0.115 | 0.73% |
| 0.131 | 0.123 | 6.26% |
| 0.136 | 0.123 | 9.13% |
| 0.128 | 0.116 | 9.34% |
| 0.122 | 0.110 | 9.89% |
| 0.129 | 0.111 | 13.77% |

4. Resultados y Discusión

Las primeras pruebas dosimétricas que se realizaron en el equipo de espectrofotometría del IPEN demostraron que la linealidad es buena a una longitud de onda de 615 nm (Tabla 3 y 4), la respuesta a una dosis teórica de 0.11 kGy, con la curva anterior demostró que la variación es solo de un 1.63 %, comparada con los resultados a 675 nm cuya variación es de 49 % (Tabla 5).

Con respecto a las pruebas realizadas en el SENASA con el espectrofotómetro Farwest se obtuvo una buena linealidad en la respuesta (Tabla 7 y Figura 5). Con relación a la respuesta, los valores de las dosis obtenidas varían desde un 0.73 % hasta un 13.77 % mayor que el valor experimental de Fricke (Tabla 8), las medidas fueron hechas después de 72 horas.

5. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos se observa una buena linealidad en la respuesta de los dosímetros films con respecto al de referencia Fricke tanto a 615 nm (equipo del IPEN) como a 600 nm (SENASA).
- Se comprueba que los datos de lectura de los dosímetros films varían su respuesta en función del tiempo.
- La mejor respuesta de los dosímetros film es a 615 nm y en un espectrofotómetro UV-VIS de amplio rango.

6. Recomendaciones

Las lecturas de los dosímetros film dependen mucho del tiempo de espera de lectura después de la irradiación, por lo tanto se recomienda hacer las mismas como máximo en menos de 24 horas.

7. Bibliografía

- Knippling EF. Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterilized males. *Journal of Economic Entomology*. 1995; 48:459-466.
- McLaughlin WL, Hussman EK, Eisenlohr, HH, Chalkley L. A chemical dosimeter for monitoring gamma radiation doses of 1 - 100 krad. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*. 1971; 22:135-140.

- [3] Seo ST. Husman irradiator: Calibration procedure. Internal Report, USDA-ARS, Washington, D.C. 1993.
- [4] Isomedix Inc. Descriptive and operating manual for Husman irradiator Model 521A. Whippany, NJ, 1984.
- [5] Zavala JL, Fierro MM, Schwarz AJ, Orozco DH, Guerra M. Dosimetry practice for the irradiation of the mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wied). In: International Atomic Energy Agency. High dose dosimetry. Vienna: IAEA; 1985. p. 23-30.
- [6] American National Standards Institute. Safe design and use of self-contained dry storage gamma irradiators (Category I). ANSI N-433.1, American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, NY, USA, 10018, 1978.
- [7] Handbook of Chemistry and Physics, 71st ed., Lide, D. R., ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 1990.
- [8] International Organization for Standardization (ISO). ISO/ASTM 51275:2004. Practice for use of a radiochromic film dosimetry system. Geneva, Switzerland: ISO; 2005.
- [9] Unterweger MP, Hoppes DD, Shima FJ. New and revised half-life measurement results. Nuclear Instruments and Methods Physics A. 1992; 312:349-352.
- [10] Tuli JK. Nuclear data sheets update for A = 137. Nuclear Data Sheets. 1994;72:136.
- [11] Hjortenburg PE, McLaughlin WL. Use of radiochromic dye systems for dosimetry. Proceedings of Regional Conference on Radiation Protection, Jerusalem, March 1973. Published by Israel Atomic Energy Commission, Soreq Nuclear Research Centre, Yavne; 1973. p.122-140.
- [12] International Atomic Energy Agency. Dosimetry system for SIT. Manual for Gafchromic film. Vienna: IAEA, 2004.
- [13] Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), International Organization of Legal Metrology (OIML). Guide to expression of uncertainty in measurement, ISO, Ginebra; 1993.