

DETERMINACIÓN DE DOSIS ABSORBIDA EN CAMPOS DE FOTONES POR EL MÉTODO DE TANDEM

Benavente T.^(1,2) tbenavente@ipen.gob.pe; Márquez J.⁽²⁾; Santa Cruz J.⁽²⁾

(1) *Departamento de Radioprotección y Dosimetría – IPEN / Lima, Perú*

(2) *Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú*

RESUMEN

Se desarrolla un método alternativo para la determinación de la dosis absorbida y la energía efectiva de fotones, con distribuciones espectrales desconocidas, que consiste de un sistema “tandem” formado por dos dosímetros termoluminiscentes de diferente dependencia energética.

Se utilizan dosímetros termoluminiscentes de LiF: Mg, Ti, CaF₂: Dy y un sistema lector Harshaw 3500. Los dosímetros son caracterizados con ⁹⁰Sr - ⁹⁰Y, calibrados a la energía de ⁶⁰Co e irradiados con siete calidades de haces de radiación X, sugeridas por el ANSI No. 13 y el ISO Nro. 4037.

Las respuestas determinadas para cada tipo de dosímetro son ajustadas a una función que depende de la energía efectiva de los fotones. El ajuste se realiza mediante el algoritmo de minimización de Rosenbrock. El modelo matemático utilizado para esta función tiene cinco parámetros de ajuste y está compuesto por una gaussiana y una recta.

Los resultados muestran que las funciones analíticas obtenidas reproducen los datos experimentales de las respuestas, con errores menores al 5 %. La razón de las respuestas del CaF₂: Dy y del LiF: Mg, Ti, en función de la energía de la radiación, permite determinar la energía efectiva de los fotones y la dosis absorbida, con errores inferiores al 10 % y 20%, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al riesgo que involucra el uso de las radiaciones ionizantes es necesario realizar un control de vigilancia personal, empleando dispositivos y/o instrumentos que midan la cantidad total de radiación a la que esta expuesta una persona.

Uno de los dispositivos empleados para determinar la dosis absorbida, con mayor

facilidad y precisión, es el dosímetro termoluminiscente. En este caso, es necesario conocer la energía de la radiación, los coeficientes másicos de absorción de energía y la razón de los poderes de frenado del dosímetro con el medio que lo circunda. La respuesta del dosímetro termoluminiscente es función de la dosis absorbida y de la energía, siendo mayor la dependencia energética para fotones de baja energía^[1].

Los resultados experimentales han mostrado que la razón de las respuestas de dos dosímetros termoluminiscentes, de diferentes materiales, es independiente de la dosis absorbida. Por lo tanto, para la determinación de la dosis absorbida y la energía de la radiación se puede utilizar un sistema conformado por dos dosímetros termoluminiscentes (tandem)^[2].

El tandem empleado en este estudio está conformado por los dosímetros termoluminiscentes de LiF: Mg, Ti, CaF₂: Dy, los que fueron calibrados en condiciones idénticas, en campos de radiación de energías conocidas. La acentuada diferencia en sus respuestas cuando son irradiados con fotones de media y baja energía, permite determinar con mayor exactitud la energía efectiva de campos de radiación desconocidos^[2].

2. MEDIDAS

Para las medidas se utilizaron dosímetros termoluminiscentes de LiF: Mg, Ti (TLD-100) y de CaF₂: Dy (TLD-200), los que fueron caracterizados con ⁹⁰Sr - ⁹⁰Y, calibrados a la energía de ⁶⁰Co, y leídos en el lector termoluminiscente Harshaw 3500.

Las calidades de radiación X, sugeridas por el ANSI Nro. 13 y el ISO Nro. 4037^[3,4], fueron utilizadas en la irradiación de los tandem. En la Tabla 1 se indican las calidades empleadas y sus parámetros obtenidos por el método de atenuación^[5].

Tabla 1. Campos de radiación; donde CS es a capa semirreductora, CH es el coeficiente de homogeneidad y E_m la energía media^[4].

Alto voltaje (kV)	Filtración total (mm)	CS (mm)	CH	E_m (keV)
60	4,0 Al	2,66 Al	0,47	35,32
60	4,0 Al + 0,3 Cu	4,15 Al	0,49	41,95
80	4,0 Al + 0,5 Cu	0,32 Cu	0,43	56,45
100	5,0 Al	4,80 Al	0,48	52,94
110	6,0 Al	0,22 Cu	0,36	53,81
150	5,0 Al + 0,25 Cu	0,58 Cu	0,42	67,99
150	4,0 Al + 2,93 Cu	1,50 Cu	0,54	94,32

Los dosímetros TLD-100 y TLD-200 fueron irradiados con los diferentes haces de radiación X en las mismas condiciones. Sus respuestas fueron normalizadas a la energía del ^{60}Co , y

ajustadas a una función dependiente de la energía de la radiación, $R(E)$, compuesta por una gaussiana y una recta^[2], según

$$(1) \quad R(E) = a_1 \cdot \exp\left[-\frac{(\log E - a_2)^2}{a_3}\right] + a_4 \cdot \log E + a_5$$

donde los valores de a_i ($i = 1, \dots, 5$) son los parámetros de ajuste que se determinaron utilizando el algoritmo de minimización de Rosenbrock^[5]. El cociente de las funciones $R(E)$ para TLD-200 y TLD-100, se utilizó para estimar la energía efectiva de un campo de radiación desconocido.

donde $\langle w \rangle$ es la energía media para la formación de un par iónico y e es la carga del electrón. Una vez conocida la dosis absorbida en aire es posible estimar la dosis absorbida en otro material empleando las relaciones de la teoría de la cavidad^[6].

El factor de calibración de un dosímetro termoluminiscente está dado por

$$(2) \quad F(E) = \frac{r(\text{Co})}{r(E)} \cdot F(\text{Co})$$

donde $r(\text{Co})$ y $r(E)$ son las respuestas del dosímetro, para la energía del ^{60}Co y para la energía E , y $F(\text{Co})$ es el factor de calibración del dosímetro para la energía del ^{60}Co .

Para determinar la dosis absorbida en el aire, D_a , se calculó la exposición, X , multiplicando la respuesta del dosímetro, $r(E)$, por su factor de calibración, $F(E)$, según

$$(3) \quad D_a = \frac{\langle w \rangle}{e} \cdot X$$

3. RESULTADOS

Las curvas de dependencia energética para los dosímetros son mostradas en la figura 1, incluyendo sus parámetros de ajuste. Los puntos experimentales son medidos con incertidumbres menores al 6 y 5 % para los dosímetros en el rango de energías comprendidas entre 35 y 95 keV.

El factor de calibración para el dosímetro TLD-100 es determinado y mostrado en la fig. 2. En ella se muestra también la curva tandem dada por el cociente de las respuestas, normalizadas, de los dosímetros en el cual los puntos experimentales son obtenidos con incertidumbres menores al 4 %.

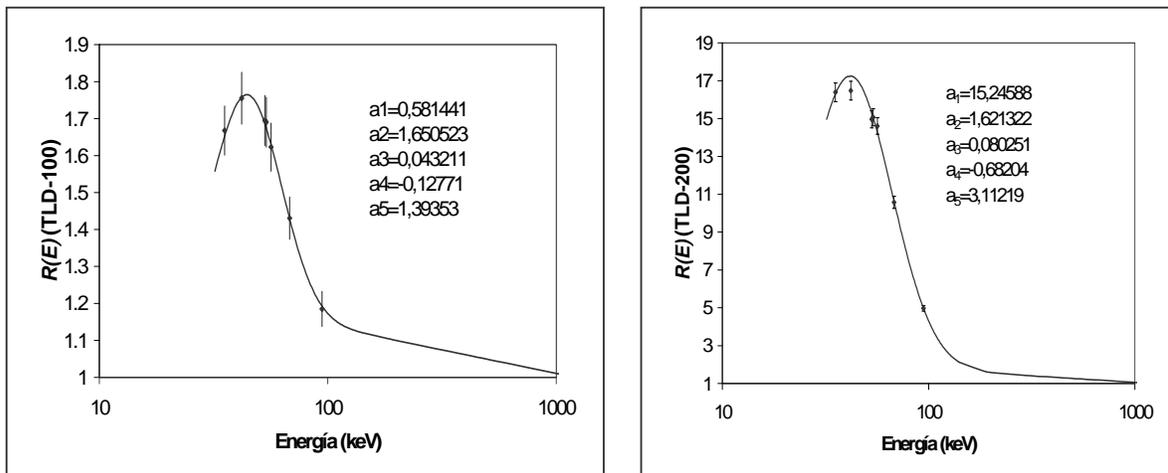


Figura 1. Curvas de dependencia energética. Las líneas verticales indican la incertidumbre en la medida experimental y la curva continua es la función ajustada, $Y(E)$, de los dosímetros TLD-100 y TLD-200.

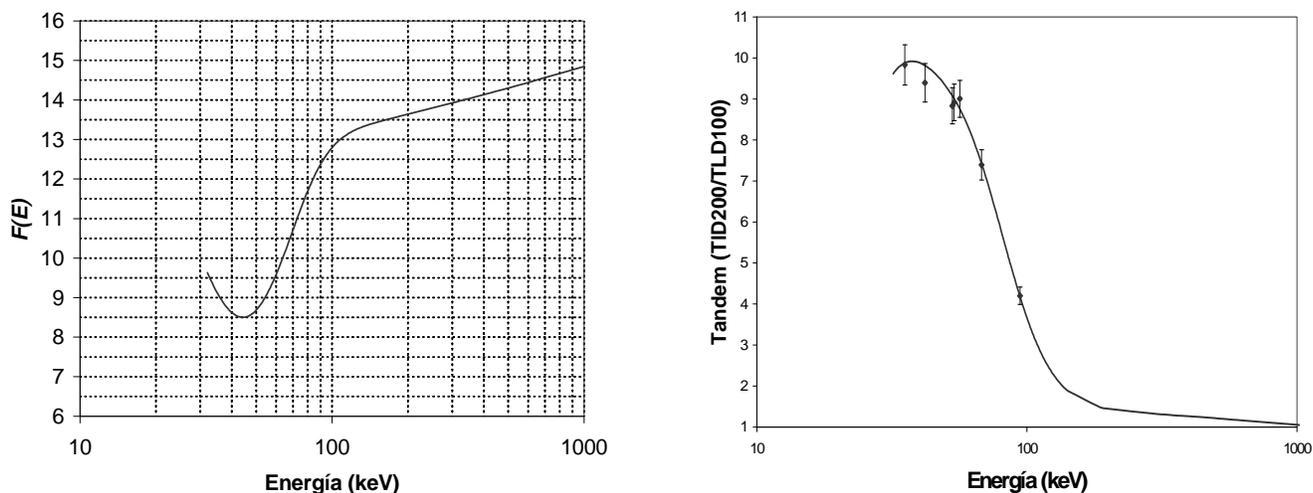


Figura 2. Curva Tandem. Las líneas verticales indican la incertidumbre en la medida experimental y la curva continua es determinada por la razón de las funciones ajustadas, $Y(E)$, de los dosímetros.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se han obtenido funciones analíticas que reproducen los datos experimentales de las respuestas de los dosímetros con errores menores al 5%. La razón de las respuestas del $\text{CaF}_2: \text{Dy}$ y del $\text{LiF}: \text{Mg, Ti}$, en función de la energía de la radiación, es determinada con una incertidumbre máxima del 6%, que permite determinar la energía efectiva

de los fotones y la dosis absorbida con errores inferiores al 10% y 20%, respectivamente.

Los resultados muestran que mediante el procedimiento empleado es posible implementar un método alternativo para realizar la dosimetría personal.

5. REFERENCIAS

- (1) MCKINLAY, A., Thermoluminescence Dosimetry, Med. Phy. Handbook 5, Adam Hilger, Bristol, 1981.
- (2) RIBEIRO DA ROSA, L. A., Utilización de Dosímetros Termoluminiscentes para la Determinación de la Exposición y la Dosis Absorbida en Campos de Radiación X y Gamma con Distribución Espectral Desconocida, Brasil - 1981.
- (3) ANSI Nro. 13, For Dosimetry Personnel Performance Criteria for Testing, USA, 1983.
- (4) ISO Nro. 4037, Characteristic of the Radiations and their Methods of Production, 1995.
- (5) BENAVENTE, T., Determinación del Espectro Continuo de Rayos x por Método de Absorción y Transformada de Laplace, UNMSM, Lima, 1992.
- (6) JOHNS, H. E., and Cunningham, J. R., The Physics of Radiology, USA, 1983.