

**DETERMINACIÓN DE DOSIS ABSORBIDAS EN CAMPOS DE FOTONES
POR EL MÉTODO DE TANDEM**Tony Benavente A.^{1,2}, Fernando Márquez P.², [José Santa Cruz D.²](#)

SUMILLA: Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un método alternativo para la determinación de la dosis absorbida y la energía efectiva de los fotones con distribuciones espectrales desconocidas. 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 Nro. 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 8 %. 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 15 % y 20%, respectivamente.

ABSTRACT: This work has as objective to develop an alternative method for the determination of the absorbed dose and the effective energy of photons with unknown spectral distributions. It consists of a system "tandem" formed by two thermoluminescence dosimeters of different energy dependence.

Thermoluminescence dosimeters of LiF: Mg, Ti, CaF₂: Dy and a reading system Harshaw 3500 are used. The dosimeters are characterized with ⁹⁰Sr - ⁹⁰Y, calibrated to the energy of ⁶⁰Co and irradiated with seven qualities of X radiation beams, as suggested by the ANSI Nro. 13 and the ISO Nro. 4037.

The responses determined for each type of dosimeter are fitted to a function that depends on the effective energy of the photons. The fitting is carried out by means of the minimization algorithm of Rosenbrock. The mathematical model used for this function has five fitting parameters and it is composed of a Gaussian and a linear function.

The results show that the obtained analytic functions reproduced the experimental data of the responses, with errors smaller than 8%. The ratio of the responses of CaF₂: Dy and of LiF: Mg, Ti, as a function of the energy of the radiation, allows to determine the effective energy of the photons and the absorbed doses with errors smaller than 15% and 20%, respectively.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al riesgo que involucra el uso de las radiaciones ionizantes es necesario realizar un control de la vigilancia personal, empleando dispositivos y/o instrumentos que midan la cantidad total de radiación a la que está 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 máxicos 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 (tándem)[2].

El tándem empleado en este estudio está conformado por los dosímetros termoluminiscentes de fluoruro de litio activado con magnesio y titanio (LiF: Mg, Ti), y de fluoruro de calcio activado con disprosio (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 y calibrados en exposición a la energía de ⁶⁰Co. Para la lectura de los dosímetros se utilizó el sistema lector termoluminiscente Harshaw 3500.

Los dosímetros fueron irradiados con haces de rayos x, cuyas calidades son sugeridas por el ANSI Nro. 13[3] y el ISO Nro. 4037[4].

En la tabla 1 se indican los valores del voltaje aplicado al tubo del generador de rayos x y la filtración total ubicada a la salida del haz, así como los valores de la capa semirreductora, CS, del coeficiente de homogeneidad, CH, y de la energía efectiva, E_{ef} , los cuales fueron obtenidos por el método de atenuación[5].

Para encontrar la dependencia de las respuestas de los dosímetros en función de la energía, éstos fueron irradiados en las mismas condiciones con rayos x y con rayos gamma del ^{60}Co .

Tabla 1. Calidades de haces de rayos x utilizadas para la irradiación de los dosímetros termoluminiscentes.

Calidad	Alto Voltaje (kVp)	Filtración Total (mm)	CS (mm)	CH	E_m (keV)	Re (%)	E_{ef} (keV)
1	60	4,0 Al	2,66 Al	0,47	35,32	48	32,0 (1,6)
2	60	4,0 Al + 0,3 Cu	4,15 Al	0,49	41,95	19	38,0 (8,4)
3	80	4,0 Al + 0,5 Cu	0,32 Cu	0,43	56,45	43	51,5 (1,0)
4	100	5,0 Al	4,8 Al	0,48	52,94	98	42,5 (2,4)
5	110	6,0 Al	0,22 Cu	0,36	53,81	81	45,0 (1,1)
6	150	5,0 Al + 0,25 Cu	0,58 Cu	0,44	67,99	74	64,0 (8,6)
7	150	4,0 Al + 2,93 Cu	1,5 Cu	0,54	94,32	29	94,5 (2,6)

Las respuestas obtenidas fueron normalizadas a la energía del ^{60}Co (ver tabla 2) y se ajustaron a una función que depende de la energía de la radiación, donde $R(E)$ está compuesta por una gaussiana y una recta^[2], y los parámetros de ajuste a_1 ($l = 1, \dots, 5$) se determinaron utilizando el algoritmo de minimización de Rosenbrock [5].

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

Tabla 2. Valores experimentales de las respuestas energéticas de los dosímetros utilizados, normalizados a la respuesta de la energía del ^{60}Co donde u_R es la incertidumbre en la medida.

E_{ef} (keV)	$R(E_{ef})_{nD,100} \pm u_R$	$R(E_{ef})_{nD,100} \pm u_R$
32,00	1,6677	0,0371
38,00	1,7551	0,0532
42,50	1,6947	0,0643
45,00	1,6904	0,0712
51,50	1,6228	0,0354
64,00	1,4305	0,0375
94,50	1,1852	0,0355
1 250,00	1,0000	0,0303

Los factores de calibración de cada dosímetro, $F(E)$, se obtuvieron a partir de sus respuestas, $r(\text{Co})$ y $r(E)$, para la energía del ^{60}Co y para los rayos x de energía E , respectivamente,

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

siendo $F(\text{Co})$ 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, $F(E)$; luego

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

donde w 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].

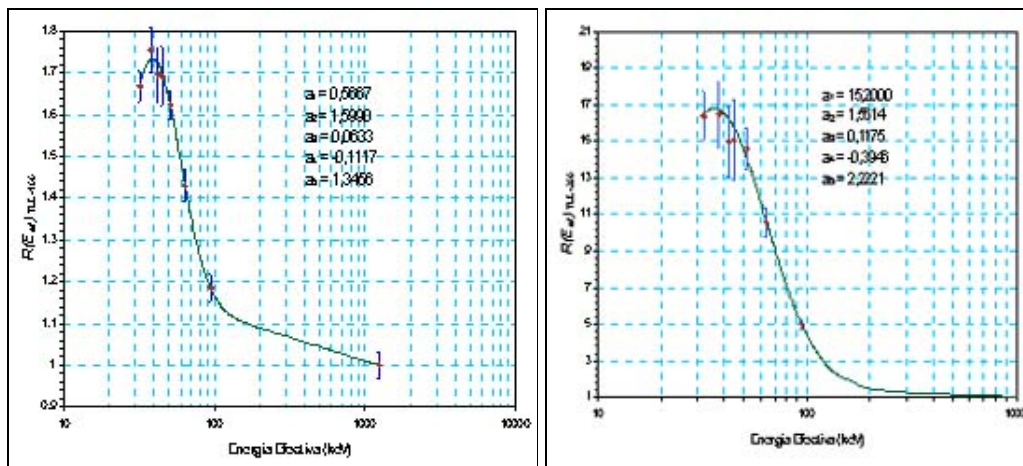


Figura 1. Curvas de dependencia energética de los dosímetros TLD-100 (a) y TLD-200 (b). Las líneas verticales indican la incertidumbre en la medida y la curva continua indica la función ajustada, R(E).

3. RESULTADOS

Los valores de las respuestas de los dosímetros, TLD-100 y TLD-200, en función de la energía fueron obtenidos con incertidumbres menores al 4% para el rango de energías efectivas entre 32 y 95 keV. Las curvas de dependencia energética de los dosímetros, así como sus parámetros de ajuste son mostrados en la figura 1.

La figura 2 muestra el factor de calibración promedio de los dosímetros TLD-100 y la curva tándem definida como el cociente de las funciones R(E) para TLD-200 y TLD-100. Esta curva se obtuvo con una incertidumbre inferior al 15% y sirve para estimar la energía efectiva de un campo de radiación.

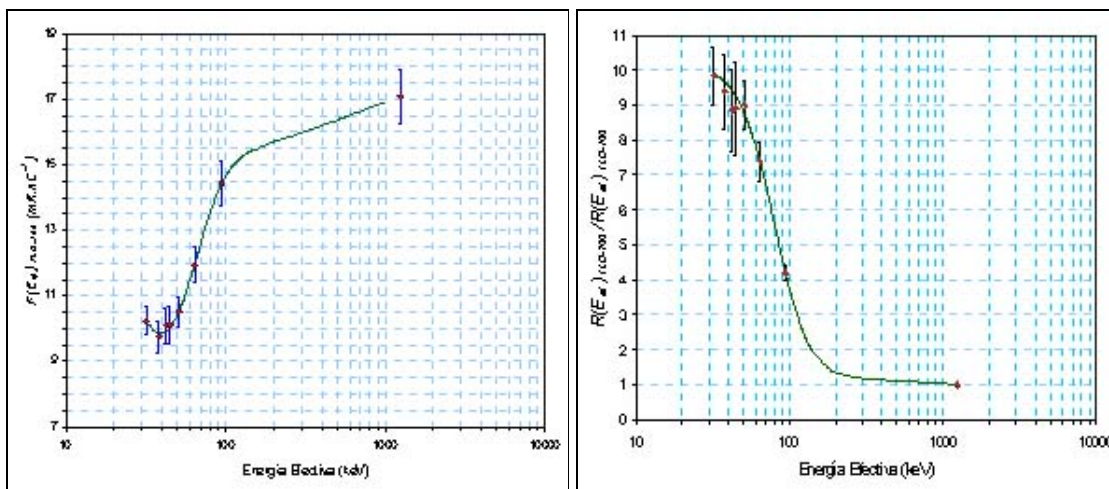


Figura 2. Curvas del factor de calibración promedio de los dosímetros TLD-100 (a) y del tandem (b), las líneas verticales indican la incertidumbre del cociente de las medidas y la curva continua indica la razón de las funciones ajustadas, R(E), de los dosímetros.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se ha obtenido funciones analíticas que reproducen los datos experimentales de las respuestas de los dosímetros con errores menores al 8%. La razón de las respuestas del CaF₂: Dy y del LiF: Mg, Ti, es determinada con una incertidumbre máxima del 15%, la cual permite determinar la energía efectiva de los fotones y la dosis absorbida con errores inferiores al 15% y 20%, respectivamente. El estudio realizado permite determinar la energía efectiva de los fotones con errores inferiores al 10% en comparación con la energía efectiva calculada por el método de atenuación.

El método utilizado permite estimar la dosis absorbida con errores inferiores al 30% en comparación con los valores medidos con una cámara de ionización para rayos x de diagnóstico.

Los resultados muestran que mediante el procedimiento empleado es posible implementar un método alternativo para realizar la dosimetría personal. El desarrollo de este estudio ha permitido diseñar un sistema dosimétrico personal conformado por dos tipos de dosímetros termoluminiscentes que será utilizado para medir la dosis absorbida en diferentes campos de fotones.

La importancia fundamental del método radica en que mediante el procedimiento empleado es posible implementar un sistema dosimétrico alternativo. El cual tiene un bajo costo en comparación con el actual sistema dosimétrico, favoreciendo así que un mayor número de personas ocupacionalmente expuestas, a nivel nacional, cuenten con un sistema de dosimetría personal.

5.REFERENCIAS:

A. McKinlay, Thermoluminescence Dosimetry, Med. Phy. Handbook 5, Adam Hilger, Bristol (1981) L.A. Ribeiro Da Rosa, 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) American National Standards Institute Nro. 13 American National Standard for Dosimetry Personnel Dosimetry Performance - Criteria for Testing, USA (1983).

International Standard Organization Nro. 4037, Characteristic of the Radiations and their Methods of Production (1995)

T. Benavente, Determinación del Espectro Continuo de Rayos x por Método de Absorción y Transformada de Laplace, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM, Lima (1992)

H.E. Johns and J. R. Cunningham, The Physics of Radiology, USA (1983)

Instituto Peruano de Energía Nuclear¹
Universidad Nacional Mayor de San Marcos²
E-mail: [1]d220092@unmsm.edu.pe, [2]d220008@unmsm.edu.pe

[Regresar al Índice](#)