

# CARACTERIZACIÓN DE HACES DE RAYOS X POR EL MÉTODO DE ATENUACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE DOSÍMETROS PERSONALES

Benavente T.<sup>(1,2)</sup> [tbenavente@ipen.gob.pe](mailto:tbenavente@ipen.gob.pe); Márquez J.<sup>(2)</sup>

(1) Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos / Lima, Perú

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

## ABSTRACT

At Calibration and Dosimetry Laboratory of the Peruvian Institute of Nuclear Energy it has been used the attenuation method to characterize the X rays beams used to the calibration of personal dosimeters. Voltages applied to the X ray tube and the additional filters have been made according to the publication ANSI No.13. Half value layer, the homogeneity coefficient and mean energy were determined from attenuation data. Average relative differences of 3, 40 and 4 % respectively were found with respect to values published in ANSI No.13. Also spectral distributions and their resolutions were determined. Relative differences of 16 and 9% respectively were found in comparison with values calculated by the Montecarlo's Method.

## SUMILLA

En el Laboratorio de Calibraciones y Dosimetría del IPEN se ha empleado el método de atenuación para caracterizar los haces de rayos X utilizados en la calibración de dosímetros personales. Los voltajes aplicados al tubo de rayos X y las filtraciones adicionales empleadas son sugeridos en el ANSI Nro.13. A partir de los datos de atenuación se determinó la capa semirreductora, el coeficiente de homogeneidad y la energía media, encontrándose en promedio diferencias relativas de 3, 40 y 4% con respecto a los valores del ANSI Nro.13. También se determinaron las distribuciones espectrales y sus resoluciones; hallándose diferencias relativas de 16 y 9%, respectivamente, en comparación con los calculados por la técnica de Montecarlo.

**PALABRAS CLAVES:** Rayos X, Atenuación, Espectros, Dosimetría, Radioprotección.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia radiológica de personas

profesionalmente expuestas se realiza para evaluar la dosis efectiva recibida debida a irradiación externa, y la dosis efectiva comprometida debida a la incorporación de material radiactivo<sup>[1]</sup>. En caso de irradiación externa, la dosis efectiva puede ser estimada ubicando uno o más dosímetros personales sobre el cuerpo de la persona mientras trabajan.

Para realizar una mejor estimación de la dosis efectiva, es recomendable que los dosímetros personales sean calibrados en términos de las nuevas magnitudes operacionales<sup>[2]</sup>. En caso de radiación X, los servicios de dosimetría necesitan conocer las calidades de los haces, los que son caracterizados por el voltaje de tubo, filtración total, capa semirreductora, energía media, y resolución espectral<sup>[3,4]</sup>.

En este trabajo se ha empleado las calidades de haces de radiación X recomendadas por el ANSI Nro. 13, las que son verificadas por el método de atenuación. A partir de los datos de atenuación se determinó la capa semirreductora y el coeficiente de homogeneidad. Asimismo, se aplicó la transformada de Laplace para determinar la distribución espectral<sup>[5]</sup>. Una vez conocida la distribución espectral se calculó la energía media y su resolución espectral.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para obtener datos de atenuación se utilizó un sistema generador de rayos X a potencial constante, con una filtración inherente de 2,2 mm de berilio, cámaras de ionización de 36 cm<sup>3</sup> y de 0,03 cm<sup>3</sup>, y filtros de aluminio y cobre de diferentes espesores y con un 99,99% de pureza.

Los datos de atenuación obtenidos se ajustaron a las funciones de atenuación  $X_1(T)$  y  $X_2(T)$ , utilizando el método de Rosenbrock.  $X_1(T)$  se utilizó para 30 kVp y  $X_2(T)$  para voltajes de tubo superiores.

$$X_1(T) = X(0)K_0 [B\sqrt{T-d}] \exp(-\mu_0 T) \quad (1)$$

$$X_2(T) = \frac{X(0)\sqrt{d} \cdot \exp(-B\sqrt{T+d - \sqrt{d}})}{\sqrt{T+d}} \exp(-\mu_0 T) \quad (2)$$

donde  $T$  es el espesor del filtro,  $K_0$  es la función de Bessel modificada de segunda clase y de orden cero,  $\mu_0$  es el coeficiente de atenuación del filtro, correspondiente a la máxima energía de los fotones,  $B$  y  $d$  son los parámetros de ajuste, y  $X(0)$  es el valor de la tasa de exposición no atenuada<sup>[5,6]</sup>.

La distribución espectral diferencial de la fluencia de fotones,  $\phi_E(E)$ , fue hallada mediante

$$\phi_E(E) = \frac{f(\mu)}{K \left[ \frac{\mu_{en}}{\rho} (E(\mu)) \right] (E(\mu)) \left[ \frac{-dE(\mu)}{d\mu} \right]} \quad (3)$$

donde,  $K = 1,842 \cdot 10^{-11}$  R.g.keV<sup>-1</sup>,  $\mu_{en}$  es el coeficiente de absorción y  $\rho$  es la densidad del aire, respectivamente. La función  $f(\mu)$  es la transformada de Laplace de la curva de atenuación  $X(T)$ .

Las transformadas de Laplace de  $X_1(T)$  y  $X_2(T)$  utilizadas en (3) son

$$f_1(\mu) = \frac{X(0)}{2} \frac{\exp[-\mu' d] \exp\left[-\frac{B^2}{4\mu'}\right]}{\sqrt{\mu'}} \quad (4)$$

$$f_2(\mu) = \frac{X(0)\sqrt{d}}{\sqrt{\pi}} \exp(B\sqrt{d}) \frac{\exp[-\mu' d] \exp\left[-\frac{B^2}{4\mu'}\right]}{\sqrt{\mu'}} \quad (5)$$

donde  $\mu' = \mu - \mu_0$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las filtraciones utilizadas para cada voltaje aplicado al tubo de rayos X, de las capas semirreductoras, **CS**, de los coeficientes de homogeneidad, **CH**, y de la energía media, **E<sub>m</sub>**, hallados de los datos de atenuación, se muestran en la Tabla 1. Los valores en paréntesis indican los errores porcentuales con respecto a los valores dados por el ANSI.

Las diferencias encontradas en los valores calculados se debieron principalmente a que se utilizó una distancia de irradiación menor que la recomendada, por no contar con el número apropiado de colimadores del haz. Esto se realizó para reducir la radiación dispersa que incidía en la cámara de ionización.

Se observó las distribuciones espectrales, calculadas en este trabajo y por la técnica de Montecarlo<sup>[7]</sup>. Los valores de las resoluciones espectrales, **R<sub>e</sub>**, y sus errores porcentuales con respecto a las resoluciones teóricas, se muestran en la última columna de la Tabla 1.

Las diferencias de los espectros se deben a las incertidumbres en la aplicación del método de atenuación empleando transformadas de Laplace, y a que el programa basado en el método de Montecarlo no considera situaciones reales de irradiación. Puede observarse que estas diferencias son más significativas para rayos X de energías bajas.

**Tabla 1.** Valores de CS, CH,  $E_m$  y  $R_e$  determinados en este estudio. Los valores en paréntesis indican los errores de CS, CH,  $E_m$  reportados en ANSI, y de  $R_e$  calculados por Montecarlo.

| <i>Voltaje<br/>(kVp)</i> | <i>Filtración<br/>(mm)</i> | <i>CS<br/>(mm)</i> | <i>CH</i>    | <i><math>E_m</math><br/>(keV)</i> | <i><math>R_e</math><br/>(%)</i> |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 30                       | 0,5 Al                     | 0,38 Al (-5,6)     | 0,48 ( 25,0) | 19,14 ( 4,3)                      | 58 (11,8)                       |
| 50                       | 1,0 Al                     | 0,99 Al ( 2,9)     | 0,40 ( 39,4) | 27,76 ( 4,3)                      | 70 (14,6)                       |
| 60                       | 4,0 Al                     | 2,70 Al ( 3,2)     | 0,36 ( 54,4) | 37,71 (-4,8)                      | 65 ( 1,5 )                      |
| 75                       | 1,5 Al                     | 1,85 Al (0,0)      | 0,42 ( 33,3) | 38,61 ( 1,0)                      | 88 (-7,3 )                      |
| 100                      | 5,0 Al                     | 4,86 Al ( 3,4)     | 0,46 ( 37,0) | 50,65 ( 0,7)                      | 76 ( 5,0 )                      |
| 150                      | 5,0 Al + 0,25 Cu           | 0,70 Cu (6,4)      | 0,46 ( 59,6) | 75,20 (-7,4)                      | 72 (15,3)                       |

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han determinado las capas semirreductoras y las energías medias, con diferencias relativas promedios del 5% en comparación con los valores reportados en el ANSI Nro.13. También se determinaron las distribuciones espectrales y las resoluciones, encontrándose diferencias relativas promedios del 16% y 9%, respectivamente, en comparación con los calculados por la técnica de Montecarlo. Los resultados de este estudio muestran la posibilidad de reproducir, aceptablemente, las calidades de los haces de radiación X en un laboratorio de calibraciones e implementar un método alternativo para realizar la calibración de dosímetros personales.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] International Commission on Radiological Protection, Publication 60, "Radiation Protection", Pergamon Press, 1990.
- [2] International Commission on Radiation Units and Measurements, Report 39, "Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources", 1985.
- [3] International Organization for standardization 4037, "Characteristic of the Radiations and their Methods of Production", 1995.
- [4] American National Standards Institute No 13, "American National Standard for Dosimetry - Personnel Dosimetry Performance - Criteria for Testing", 1983.
- [5] T. Benavente, "Determinación del Espectro Continuo de Rayos x por Método de Absorción y Transformada de Laplace", Tesis. Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM, 1992.
- [6] M. H. Unsworth, and J. R. Greening, "Experimental Continuous and L-Characteristic X-Ray Spectra for Tungsten Target Tubes Operated at 15 to 30 kV", Phys. Med. Biol., 15/4:631-642(1970).
- [7] R. Nowotny, "Calculates x-ray bremsstrahlung spectra including characteristic K and L fluorescence radiation of tungsten anodes", Programm V.3.5, Institut für Biomed. Technik und Physik, 1994.