



MX0500405

VIII Conferencia Internacional/XVIII Congreso Nacional sobre Dosimetría de Estado Sólido  
7-9 Septiembre de 2005, Zacatecas, Zac. México

## **PRUEBAS TIPO AL SISTEMA DE DOSIMETRÍA TEMOLUMINISCENTE AUTOMATICO ADQUIRIDO POR EL CPHR PARA DOSIMETRIA PERSONAL**

Daniel Molina Pérez, René Pernas Salomón  
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)  
Calle 20, no. 4113 e/ 41y 47, Miramar, Playa, Ciudad de la Habana, cuba  
[daniel@cphr.edu.cu](mailto:daniel@cphr.edu.cu)

### **Resumen**

Con vistas a ampliar las capacidades Técnicas del Servicio de Dosimetría Personal el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, adquirió un sistema automático de dosimetría termoluminiscente. La base de este sistema son dos lectores automáticos modelo Rados-Dosacus y un irradiador Rados, producidos por la empresa RADOS Technology Oy. Se adquirieron además detectores termoluminiscente de LiF:Mg,Cu,P (modelo GR-200), fabricados en China por Beijing Sudatonglian Electron & Equipment Co. LTD. Para evaluar su desempeño y como parte de los criterios de aceptación el sistema fue sometido a las pruebas tipo recomendadas internacionalmente. Se estudiaron propiedades dosimétricas tales como la homogeneidad del lote de detectores, reproducibilidad, umbral de detección, respuesta energética, señal residual, desvanecimiento de la señal, y estabilidad de los lectores. Los resultados indican que el sistema cumple los criterios de funcionamiento establecidos en la normativa internacional y por tanto que puede utilizarse para la dosimetría personal a todos los trabajadores ocupacionalmente expuestos del país.

### **Abstract**

The CPHR individual monitoring service acquired an automatic RADOS TLD system to improve its capacities to satisfy the increasing needs of their national customers. The TLD system consists of: two automatic TLD reader, model DOSACUS, a TLD irradiator and personal dosimeters card including slide and holders. The dosimeters were composed by this personal dosimeters card and LiF:Mg,Cu,P (model GR-200) detectors. These readers provide to detectors a constant temperature readout cycle using hot nitrogen gas. In order to evaluate the performance characteristics of the system, different performance tests recommended by the IEC 1066 standard were carried out. Important dosimetric characteristics evaluated were batch homogeneity, reproducibility, detection threshold, energy dependence, residual signal and fading. The results of the tests showed good performance characteristics of the system.

## INTRODUCCIÓN

En Cuba, el servicio de vigilancia radiológica individual de la exposición externa a radiaciones ionizantes es realizado por el Laboratorio de Dosimetría Externa (LDE) del CPHR. Este servicio está destinado a la estimación de la dosis equivalente personal  $H_p(10)$  [1] y la dosis equivalente en extremidades mediante la dosimetría termoluminiscente de la radiación electromagnética.

La creciente necesidad de extender el control dosimétrico a todas las prácticas del país y especialmente a la práctica de radiodiagnóstico motivó a que el LDE modernizara su anterior sistema basado en un lector manual modelo TOLEDO y detectores de LiF:Mg,Ti. Dos lectores TLD automáticos de la firma Finlandesa Rados Technology OY así como detectores de LiF:Mg,Cu,P (GR-200), hasta 20 veces más sensibles que los utilizados hasta el momento, fueron adquiridos para su incorporación en el servicio.

El uso de nuevos dosímetros y lectores en un servicio de dosimetría personal requiere que se determinen, al menos, sus características dosimétricas más importantes, estudio que por demás es obligatorio en los laboratorios cuyo servicio funciona sobre la base de un sistema de aseguramiento de la calidad. Por tal motivo se aplicaron los ensayos y pruebas recomendados por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) [2]. En este artículo son presentados los resultados obtenidos en la caracterización dosimétrica del nuevo sistema TLD.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El equipamiento adquirido por el LDE, comercializado por la compañía Rados Technology OY (Finlandia), está compuesto por los siguientes elementos:

- Dos Lectores Automáticos controlados por computadora. Estos emplean nitrógeno gaseoso para calentar los detectores y pueden leer sin interrupción hasta 10 bandejas codificadas conteniendo 20 dosímetros cada una.
- Software WinTLD para el cálculo de las dosis y gestión de datos.
- Un irradiador automático con fuente  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  calibrada.
- Dosímetros para cuerpo entero compuesto de un portadetector diseñado para 4 detectores circulares (4.5 mm diámetro y 0.8 mm de espesor), una carcasa plástica con 3 filtros de aluminio (1mm) y una ventana para la estimación de dosis superficial y el portadosímetro plástico.

Se adquirieron además detectores TL de LiF:Mg,Cu,P (modelo GR-200) producidos en China. Cada dosímetro se preparó con dos detectores de GR-200, ubicados en las posiciones 2 y 3 del portadetector.

Las irradiaciones se realizaron en los locales del Laboratorio Secundario de Calibración dosimétrica del CPHR (LSCD-CPHR)) empleando calidades de radiación estándar [3]. La incertidumbre combinada total de las irradiaciones fue 2.5%. El ciclo de lectura de los dosímetros se realizó completamente en los lectores, sin tratamientos externos

adicionales. Se utilizó el siguiente ciclo de calentamiento: Temperatura constante 240°C, 3s de precalentamiento, 24 segundos para la lectura y 3s más de borrado. Los factores de calibración individual de la sensibilidad se determinaron para cada detector siguiendo los procedimientos del fabricante. En las pruebas aplicadas al sistema se tuvieron en cuenta los requisitos de la IEC.

Para evaluar la reproducibilidad de los dosímetros, se prepararon 10 dosímetros y se sometieron a 100 ciclos de irradiación y lectura sin borrado adicional y sin recalibración de la sensibilidad individual de los detectores.

La respuesta de los dosímetros en función de la energía de la radiación se determinó irradiando a diferentes energías 7 siete grupos de 10 dosímetros cada uno sobre un maniquí de agua (ISO water slab phantom, 30 cm x 30 cm x 15 cm) y bajo un ángulo de cero grado respecto de la normal a la superficie. Se emplearon las calidades de espectro estrecho de rayos X con energías 33, 48, 65, 83, y 118 keV, así como radiación gamma del  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{60}\text{Co}$ .

El desvanecimiento de la señal de los dosímetros (fading) se evaluó en condiciones climáticas similares a las de mayor temperatura y humedad en nuestro país. Un grupo de 34 dosímetros se almacenó en una de las instalaciones del laboratorio bajo condiciones ambientales comunes de nuestro verano: temperatura entre 26°C y 35°C y humedad relativa entre 65% y 80%. Durante el período de almacenamiento (113 días) subgrupos de dosímetros fueron irradiados a iguales dosis en días diferentes. Todos los dosímetros fueron leídos en una misma jornada un día después de la última irradiación. Se determinó la lectura promedio relativa de cada subgrupo respecto a la lectura del último subgrupo irradiado (día cero). Simultáneamente 4 dosímetros fueron irradiados a una dosis conocida y sometidos a condiciones especiales de temperatura (50°C) durante 30 días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 resume los resultados de alguna de las pruebas aplicadas al sistema, así como los requisitos que deben cumplir, para su aceptación.

**Tabla 1.** Resultados de algunas de las pruebas aplicadas al sistema.

Pruebas	Requisitos	Resultados
Homogeneidad del lote	(max-min)/min < 30%	15
Reproducibilidad	<±7.5% (10 repeticiones)	2.7%
Umbral de detección	< 0.1 mSv	2 µSv
Desvanecimiento de la señal residual	<5% en 30d (18°C- 22°C) <10% en 90d (18°C- 22°C) < 20% en 30d (50°C, 65% Hr)	< 2% en 30d (18°C- 22°C) < 3% en 113d (18°C- 22°C) < 4% en 30d (50°C, 65% Hr)

**Homogeneidad del lote de detectores:** La homogeneidad del lote se considera aceptable. La respuesta de los detectores se concentra alrededor del valor medio en un intervalo de  $\pm 8\%$ . La respuesta de cualesquiera dos detectores del lote estudiado no difiere en más de un 15% entre sí, cumpliéndose por tanto el requisito establecido: 30%.

**Reproducibilidad:** El coeficiente de variación para las mediciones obtenidas tras irradiar y leer los dosímetros 10 veces fue inferior a 2.7%, llegando solo a 4.3% después de 100 repeticiones del ciclo. En ningún caso se detectó pérdida sistemática en la sensibilidad de los detectores, ver figura 1. Teniendo en cuenta que la norma exige para este parámetro un valor inferior a 7.5% y que cada dosímetro es utilizado como máximo 5 veces en el año, puede concluirse que los mismos son reutilizables por varios años al ritmo actual y sin variación considerable de sus propiedades termoluminiscentes.

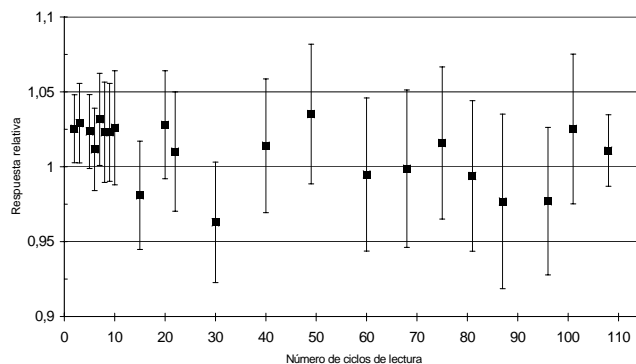


Figura 1. Respuesta relativa de los dosímetros en función del número de ciclos de lectura (Valor medio y desviación estándar)

**Linealidad:** La respuesta de los dosímetros se evaluó en el rango de dosis desde los 0.1 mSv hasta los 10 Sv utilizando haces de radiación gamma ( $^{137}\text{Cs}$ ). En este rango la dosis evaluada en los detectores difiere en menos de un 5% de la dosis estándar irradiada para un nivel de confianza del 95%, figura 2. Este comportamiento garantiza que las calibraciones realizadas a bajas dosis sean válidas en todo el rango de dosis evaluado sin necesidad de aplicar factores de corrección y simplificando además el algoritmo para el cálculo de las dosis.

**Umbral de detección:** El umbral de detección de los detectores GR-200 (2  $\mu\text{Sv}$ ), determinado en el laboratorio durante el estudio de caracterización, cumple ampliamente el requisito establecido por la norma [2] (100  $\mu\text{Sv}$ ) y sugiere que estos dosímetros pueden ser utilizados también para la dosimetría ambiental donde se requiere que este parámetro sea igual o inferior a 30  $\mu\text{Sv}$ .

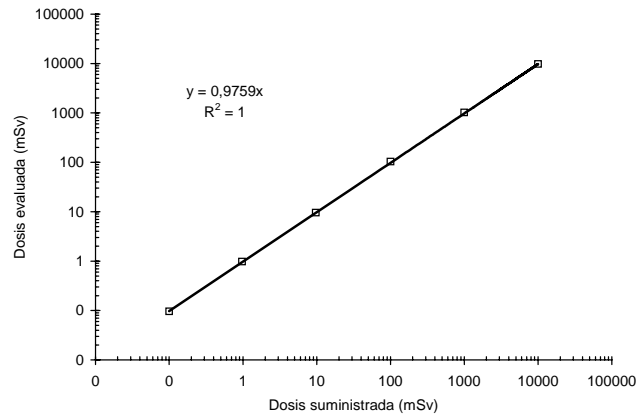


Figura 2. Linealidad de la respuesta de los dosímetros modelo Rados para cuerpo entero

**Señal residual:** Después de una irradiación a 100 mSv es requisito que el umbral de detección no exceda los 100  $\mu$ Sv y que la respuesta de los dosímetros sea inferior a 0.10 para una dosis de 2 mSv. La figura 3 muestra como decrece la señal residual en los detectores en función del número de ciclos adicionales (30 segundos a 240°C) para diferentes niveles de dosis. El estudio reveló que para cumplir con esta prueba los dosímetros deben ser borrados en el lector mediante 5 ciclos de lectura adicionales. Con estos tratamientos la señal residual se reduce a menos del 0.2% de la dosis evaluada y la respuesta de los dosímetros es del orden de 0.04 para una dosis de 2 mSv. Igualmente se pudo comprobar que los dosímetros irradiados a dosis con valores de hasta 10 mSv no necesitan de ciclos de borrado para cumplir con los requisitos de esta prueba. El borrado de los dosímetros mediante ciclos adicionales en función de la dosis permite que los dosímetros estén listos para reutilizarse en mucho menos tiempo que empleando métodos tradicionales de borrado externo.

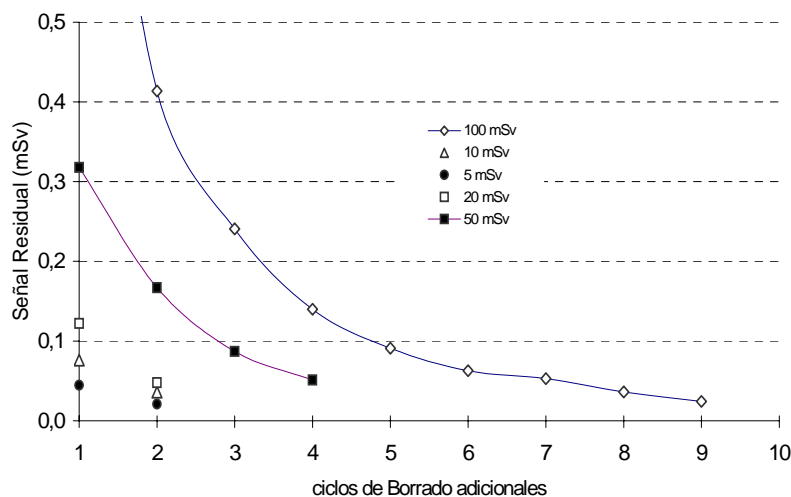


Figura 3. Señal residual en los detectores GR-200 en función del número de ciclos de lectura (borrados) para diferentes niveles de dosis.

**Desvanecimiento de la señal (fading):** Se comprobó que para estos dosímetros, la pérdida de la señal termoluminiscente en las condiciones de mayor temperatura y humedad de nuestro clima, es inferior al 2% en un período de 30 días e inferior al 3% en 113 días. Estos valores se consideran aceptables al compararlos con aquellos valores establecidos internacionalmente para esta prueba, vea la tabla 1. Para los dosímetros almacenados a 50°C durante 30 días, la señal desvanecida fue inferior al 4%.

#### **Influencia de la luz**

- A. Señal inducida por la luz: Para los dosímetros expuestos directamente a la luz (espectro similar al de la luz natural) con densidad de potencia 1000 w. m<sup>-2</sup> y durante 24 h se exige que la dosis cero (dosis evaluada en dosímetros no irradiados) sea inferior a 100 µSv. En nuestro caso la señal inducida por la luz no elevó la dosis cero a más de 7µSv.
- B. Pérdida de la señal: La exposición directa a la fuente de luz utilizada en la prueba anterior, provocó pérdidas considerables de la señal termoluminiscente en los detectores examinados, más del 10% de la dosis irradiada inicialmente. Otros autores [4] sugieren que este resultado está determinado por posibles efectos de borrado inducidos por la componente ultravioleta de la luz. Es por ello que se recomienda mantener los dosímetros protegidos de una exposición directa a la luz durante la realización de las prácticas.

#### **Respuesta relativa de los dosímetros en función de la energía de la radiación fotónica:**

La figura 4 muestra cómo varía la respuesta de los dosímetros en función de la energía de la radiación fotónica. La respuesta se normalizó con respecto a la respuesta que presentan los dosímetros a la radiación gamma del <sup>60</sup>Co. Las barras de error en la figura representan el intervalo de confianza al 95%. Para el rango de energías estudiadas (incluye las prácticas más comunes) se determinó que la dependencia energética de los dosímetros es inferior al 20%. La dependencia entre la respuesta de los dosímetros y la energía de la radiación se considera la fuente de mayor incertidumbre en el cálculo de las dosis. En los dosímetros estudiados la incertidumbre combinada (K=1) de las dosis evaluadas alcanza el 18% del valor que se reporta. Este parámetro cumple con los requisitos establecidos por la publicación 35 de la ICRP y que establece que la dosis evaluada debe ubicarse, con respecto al valor convencionalmente verdadero de la magnitud de interés, en el intervalo entre el -33% y el + 50% con un nivel de confianza del 95%.

**Auto irradiación de los dosímetros:** La norma exige que la autoirradiación después de un período de almacenamiento de 30 días debe ser inferior a los 100 µSv. El ensayo mostró que no hubo señales de auto irradiación, indicando que la misma es inferior al umbral de detección que es de 2 µSv.

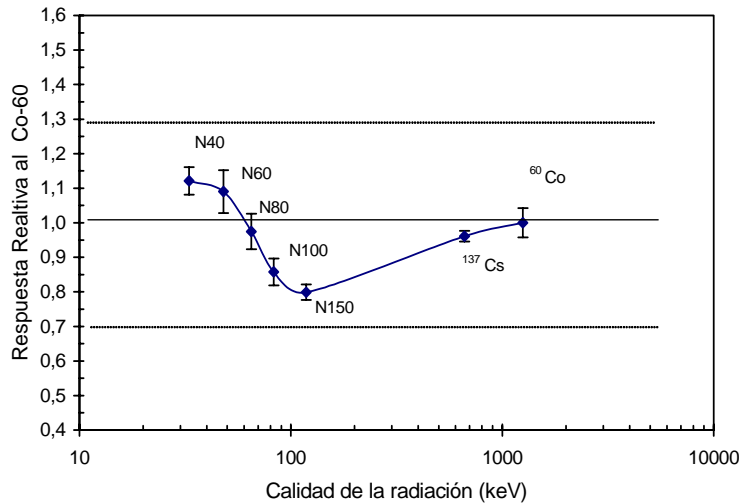


Figura 4. Respuesta de los dosímetros en función de la energía de la radiación fotónica.

**Estabilidad de los lectores:** Las dosis evaluadas en dosímetros leídos con 24h y 168h de diferencia no deben discrepar unas de otras en más de un 5% y 10% respectivamente. El ensayo mostró una diferencia de solo el 2% para ambos casos, indicando que la estabilidad de los lectores satisface este requisito estableciendo un período de validez para sus calibraciones. No obstante el laboratorio chequea diariamente la sensibilidad de estos equipos como parte de su programa de aseguramiento de la calidad.

## CONCLUSIONES

El sistema de dosimetría termoluminiscente estudiado demostró que es adecuado para el Servicio de Dosimetría Personal. Tanto los dosímetros como los lectores cumplen los requisitos de aceptación de la IEC para los sistemas de dosimetría TLD. La buena homogeneidad de los detectores GR-200 y la posibilidad de su reutilización fueron verificadas. El umbral de detección calculado es inferior a la mínima dosis detectable requerida para la dosimetría personal y sugiere que estos dosímetros pueden ser utilizados incluso para brindar servicios de dosimetría ambiental. A pesar de que la señal residual en los detectores de LiF: Mg,Cu,P es relativamente alta el proceso de borrado adoptado por el servicio garantiza que la señal residual se reduzca al 0.2% y optimiza el proceso de preparación de los dosímetros, permitiendo que estos estén disponibles en menos tiempo. Nuestro clima tropical no ejerce influencia importante en la señal termoluminiscente de los dosímetros durante su período de utilización. No obstante se debe evitar la exposición a fuentes de luz con fuerte componente ultravioleta evitando que los detectores sean removidos fuera del dosímetro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. International commission on Radiation Units and Measurements: "*Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*, Report No. 51, ICRU, Bethesda (1993)"
2. International Electrotechnical Commission. *Thermoluminescence Dosimetry Systems for Personal and Environmental Monitoring*. International Standard CEI/IEC 1066 (1991).
3. International Organization for Standardization. *X-ray and Gamma Reference Radiations for Calibrating Dosimeters and Dose Ratemeters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy*. ISO 4037/Part 1. Characteristics of the Radiations and their Methods of Production (1997).
4. M. Moscovitch. *Personnel Dosimetry using LiF:Mg,Cu,P*. Radiat. Prot. Dosim. **85**, 49-55 (1999).