

## Pruebas tipo realizadas a un sistema de dosimetría personal según la norma IEC 61066

Romel Castillo\*, Paula Huamanlazo, Enrique Rojas

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

### Resumen

En el presente estudio se realizó la verificación del sistema de dosimetría personal Harshaw TLD 6600 PLUS usando el método de las pruebas tipo IEC-61066 y las recomendaciones de las normas ISO 4037, para ello se irradiaron 5 dosímetros sobre fantoma de agua usando un irradiador que contenía una fuente de  $^{137}\text{Cs}$ , también se usaron 5 dosímetros como testigo. Los parámetros evaluados fueron homogeneidad, límite de detección, lectura residual, linealidad, reproducibilidad, caídas, cambio de temperatura y humedad. Los resultados obtenidos muestran que el sistema de dosimetría TLD Harshaw 6600 Plus cumple con los criterios de exigencia de la norma IEC 61066.

Palabras clave: Dosimetría del personal, Calibración, Dosímetros termoluminiscentes

### Type tests performed on a personnel dosimetry system according to IEC 61066

### Abstract

In this study, the verification of the Harshaw 6600 Plus TLD personal dosimetry system was made using the method of the IEC-61066 type tests and the recommendations of the ISO 4037 standards. For this purpose, five dosimeters were irradiated over a water phantom using an irradiator with a  $^{137}\text{Cs}$  source; five dosimeters as control were also used. The evaluated parameters were homogeneity, detection limit, residual reading, linearity, reproducibility, droppings and temperature and humidity variations. The obtained results show that the Harshaw 6600 TLD dosimetric system fulfills the IEC 61066 criteria.

Keywords: Personnel dosimetry, Calibration, Thermoluminescent doseimeters

## 1. Introducción

Las pruebas tipo son un conjunto de pruebas que se emplean para evaluar el funcionamiento de un sistema de dosimetría y son ampliamente utilizados en la metrología de las radiaciones. En varios países, la prueba tipo es legalmente requerida y si falla el instrumento respectivo no puede ser utilizado para las mediciones legales y, por lo tanto, no será comprado por muchos clientes. Un parámetro que se debe tener en cuenta es el coeficiente de variación de la indicación, que no debe exceder de un valor límite de aceptación dado.

En nuestro país, la norma PR 002-2011 [1] menciona a las pruebas tipo como requisito para la obtención de una autorización para brindar el servicio de dosimetría personal de radiación externa.

El objetivo de este trabajo es comprobar que el sistema de dosimetría TLD Harshaw cumple con los requerimientos mínimos de la norma técnica IEC 61066 [2] y así garantizar

los valores de dosis que se reportaran empleando este sistema dosimétrico.

### 1.1. El sistema dosimétrico TLD

El sistema de dosimetría TLD Harshaw emplea la tecnología termoluminiscente que permite medir la cantidad de radiación depositada por un haz de radiación en la materia. El sistema está constituido por el lector Harshaw 6600 Plus y el dosímetro TLD Harshaw modelo 8825. Se emplearon los programas WinRem y WinAlgorithm para realizar los procesos de lectura y calibración del sistema dosimétrico, y determinar la dosis entregada a cada dosímetro, respectivamente.

### 1.2. El lector [3]

El lector TLD Harshaw 6600 PLUS es un equipo de lectura automatizado que puede procesar hasta 200 tarjetas TLD por vez. El lector emplea gas nitrógeno UHP (Ultra High Purity) con 99,999 % de pureza para la

\* Correspondencia autor: rcastillo@ipen.gob.pe

lectura de los detectores y producir el efecto termoluminiscente.



**Figura 1.** Lector Harshaw TLD 6600 PLUS [3].

### 1.3. El dosímetro [3]

Las tarjetas TLD pueden ser de hasta 4 detectores, las cuales están diseñadas según requerimiento del usuario. Los detectores más utilizados son TLD-700, TLD-100, TLD-600, TLD-700H, TLD-100H, TLD-600H y sus respectivas combinaciones. Los dosímetros TLD Harshaw modelo 8825 están formados por 3 detectores TLD-700 y un detector TLD-600; con esta configuración, el dosímetro TLD es capaz de detectar campo de fotones, betas, neutrones y sus combinaciones.

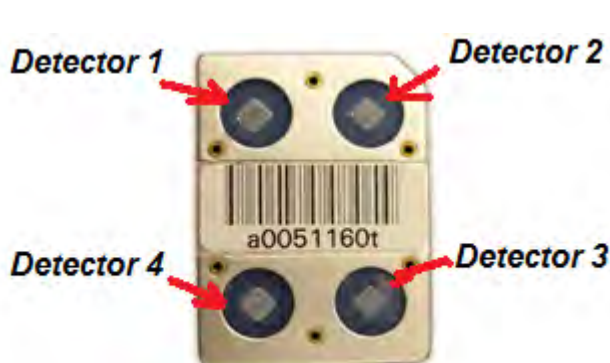
Los dosímetros TLD poseen filtros ubicados delante de cada detector TLD, estos filtros permiten discriminar la energía del haz incidente y así poder determinar la dosis. Cada filtro está elaborado con materiales de densidades y espesores muy específicos para poder discriminar a baja, media y altas

energías de fotones, betas o neutrones. Los dosímetros son empleados en el monitoreo de cuerpo entero o extremidades del personal ocupacionalmente expuesto. En las Figuras 3 y 4 se muestra al dosímetro TLD modelo 8825 mostrando la ubicación de los diferentes detectores y el portadosímetro. En la Tabla 1 se muestra los filtros ubicados en el portadosímetro y sus características, los cuales son empleados en la discriminación energética.

### 1.4. Proceso de calibración [4]

La calibración del lector y la caracterización de los dosímetros TLD fueron realizadas con el irradiador beta de  $^{90}\text{Sr}$  interno en el equipo lector. Para estos procesos se seleccionó un grupo de tarjetas TLD para ser irradiados y se configuró el programa WinRems de tal manera que las dosis entregadas a los detectores TLD sean representativos estadísticamente.

Concluidos estos procesos, se prosiguió con la calibración del programa de cálculo de dosis (WinAlgorithm) para lo cual se irradió un grupo de dosímetros de 4 elementos llamados 7776, por el tipo de detector que poseen, con la fuente de  $^{137}\text{Cs}$  a una dosis conocida de Hp(10) sobre fantoma de agua, estos dosímetros fueron leídos al día siguiente. Con las lecturas obtenidas y los valores de dosis de irradiación se encontró el factor de respuesta energética para fotones, que es empleado en algoritmo de cálculo para determinar la dosis de los dosímetros.



**Figura 2.** Tarjeta TLD tipo 7776 [3].



**Figura 3.** Dosímetro TLD modelo 8825.

**Tabla 1.** Características del dosímetro TLD modelo 8825 [4].

	Posición 1		Posición 2		Posición 3		Posición 4	
	Material	Espesor	Material	Espesor	Material	Espesor	Material	Espesor
Detector	TLD-700	0,015" 0,38 mm	TLD-700	0,015" 0,38 mm	TLD-700	0,006" 0,15 mm	TLD-600	0,015" 0,38 mm
Filtro	ABS + Cu	333 mg/cm <sup>2</sup>	ABS + PTFE	1000 mg/cm <sup>2</sup>	Mylar	17 mg/cm <sup>2</sup>	ABS + Sn	703 mg/cm <sup>2</sup>

## 2. Materiales y método

### 2.1. Método

#### Antes de un proceso [5]

- Se inicia con el encendido y warm up del equipo lector.
- Se realiza la prueba de control de calidad del equipo lector.

#### Durante el proceso

- Se seleccionan 10 dosímetros para su irradiación y 5 dosímetros como testigo.
- Los dosímetros se irradian en la sala gamma del Laboratorio Secundario empleando un irradiador que contiene una fuente de <sup>137</sup>Cs sobre fantoma de agua.
- La lectura de los dosímetros se hace después de 24 h de su irradiación.

#### Después del proceso

- Se trata térmicamente los dosímetros para eliminar toda carga residual, después de cada proceso de lectura.
- Se procesa los valores obtenidos de cada dosímetro.
- Se analiza y contrasta los resultados con los valores de referencia de la norma IEC 61066.

### 2.2. Equipos e instrumental

- Irradiador de <sup>137</sup>Cs marca: STS, modelo: OB6, A= 20 Ci (2002).
- Equipo lector TLD marca: Harshaw, modelo: 6600 Plus.
- Dosímetro TLD marca: Harshaw, modelo: 8825.
- Tarjeta TLD marca: Harshaw, tipo 7776.
- Llave del dosímetro TLD.
- Termo higrómetro, marca: Davis, modelo: perception II.
- Gas nitrógeno UHP con 99,999 % de pureza.
- Termo higrómetro, marca: Nielsen Kellerman, modelo: Kestrel 4000.

### 2.3. Programas

- WinRem, instalado en pc de escritorio.
- WinAlgorithm, instalado en pc de escritorio.

- Host, instalado en el lector Harshaw 6600 Plus.

## 3. Resultados

Los resultados de las pruebas realizadas en el Laboratorio Secundario del IPEN fueron contrastados con la norma IEC 61066 para validar el sistema de dosimetría TLD Harshaw 6600 [6,7,9,10,11].

### 3.1. Homogeneidad

30 dosímetros fueron irradiados a una dosis ( $D_i$ ) de 10 mSv en Hp (10) con <sup>137</sup>Cs [8] sobre fantoma de agua. En la Tabla 2 se demuestra que los dosímetros cumplen con la norma IEC para el caso de homogeneidad del lote.

**Tabla 2.** Resultados con la variación porcentual que va de un mínimo del 10 % a un máximo del 15 % que es menor al límite planteado por la norma IEC 61066 siendo del 30 %).

Detectores	Valor máximo	Valor mínimo	Variación (%)
Detector 1	972,81	845,85	15
Detector 2	1055,4	934,61	10
Detector 3	949,73	863,18	13
Detector 4	988,88	869,73	14

### 3.2. Lectura residual

Para la primera prueba, 5 dosímetros fueron irradiados a 100 mSv leídos y posteriormente borrados; luego fueron almacenados durante 4 días y leídos nuevamente. Para la segunda prueba, los mismos dosímetros fueron irradiados a 1 mSv y leídos. En la Tabla 3 se muestra que la dosis residual en los dosímetros irradiados con alta dosis está dentro de los límites de la norma IEC 61066.

### 3.3. Linealidad

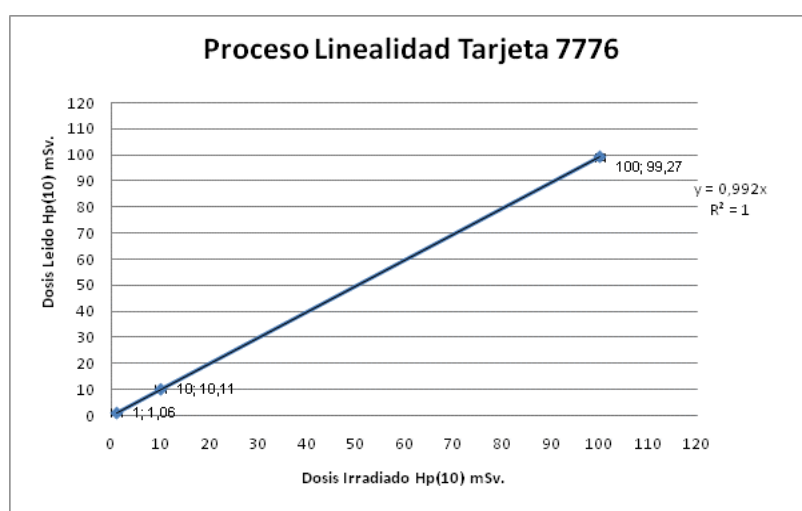
5 dosímetros fueron irradiados a diferentes valores de dosis equivalente en profundidad Hp(10). En la Tabla 4 y Figura 4 se muestra la respuesta lineal del dosímetro TL Harshaw modelo 8825 irradiado a diferentes dosis según la ISO 4037 [8].

**Tabla 3.** Resultados de la prueba de lectura residual muestran que el detector 3 muestra una variación menor respecto a los otros detectores.

Detectores	$S_{\bar{E}_{100mSv}}$	Evaluación	$\bar{E}_1 mSv$	Evaluación $\frac{\bar{E}_i \pm I}{D_i}$
Detector 1	0,12	0,04	1,12	1,10
Detector 2	0,14	0,04	1,13	1,10
Detector 3	0,16	0,03	1,03	1,07
Detector 4	0,18	0,07	1,05	1,08
Criterio IEC 61066	$t_n * s_E \leq 0,10$		$0,9 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I}{D_i} \leq 1,10$	

**Tabla 4.** Resultados de la prueba de linealidad se puede demostrar que a mayor dosis entregada al dosímetro menor es la variación respecto a la dosis reportada.

Detectores	$\bar{E}_1 mSv$	Criterio	$\bar{E}_{10} mSv$	Criterio	$\bar{E}_{100} mSv$	Criterio
Detector 1	1,01	1,03	10,43	1,06	93,44	0,98
Detector 2	1,06	1,08	10,41	1,06	98,20	1,00
Detector 3	1,03	1,03	10,03	1,01	93,82	0,95
Detector 4	1,11	1,07	10,45	1,05	95,12	1,00
Criterio IEC 61066	$0,9 \leq \frac{\bar{E}_i \pm I}{D_i} \leq 1,10$					

**Figura 4.** La gráfica muestra los valores de dosis reportados versus la dosis entregada por el Laboratorio de Secundario, la fuente empleada fue  $^{137}\text{Cs}$ .

### 3.4. Reproducibilidad

5 dosímetros fueron irradiados a una dosis en Hp(10) a 10 mSv con  $^{137}\text{Cs}$  sobre fantoma de agua en 7 sesiones seguidas; luego, se analizaron los resultados. Los valores mostrados en la Tabla 5 demuestra la respuesta del dosímetro TLD a irradiaciones continuas, encontrándose los resultados dentro de los límites establecidos por la norma.

### 3.5. Umbral de detección

Se seleccionaron 10 dosímetros y fueron tratados térmicamente; posteriormente, fueron almacenados por 24 horas y después fueron leídos. La dosis reportada debe ser  $\leq 0,10$  mSv. En la Tabla 6 se dan los resultados donde se comprueba los valores umbrales de detección del dosímetro TLD según norma IEC 61066.

**Tabla 5.** Resultados del proceso de reproducibilidad se demostró la respuesta del dosímetro TLD a irradiaciones continuas encontrándose los resultados dentro de los límites establecidos por la norma.

Detectores	Valor por tarjeta	Valor por irradiación
Detector 1	0,070	0,040
Detector 2	0,060	0,050
Detector 3	0,070	0,030
Detector 4	0,070	0,030
Criterio IEC 61066	$\frac{S_{\bar{E}_{ik}} + I_{ik}}{\bar{E}_{ik}} \leq 0,075$	$\frac{S_{\bar{E}_{ij}} + I_{ij}}{\sum_{j=1}^n \bar{E}_{ij} x \frac{1}{n}} \leq 0,075$

**Tabla 6.** Resultados de las pruebas de umbral de detección donde se demostró lo estable del dosímetro TLD, respecto a la radiación de fondo ambiental.

Detectores	$\bar{E}_t$	$t_n * s_{\bar{E}}$
Detector 1	0,027	0,040
Detector 2	0,023	0,050
Detector 3	0,066	0,030
Detector 4	0,040	0,030
Criterio IEC 61066	$S_{\bar{E}_{ik}} * t_{ik} \leq 0,10$	

### 3.6. Pruebas del efecto de caídas

Dos grupos de dosímetros fueron irradiados a 5 mSv de Hp(10) con una fuente de  $^{137}\text{Cs}$ , uno de los grupos corresponde a los controles ( $E_C$ ), mientras el otro grupo de dosímetros fueron soltados desde varias alturas para poder cuantificar el efecto de la caída sobre la dosis entregada. En la Tabla 7 se muestra que la variación máxima es de un 6 % cumpliendo con el criterio de la norma IEC 61066.

**Tabla 7.** Prueba de efecto de caídas sobre el dosímetro. Los resultados obtenidos demuestran que no hay variación significativa en la dosis si el dosímetro sufre caídas de diferentes alturas. Para este caso se empleó una altura extrema de más de 8 m.

Detectores	$R_{1\text{ m}}$	$R_{8,74\text{ m}}$
Detector 1	1,01	1,06
Detector 2	1,00	1,05
Detector 3	1,02	1,05
Detector 4	1,03	1,04
Criterio IEC 61066	$\frac{\bar{E}_I}{\bar{E}_C} \pm I = R \pm I \leq 1,10$	

### 3.7. Pruebas del efecto de la humedad y el calor

Dos grupo de dosímetros fueron irradiados a 5 mSv de Hp(10) con una fuente de  $^{137}\text{Cs}$ , uno de los grupos correspondió a los controles ( $E_C$ ) mientras que el otro grupo de dosímetros fueron sometidos a diferentes temperaturas y valores de humedad relativa. En la Tabla 8 se muestra que la variación máxima es de un 7% cumpliendo con el criterio de la norma IEC 61066.

**Tabla 8.** Prueba del efecto de la temperatura y humedad sobre el dosímetro. Estas pruebas eran importantes de realizar para comprobar el efector ambiental sobre los dosímetros TLD sobre todo en el cálculo de dosis.

Detectores	Temperatura		Humedad	
	$R_{2\text{ }^\circ\text{C}}$	$R_{45\text{ }^\circ\text{C}}$	$R_{18\text{ \% hr}}$	$R_{95\text{ \% hr}}$
Detector 1	1,03	0,94	0,99	1,02
Detector 2	1,05	0,95	0,99	1,01
Detector 3	1,07	0,96	1,02	1,01
Detector 4	1,07	0,96	1,00	1,00
Criterio IEC 61066	$\frac{\bar{E}_I}{\bar{E}_C} \pm I = R \pm I \leq 1,25$			

## 4. Conclusión

El sistema de dosimetría TLD Harshaw6600 Plus cumple con la norma IEC 61066 y puede ser empleado en dosimetría personal, así como también en actividades de investigación en dosimetría de radiaciones.

## 5. Agradecimiento

Al Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas por el servicio de irradiación y las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

## 6. Bibliografía

- [1]. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Requisitos técnicos y administrativos para los servicios de dosimetría personal de radiación externa. Norma de Seguridad radiológica PR 002.2011 [en línea]. Disponible en: [http://www.ipen.gob.pe/transparencia/regulacion/normatividad/nsr\\_PR002-2011.pdf](http://www.ipen.gob.pe/transparencia/regulacion/normatividad/nsr_PR002-2011.pdf)
- [2]. International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61066. 2<sup>nd</sup> ed. Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring. Génève, Suiza; 2006.
- [3]. Thermo Fisher Scientific. Harshaw Model 6600 Plus TLD Reader Operator's Manual; 2010.
- [4]. Thermo Fisher Scientific. Dose calculation algorithm for type 8825 dosimeter User's manual. 2<sup>nd</sup> ed. USA: Thermo Fisher Scientific; 2008.
- [5]. European Commission [Homepage]. Technical recommendations for monitoring individuals occupationally exposed to external radiation. Radiation Protection N° 160. Final Report of Contract TREN /07/NUCL/S07.70121. [Acceso 2015]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/160.pdf>
- [6]. Moscovitch M, Szalancy A, Bruml WW, Velbeck KJ, Tawil RA. A TLD system based on gas heating with linear time-temperature profile. Radiat. Prot. Dosimetry. 1990; 34(1-4): 361-364.
- [7]. Velbeck KJ, Luo LZ, Streetz KL. Type testing the model 6600 plus automatic TLD reader, Radiat. Prot. Dosimetry. 2006; 120(1-4): 303-306.
- [8]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 4037-3. X and gamma reference radiation for calibration dosimeters and dose rate meter and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeter and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. Génève, Suiza; 2000.
- [9]. International Organization for Standardization (ISO). ISO 21909:2005. Passive personal neutron dosimeters - Performance and test requirements. Génève, Suiza; 2005.
- [10]. International Organization for Standardization (ISO). ISO/IEC 62387-1. Radiation protection instrumentation- Passive integrating dosimetry systems for environmental and personal monitoring – Part 1: General characteristics and performance requirements. Génève, Suiza; 2007.
- [11]. Canadian Nuclear Safety Commission. Technical and quality assurance requirements for dosimetry services. Regulatory Standard. S-106 Revision 1; 2006.