

LECTURA DE DOSÍMETROS TLD EN EL CONTEXTO DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

E. Cruz Salazar¹ D.F. Aponte Castañeda²



¹EMETERIO CRUZ SALAZAR

EMETERIO CRUZ SALAZAR, Ms(c) en Física Medica , Universidad Nacional de Colombia, especialista en Gerencia y Gestión de Proyectos, Universidad Distrital, docente de Física de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales.

RESUMEN

En el tema de protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en diferentes campos, es necesario hablar de los Dosímetros TLD, que son instrumentos sensibles a la radiación y permiten medir la Dosis acumulada en un determinado periodo de tiempo por una persona que lo porta, de ésta manera se controla la Dosis de radiación recibida por el personal ocupacionalmente expuesto; el presente artículo muestra el procedimiento seguido para obtener la lectura de un grupo de Dosímetros TLD que de manera controlada han sido expuesto a radiaciones ionizantes durante espacios de tiempo diferentes.

Palabras Claves: Dosimetría, termoluminiscencia, protección radiológica.

INTRODUCCIÓN

La termoluminiscencia es la emisión de luz desde un material aislante o un semiconductor cuando es calentado, en otras palabras es la emisión térmicamente estimulada de luz siguiendo previamente a la absorción de energía de radiación. Una de las aplicaciones que aprovecha este fenómeno es la dosimetría de radiaciones, ya que la absorción de radiación incrementa el nivel de termoluminiscencia por llenado

de los niveles de energía localizados con electrones atrapados. Así, la intensidad de la termoluminiscencia de una muestra es el resultado de una competencia entre las trampas ocupadas por la radiación y las trampas vacías por excitación térmica. A una temperatura dada de irradiación, muchos materiales muestran una intensidad de termoluminiscencia que es proporcional a la cantidad de radiación absorbida.[1, 2]

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Detectores termoluminiscentes

La luminiscencia es el proceso de emisión de la radiación óptica de un material por causas no térmicas [2]. Existen tres elementos esenciales que son necesarios para la producción de la termoluminiscencia:

1. El material debe ser un aislante o un semiconductor ya que los metales no presentan propiedades luminiscentes.
2. El material debe tener algún tiempo para absorber la energía durante la exposición a la radiación.
3. La emisión luminiscente es provocada por el calentamiento del material.

Esta última es la característica particular de la termoluminiscencia, ya que una vez el material es calentado se excita siguiendo la emisión de luz. El material no puede emitir de nuevo por simple enfriamiento y recalentamiento de la muestra, para

que se de nuevamente la luminiscencia el material deber ser expuesto otra vez a la radiación, después de lo cual el aumento en la temperatura producirá la emisión de luz. [1]

1.2 Luminiscencia

Cuando la radiación está incidiendo sobre un material algo de su energía podría ser absorbida y reemitida como luz de una longitud de onda grande (Ley de Stoke's). Este es el proceso de luminiscencia. La longitud de onda de la luz emitida es característica de la sustancia luminiscente y no de la radiación incidente.

En la emisión de luz toma lugar un tiempo característico τ_c después de la absorción de la radiación y este parámetro permite sub clasificar el proceso de la luminiscencia Figura 1a. De esta manera se puede distinguir entre la fluorescencia en que $\tau_c < 10^{-8}$ s y la fosforescencia en que $\tau_c > 10^{-8}$ s.

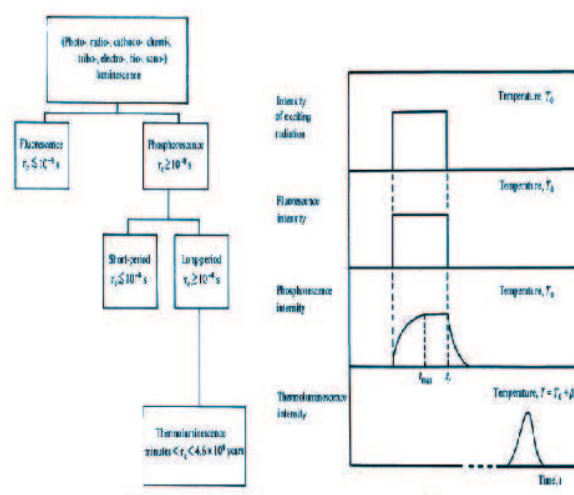


Figura 1: (a) Fenómenos de Luminiscencia. (b) Relación entre la absorción de la radiación y la emisión de fluorescencia, fosforescencia y termoluminiscencia[1].

El valor de $\tau_c < 10^{-8}$ proporciona una definición esencial para el proceso espontáneo de emisión por fluorescencia. Así, en la figura 1a, la emisión por fluorescencia está representada tomando simultáneamente lugar con la absorción de radiación y detenida inmediatamente con el cese de la misma [1].

Una manera de visualizar los valores de termoluminiscencia es mediante una gráfica de 'intensidad de luminiscencia' como función de la temperatura, conocida como curva Glow. Una curva glow típica para LiF uno de los fósforos termoluminiscentes más estudiados, es mostrada en la Figura 2.

La temperatura para la cual aparece el máximo pico está relacionada con la profundidad de la trampa.

En dicha gráfica aparecen 4 picos (2-5) indicando que 4 tipos diferentes de trampas están siendo activadas dentro de este rango particular de temperatura. El área bajo la curva de cada pico está relacionada con el número de trampas ocupadas, que, a su vez está relacionado con la cantidad de radiación impartida inicialmente a la muestra[1].

De acuerdo al modelo de bandas asociado a semiconductores y aislantes Figura 3, la absorción de energía de radiación incrementa la población de electrones atrapados; la estimulación térmica libera a los electrones seguido por la recombinación y emisión luminiscente. Además, es posible ver como una irradiación secundaria es necesaria si la termoluminiscencia es inducida de nuevo después del primer calentamiento[1].

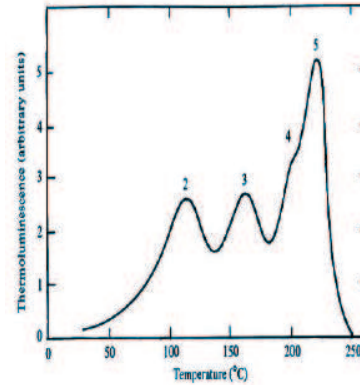


Figura 2: 'Curva Glow' de LiF, dopada con Mg y Ti con una irradiación de rayos de 250 rad [1].

La radiación ionizante excita un electrón fuera de la banda de valencia a la banda de conducción dejando una vacancia en la banda de valencia llamado agujero ó hueco. Los electrones y agujeros son libres para moverse independientemente a través de sus respectivas bandas y son llamados portadores de carga.

Todos los cristales reales presentan defectos en su red cristalina, ellos juegan un papel preponderante en el proceso termoluminiscente.

Sucintamente se pueden enumerar dos categorías de defectos en la red.

- Defectos intrínsecos (vacancias, ubicaciones intersticiales, etc): la temperatura de la red determina el número de defectos.
- Defectos extrínsecos o de sustitución de iones por impurezas: la sustitución afecta la concentración de vacancias.

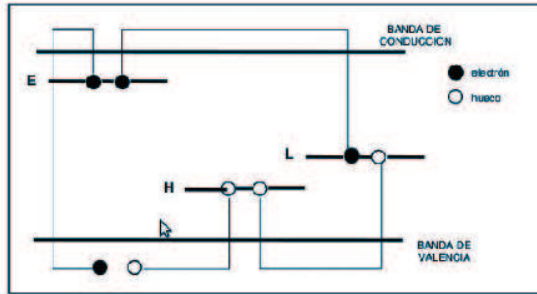


Figura 3: Esquema simplificado del modelo de bandas de energía del proceso de termoluminiscencia en una estructura cristalina[2].

1.3 Uso de cristales TLDs en la dosimetría personal

Desde el punto de vista de la radioprotección los cristales termoluminiscentes son utilizados en la dosimetría personal también llamada vigilancia radiológica individual. Los cristales se deben acoplar a un dispositivo pasivo que a través de unos filtros permita determinar la dosis de un trabajador ocupacionalmente expuesto con mayor precisión.

Este dispositivo es llamado un dosímetro.[5]

Ventajas del uso de materiales termoluminiscentes en dosimetría

- El dosímetro termoluminiscente es de bastante aceptación porque permite realizar medidas de dosis a largo plazo sin perder información (fading). Del orden de 2% por mes.
- El hecho de que sea un detector pasivo y no posea alimentación eléctrica para el registro de la dosis hace que el dosímetro sea confiable y no pierda información por desperfectos electrónicos o alimentación eléctrica.
- El rango de medida en los cristales termoluminiscentes varía desde $10\mu\text{Sv}$ hasta 100kSv .
- Tiene baja dependencia energética, es decir, la medida de la dosis es independiente si el dosímetro fue irradiado con radiación gamma, equis, beta, etc.
- Los diferentes tipos de cristales TLDs, permiten ser utilizados para medir diferentes tipos de radiación como lo muestra la Tabla 1.

Tipo	Radiación	Aplicación
TLD-100	Gamma y equis	Radiodiagnóstico, radioterapia, aplicaciones industriales
TLD-700	Gamma, equis y beta -Baja eficiencia neutrones	Radiodiagnóstico, radioterapia, aplicaciones industriales
TLD-600	Neutrones	Medidores nucleares con emisores de neutrones
TLD-800	Gamma	Fuentes intensas de radiación
TLD-200	Equis y beta menos	Radiodiagnóstico y aplicaciones con bajas energías
TLD-100H	Gamma y equis	Radiodiagnóstico, radioterapia, aplicaciones industriales. Niveles ambientales
UD-800A	Gamma y equis	Radiodiagnóstico, radioterapia, aplicaciones industriales. Niveles ambientales.
PTFE-100	Gamma	Niveles de radioprotección

Table 1: Diferentes tipos de cristales TLDs, Aplicaciones y tipos de radiación en los cuáles pueden ser usados.

- La dosimetría personal cuantifica los equivalentes de dosis recibidos por el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE). Los límites respecto a la exposición de radiación del POE están regulados por los criterios recomendados en la publicación número 60 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).
- La dosimetría personal es el medio aceptado como mecanismo de vigilancia radiológica individual de referencia, para los trabajadores ocupacionalmente expuestos (POE) a la radiación ionizante. En los últimos años se ha observado una tendencia a la aparición de empresas privadas prestadoras de dosimetría personal utilizando detectores de película, termoluminiscentes y de estimulación óptica (OE). [3, 5]
- Proporcionar datos en caso de un asunto médico-jurídico: Dar seguridad y confianza al empleado y al empleador, estimulando al trabajador a reducir las exposiciones individuales.

Aspectos generales en los registros de dosimetría personal

- Los registros dados por el servicio de dosimetría deben ser archivados y mantenidos para permitir su acceso en un tiempo no inferior a 30 años después de que el trabajador a cesado sus funciones.

Los reportes deben incluir:

Beneficios de la aplicación de una vigilancia radiológica individual

- Permitir un control a corto y a largo plazo respecto de las sobreexposiciones registradas.
- Verificar permanentemente la efectividad de las normas de supervisión, entrenamiento, instrumentación y procedimientos de protección radiológica.
- Proporcionar datos indispensables en estudios epidemiológicos de impacto radiológico de una práctica para realizar análisis Costo - Beneficio.
- Nombres completos del trabajador, las dosis acumuladas del trabajador, las dosis externas e internas y en algunos casos la dosis efectiva o magnitudes operacionales.
- Observaciones en casos de errores en el proceso de lectura y evaluación de la información,
- Aviso en caso de superar el límite establecido para el registro.
- Permitir el acceso a los datos médicos, legales o para estudios epidemiológicos.
- Sistematizar mediante una base de datos los registros de los usuarios.

Cualidades que debe poseer un dosímetro personal

- No debe interferir en la ejecución de las actividades del trabajador (peso, tamaño).
- Debe estar plenamente identificado.
- Su calibración debe ser able. El servicio de dosimetría debe estar acreditado.
- Debe estar protegido contra la humedad y demás condiciones ambientales.
- La pérdida de información luego de la entrega del dosímetro y su respectiva evaluación debe ser mínima.
- El dosímetro debe ser portado durante todo el tiempo en que el trabajador se encuentre en la instalación radiactiva.
- Se debe ubicar en la parte del cuerpo más representativa.
- Si el campo de radiación no es uniforme en todo el cuerpo es necesario usar dosímetros para las extremidades.
- En caso de usar delantales plomados se deben utilizar dosímetros extras, dentro y por fuera del delantal.

Niveles de referencia en un servicio de dosimetría personal

Son establecidos mediante un programa de protección radiológica.[3, 4]

- NIVEL DE REGISTRO. Es el valor en dosis equivalente o exposición en el

cual todos los valores por debajo de él no son registrados. En dosimetría personal debe ser un valor inferior al límite derivado por período de uso. Límite por mes de 1.7 mSv

- NIVEL DE INVESTIGACIÓN. Cuando las dosis equivalentes superan un valor considerado justicado, la autoridad debe investigar las posibles causas para que no vuelva a ocurrir (Lo determina el Ocial de Protección Radiológica).
- NIVEL DE INTERVENCIÓN. Se fija de tal forma que justique la intervención de la autoridad regulatoria para lograr una corrección de la práctica radiológica.

Desempeño de un sistema dosimétrico

Cuando una entidad presta el servicio de dosimetría personal debe someterse a una auditoría de calidad dosimétrica. La cual consiste en que el servicio envía un lote de dosímetros para que sean irradiados de manera controlada para varias energías y dosis. Posterior a la irradiación en el laboratorio de calibración se les devuelven los dosímetros para que el servicio de dosimetría evalúe las dosis a ciegas. Cuando se reportan las dosis se evalúa su desempeño a través de las curvas trompeta.

El desempeño un servicio dosimétrico se analiza en términos de la precisión global en la evaluación de la dosis equivalente personal, cuyos límites están dados por la ecuación 1, representada gráficamente por las curvas trompeta.

$$1.5 \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_p} \right) \leq \frac{H_{eval}}{H_p} \leq 1.5 \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_p} \right) \quad (1)$$

Donde $H_0 = 0.080$ mSv, corresponde al valor típico de umbral de detección de un servicio de dosimetría termoluminiscente, H_{eval} es la dosis evaluada por cada empresa participante y H_p es la dosis equivalente personal a 10mm de profundidad dado por el laboratorio de calibración.

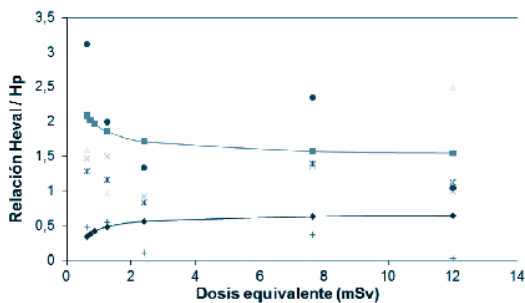


Figura 4: curva trompeta

El índice de desempeño ID del servicio de dosimetría se evalúa mediante la relación

porcentual entre el número de puntos de irradiación por fuera de los límites por el número total de puntos. La forma abierta de las curvas trompeta se debe a que la incertidumbre es grande para bajas dosis impartida donde la radiación acumulada por fondo natural es importante.[3]

2. Materiales y métodos

Se tomaron treinta Dosímetros TLD 100 sin una selección previa, es decir que sus características debido al uso que se les ha dado no se conocen, las dimensiones de éstos Dosímetros son de (3x3x1) mm, por tal razón se procede a realizar un borrado de todos los cristales a partir de una curva de calentamiento y posteriormente la irradiación en el laboratorio secundario de Dosimetría de Ingeominas, procesos que de describen a continuación.

2.1 Proceso de Annealing de los TLD 100.

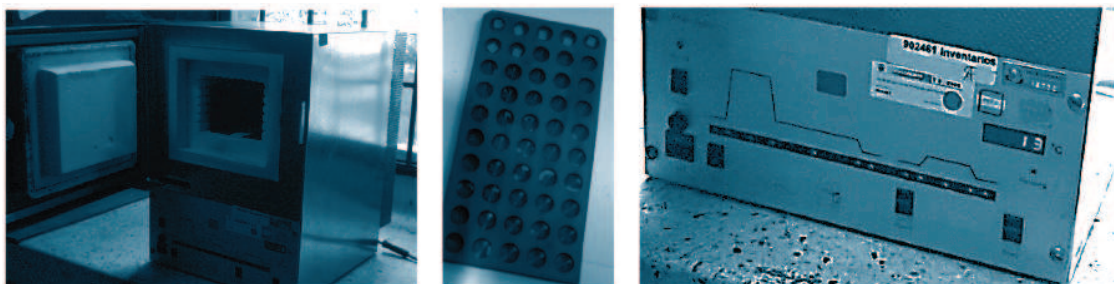


Figura 5: Equipos usados para el borrado de dosímetros.

Los cristales se dispusieron en una matriz de carbono, se introducen en el horno que puede desarrollar dos curvas de temperatura como se observa en la figura 5a, se selecciona la opción "programa1"

mediante el pulsador que se observa en la parte inferior izquierda de la figura 5c, que lleva los cristales hasta una temperatura máxima de 400 °C, se mantiene constante en 400 °C durante un tiempo de 60 min,

posteriormente desciende hasta una temperatura de 80°C se mantiene a esta temperatura durante unos 20 min y desciende hasta temperatura ambiente, permitiendo el borrado de los cristales.

2.2 Proceso de Irradiación.

Antes de iniciar el proceso de irradiación se tomaron cinco cristales de manera aleatoria como referencia y se procedió a irradiar los

veinticinco restantes mediante la fuente de ^{137}Cs , como indica la Figura 2a, la distancia de la fuente al campo de irradiación fue de 85 cm, el diámetro del campo de 25 cm y el rendimiento de la fuente de 5,2 mSv/h, los tiempos de irradiación fueron 8, 15, 30, 45 y 60 minutos, y cada vez que se cumplía un tiempo de éstos se retiraban cinco cristales, se ubicaban en un matriz de acrílico identificados, de esta manera se realizó la irradiación proceso que se describe mediante las Figuras 6.

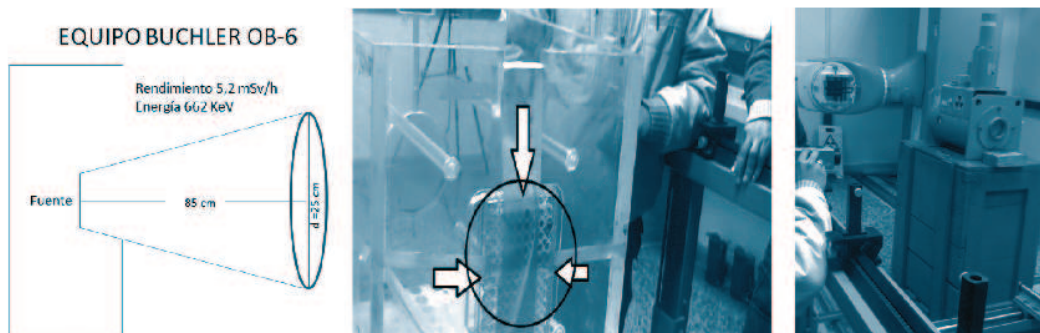


Figure 6: Montaje de los equipos usados en el proceso de Irradiación.

2.3 Proceso de lectura de los cristales.

Se realizó la lectura por medio de un equipo Harshaw 4500 y se usó el programa "Winrems" como muestra la figura 7a.

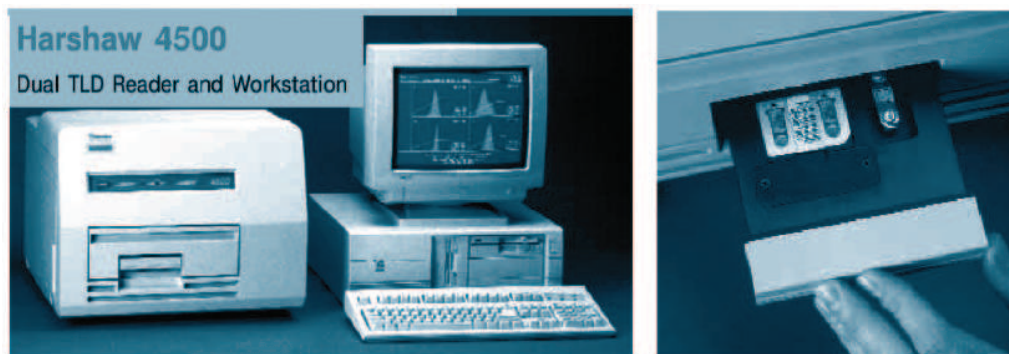


Figure 7: Montaje de los equipos usados en la lectura de los cristales.

Se programó el equipo para la lectura de los dosímetros en el perfil "Cobalto" y se procedió a realizar las pruebas internas del equipo las cuales son:

Lectura de ruido (ruido de fondo) que corresponde a la luz que llega al fotomultiplicador por defecto en el equipo.

Prueba de luz con la lámpara interna del equipo para verificar la eficiencia del fotomultiplicador.

Luego de pasar los dos "test" se procedió a realizar las lecturas de los dosímetros.

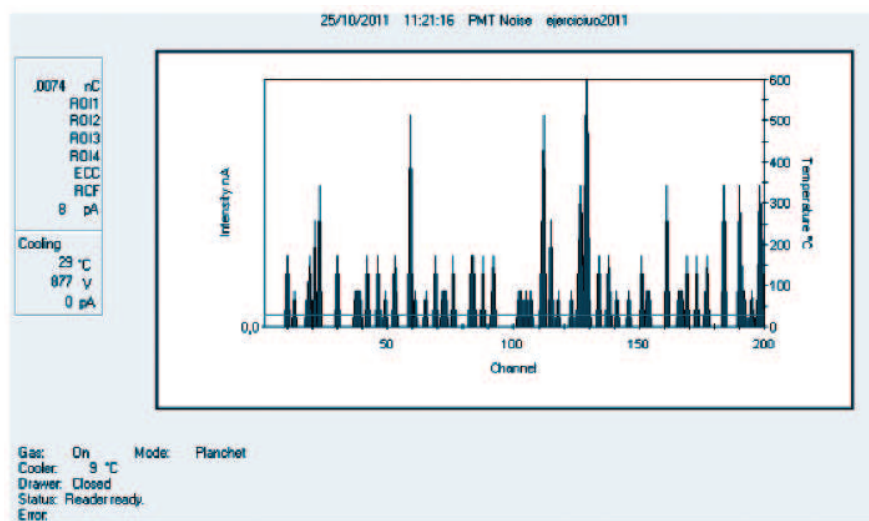


Figura 8: Lectura de fondo

Se realizó la lectura de un conjunto de dosímetros incluyendo un dosímetro de control cuyas lecturas se muestran en la tabla 2

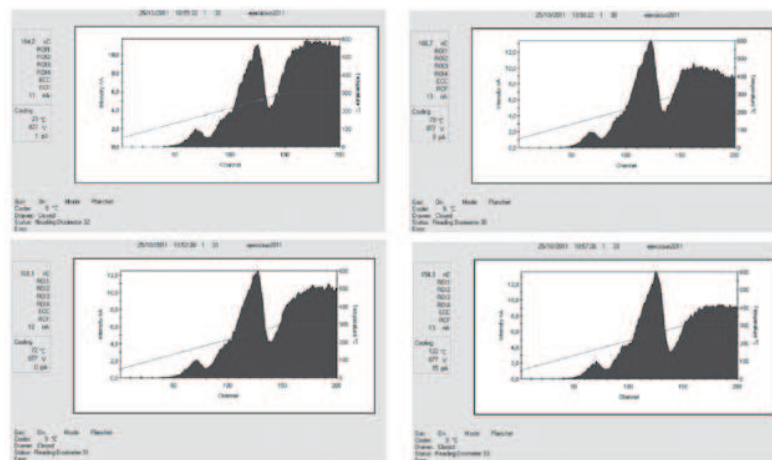


Figura 9: curvas Glow de las lecturas de los dosímetros del grupo .

0 min		8 min		15 min		30 min		45 min		60 min	
Control	nC	Grupo 1	nC	Grupo 2	nC	Grupo 3	nC	Grupo 4	nC	Grupo 5	nC
1	51.80	10	74.75	19	278.10	28	195.60	37	233.80	46	229.50
2	240.00	11	56.23	20	344.70	29	166.70	38	202.90	48	225.40
3	181.60	12	91.96	21	204.60	30	161.10	39	206.10	50	228.80
4	344.00	13	239.00	22	342.70	31	164.70	40	214.40	51	250.20
5	76.76	14	222.80	23	458.70	32	154.30	41	182.60	52	242.90
Promedio	178.83		136.95		325.76		168.48		207.96		235.36

Table 2: Lectura de carga de los dosímetros.

3 Resultados

Teniendo el valor de la ganancia encontramos el valor de la dosis equivalente para cada uno de los tiempos de irradiación y la desviación estandar de la dosis equivalente como ilustra la tabla 3.

Tiempo (min)	Dosis Equivalente (mSv)	Carga Promedio (nC)	Desviación Estándar (mSv)
8	0.69	136.95	±4.61
30	2.60	168.48	±4.63
45	3.90	207.96	±4.56
60	5.20	235.36	±3.64

Table 3: Valores de dosis equivalente, lectura de carga y desviación estándar de la dosis.

La respectiva gráfica de los datos obtenidos es:

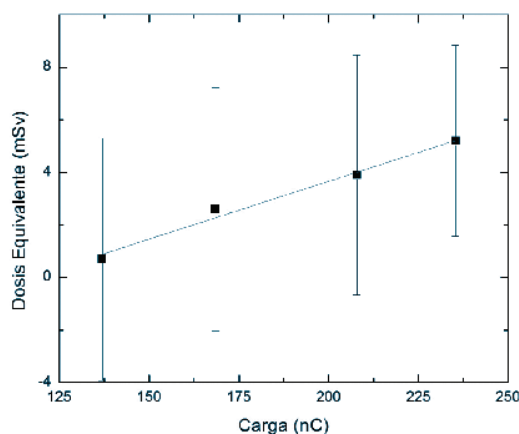


Figura 10: Dosis equivalente versus lectura de la carga de los dosímetros.

Y la ecuación característica de la regresión lineal correspondiente es:

$$H(mSv) = -5.23(mSv) + 0.0464(mSv/nC)xL(nC)$$

Teniendo en cuenta, la relación de la ecuación general se encontró el valor del factor de calibración (RCF) el cual, es la pendiente de la función lineal, por consiguiente se tiene:

$$RCF = 0.0464(mSv/nC)$$

El valor de del factor de corrección por elemento de cada cristal se encontró a partir de la siguiente relación:

$$ECC_i = \frac{l_i}{\sum \frac{l_i}{N}} \quad (4)$$

Teniendo como resultado para cada cristal su factor de corrección en la siguiente tabla,

Dosímetro	ECC_i	Dosímetro	ECC_i	Dosímetro	ECC_i	Dosímetro	ECC_i	Dosímetro	ECC_i	Dosímetro	ECC_i
1	0.289	10	0.546	19	0.854	28	1.161	37	1.124	46	0.975
2	1.342	11	0.411	20	1.058	29	0.989	38	0.976	48	0.958
3	1.015	12	0.671	21	0.628	30	0.956	39	0.991	50	0.972
4	1.923	13	1.745	22	1.052	31	0.978	40	1.031	51	1.063
5	0.429	14	1.627	23	1.408	32	0.916	41	0.878	52	1.032

Table 4: Factor de corrección por elemento.

Donde estos valores (ECC_i ; Rcf) serán introducidos al programa de lectura "Winrems" para que dé la lectura de los dosímetros con las respectivas correcciones tal como la ecuación 5, en unidades de dosis equivalente (mSv).

$$H(\text{mSv}) = RCF(\text{mSv/nC}) \times ECC_i \times Li \quad (5)$$

4 Conclusiones

- En las curvas de brillo se puede apreciar en algunos dosímetros que hay picos persistentes a altas temperaturas (por encima de 250°C) que contribuyen a que haya una cantidad residual de luminiscencia, esto ocurre en comunmente en los cristales que están deteriorados.
- Existen muchos factores por los cuales la medida en la lectura de los cristales difiere enormemente, tales como: La limpieza, el uso que se les a dado, del

lote de fabricación y hasta el equipo de lectura, ya que este no está en constante uso.

- Se le debe realizar limpieza a los cristales para mejorar la medida en la lectura, para que no haya quimicoluminiscencia, ya que debido al contacto con la goma de la cinta que se usó para guardarlos es posible que por eso, la medida tenga una desviación estándar muy grande y también a que los cristales no deben ser del mismo lote de fabricación.
- Los valores de los factores de corrección por elemento tienen valores muy dispersos. Existen valores de ECC hasta de 0.2, donde podría considerarse que el dosímetro deberá cambiarse ya que si está por debajo de 1, el dosímetro tiene poca sensibilidad.
- Se aconseja a futuro que los cristales que se adquieran se dejen con un número inicial para toda la vida del

cristal, se establezcan los factores ECC iniciales y los tratamientos térmicos a 400°C en el horno PTW, se realice una vez al año solamente.

- Los cristales existentes son útiles para prácticas de aprendizaje, pero para realizar trabajos de grado donde se van a realizar medidas precisas y confiables es mejor adquirir un lote de cristales cuya utilización debe hacerse con mucha responsabilidad. No es conveniente mezclar cristales de diferentes lotes.
- El equipo de termoluminiscencia debe prenderse periódicamente y realizar pruebas de lectura por lo menos una vez por semana para disminuir el ruido en el PMT (Tubo fotomultiplicador) y se debe también realizar una limpieza periódica a los dispositivos de calentamiento y los lentes.
- Para realizar una estimación más precisa del factor RCF se debe contar con una mayor cantidad de puntos de dosis y considerar dosis en el rango de

linealidad que aconseja el fabricante, del orden de 100mSv.

REFERENCIAS

[1] Thermoluminescence of solids, S.W.S McKEEVER. Department of Physics, Oklahoma State University.

[2] ESPECIALIZACIÓN EN APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR. Elementos de Protección Radiológica.

[3] International Standard ISO/FDIS 4037-3 X and gamma reference radiations for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy.

[4] Da Silva, T.A Results of the 1999 Intercomparison of Individual Monitoring Systems Under the IAEA Model Project RLA/9/030.

[5] IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DOSIMETRÍA PERSONAL UTILIZANDO DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE. Revista Colombiana de Física Vol.35 No.1 Año 2003. S.O. Benavides, J. C. Rojas, H. Olaya.