

DEPENDENCIA ENERGETICA DE DOSIMETROS TERMO-LUMINISCENTES DE LiF-7 PARA ELECTRONES DE ALTAS ENERGIAS

Gustavo H. Olivera

Instituto de Física Rosario (CONICET) Avenida Pellegrini 250, 2000 Rosario.

Margarita Saraví

Gerencia de Area Radioisótopos y Radiaciones, Gerencia de Aplicaciones, División Dosimetría. Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Libertador 8250, 1429 Buenos Aires.

En el presente trabajo se estudia la dependencia energética de dosímetros termoluminiscentes (TLD) de fluoruro de litio (LiF-7) *chips* y *rods* cuando son irradiados en haces de electrones de altas energías. Este estudio se realiza en forma teórica y experimental, utilizando varias de las teorías de cavidad desarrolladas por diversos autores hasta el presente. Se encuentra una dependencia energética significativa, lográndose un ajuste entre teoría y experimento mejor del 2% para los *rods* en haces de electrones de entre 5 MeV hasta 112 MeV. La exactitud que se logra con la utilización de estas teorías permite realizar una medición en cualquier energía de electrones a partir de la calibración de los detectores TLD en haces de ^{60}Co .

I. INTRODUCCION

El empleo de dosímetros termoluminiscentes (TDL) en el campo de la radioterapia es de utilidad en situaciones tales como *dosimetrías in vivo*, *programas de garantías de calidad (QA)*, etc. En el caso de radioterapia la dosis absorbida en un punto de referencia debe ser determinada con una incerteza total del $\pm 3\%$. Es necesario por lo tanto conocer la respuesta en función de la energía de los dosímetros cuando son usados en haces de electrones de altas energías con el objeto de tenerla en cuenta en el cálculo de la dosis.

Cuando se coloca un detector para medir dosis absorbida por un medio expuesto a radiación, se coloca un medio sensitivo (*cavidad*) que en general constituye una discontinuidad para la radiación. Las teorías de cavidad relacionan la dosis absorbida en el medio (D_m), con la absorbida en la cavidad (D_c),

$$D_m = \frac{1}{f_{cm}} \cdot D_c \quad (1)$$

donde $\frac{1}{f_{cm}}$ es el factor de proporcionalidad.

Los TLD caen dentro de las cavidades de tamaño intermedios. Para realizar la comparación entre los resultados teóricos y experimentales se procede como sigue.

$$f_{cm} = \frac{D_c}{D_m} \quad (2)$$

$$\text{y se define } f_{^{60}\text{Co}} = \frac{D_{c^{60}\text{Co}}}{D_m^{60}\text{Co}} \quad f_{eox} = \frac{D_{ceox}}{D_{meox}}$$

Suministrando la misma dosis al medio ya sea en ^{60}Co , electrones o X de alta energía resulta

$$f_{^{60}\text{Co}}^{eox} = \frac{f_{eox}}{f_{^{60}\text{Co}}} = \frac{D_{ceox}}{D_c^{60}\text{Co}} \quad (3)$$

Si la señal termoluminiscente es proporcional a la dosis se obtiene:

$$f_{^{60}\text{Co}}^{eox} = \frac{\text{TL por unidad de dosis absorbida en el medio}_{eox}}{\text{TL por unidad de dosis absorbida en el medio}_{^{60}\text{Co}}} \quad (4)$$

De esta forma, normalizando los valores de la señal termoluminiscente por unidad de dosis absorbida en el medio cuando se irradia en un haz de electrones o fotones de alta energía, con respecto a los mismos valores cuando se irradia en ^{60}Co , es posible obtener la variación de respuesta de los dosímetros en función de la energía de los haces utilizados.

II. TEORIAS UTILIZADAS

1. BURLIN: Válida para fotones y electrones fotones:

$$f_{cm} = d \cdot S_{cm} + (1 - d) \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{cm} \quad (5)$$

electrones:

$$f_{cm} = d \cdot S_{cm} \quad (6)$$

con:

S_{cm} = relación de stopping power medio cavidad.

μ_{en} = coeficiente de absorción energética

$$d = \frac{\int_0^g \exp(-\beta x) dx}{\int_0^g dx}$$

β = coeficiente de atenuación másico de electrones en el material

$g = 4 \frac{V}{A}$ camino promedio de los electrones en la cavidad
 V = volumen de la cavidad, A = área de la cavidad

2. ALMOND: Válida para fotones y electrones, en fotones es igual que Burlin.
 electrones:

$$f_{cm} = d \cdot S_{cm} + (1-d) \cdot \left(\frac{Z}{A}\right)_{cm} \quad (7)$$

3. HOLT: Valida para electrones

$$f_{cm} = S_{mc}(E) [1 + h_c \cdot (S_{mc}(E) - 1)] \quad (8)$$

con: $h_c = \frac{\langle x \rangle}{R_{max}} \ll 1$, $\langle x \rangle$ = camino promedio,

R_{max} = rango máximo.

4. FREGENE: Válida para fotones y electrones.

$$\frac{1}{f_{cm}} = \frac{1}{S_{mc}} + \left(1 - \frac{1}{S_{mc}}\right) \cdot \frac{t}{r_e} \quad (9)$$

t = espesor del dosímetro, r_e = rango máximo de los electrones secundarios.

5. ONGULEYE- ATTIX: Se aplica a ^{60}Co , proponen modificaciones y aclaraciones teóricas respecto de la emisión Compton de electrones. Respecto de la de Burlin se modifica g siendo ahora:
 $g = 1.2 \cdot t$

6. HOROWITZ: Se aplica solo a ^{60}Co , la formula es:

$$f_{cm} = \left(\frac{Z}{A}\right)_{cm} \left\{ \begin{array}{l} 1 + d \cdot \left[\left(\frac{Z}{A}\right)_{mc} \cdot \frac{1}{S_{mc}} - 1 \right] \\ + d' \cdot \left[\left(\frac{Z}{A}\right)_{mc} \cdot \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{cm} - 1 \right] \end{array} \right\} \quad (10)$$

para d se utiliza el camino g y para d' el g' donde:

a)

$$g = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{tP(\theta)}{\cos(\theta)} d\theta = 1.539 \cdot t \quad (11)$$

$$g' = 4 \cdot \frac{V}{A} \quad (12)$$

b)

$$g' = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{tP(\theta)}{\cos(\theta)} d\theta = 1.539 \cdot t \quad (13)$$

$$g = 4 \cdot \frac{V}{A} \quad (14)$$

$P(\theta)$ = función distribución de probabilidad angular de los electrones (Klein - Nishina).

III. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Se utilizaron chips y rods. Se realizaron irradiaciones a 1.5 cm de profundidad, y se varió la energía en superficie (ya que son importantes los efectos de acumulación de carga); de esta forma se obtiene un amplio rango de energías en profundidad, en zonas donde hay una importante variación del stopping power. Para las irradiaciones se utilizó un acelerador lineal Siemens Mevatron 6764 y una bomba de ^{60}Co , Theratron 80. Primeramente se determinó con cámara de placas paralelas PTW Markus en electrones, y cilíndrica PTW en ^{60}Co , el tiempo o unidades de monitor para tener a la profundidad de irradiación una dosis de 1 Gray.

Se colocaron 5 TLD para cada energía a la profundidad de irradiación, los cuales tenían precisión y exactitud menor igual al 1%. Se irradió, leyó y se corrigió cada lectura con el factor de sensibilidad, y se promediaron los valores. Las irradiaciones se hicieron con campos de $20 \times 20 \text{ cm}^2$, en isocentro y con los TLD alrededor del eje.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las tablas I y II se presentan los resultados obtenidos con los cálculos de las diversas teorías y los resultados experimentales; en la tabla el nombre en la parte superior indica la teoría utilizada para electrones y en la parte inferior la utilizada en ^{60}Co .

Para los cálculos teóricos era posible variar diferentes parámetros o fórmulas; por ejemplo β , E_{max} , rangos, etc. Los resultados obtenidos variando estos parámetros difieren en menos del 1%.

En las Figs. 1 y 2 se representan los diferentes valores teóricos y experimentales de $f_{^{60}\text{Co}}^{e\text{O}X}$ en función de la energía.

Para rods se puede ver que la teoría que mejor ajusta a los resultados experimentales es la de Holt normalizada a Fregene. Excepto la de Burlin normalizada a Burlin las demás teorías siguen las tendencias y, a pesar de no caer dentro de la franja de error no difieren de los valores medidos en más de 1.8%.

Para chips no hay una teoría que caiga dentro del intervalo de error pero exceptuando Burlin normalizada a Burlin, la mayor discrepancia es del 6.4%.

Es probable que los acuerdos teóricos experimentales sean mejores en los rods que en los chips, ya que estos últimos son en realidad cavidades más grandes y por lo tanto deforma más el espectro electrónico (conviene recordar que la mayor limitación a las teorías de cavidad utilizadas es el cambio en el tamaño de la cavidad).

En base a los resultados obtenidos se puede observar que no realizar correcciones por dependencia energética introduce diferencias de hasta un 15%. Con teorías relativamente simples se puede conocer la dependencia energética con un error entre 1% y 2% según el detector y teoría utilizados, esto mostraría que se trata de un efecto cavidad y no de una dependencia intrínseca del detector.

El sistema permite calibrar los TLD en base ^{60}Co y extrapolar a las diferentes energías de electrones. La aplicación de este método es simple y se obtienen notables beneficios en la exactitud del sistema.

Además en mediciones in-vivo, donde el detector esté colocado dentro del paciente a una profundidad conocida, el único dato necesario para conocer la dosis es la energía en superficie.

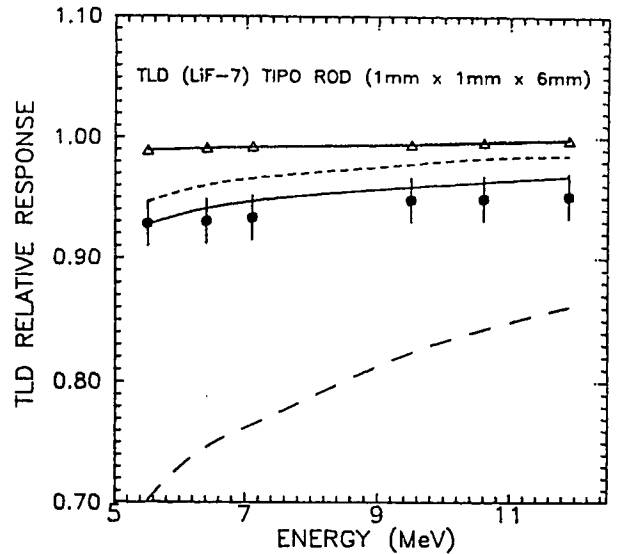


Fig. 1: Respuesta de los TLD (rods) irradiados en los electrones normalizados a ^{60}Co en función de la energía. Línea continua: Holt-Fregene, Línea de trazos largos: Burlin-Burlin, línea de trazos cortos: Holt-Attix, línea de puntos: Almond-Burlin, línea continua con triángulos: Almond-Attix, \bullet : experimento.

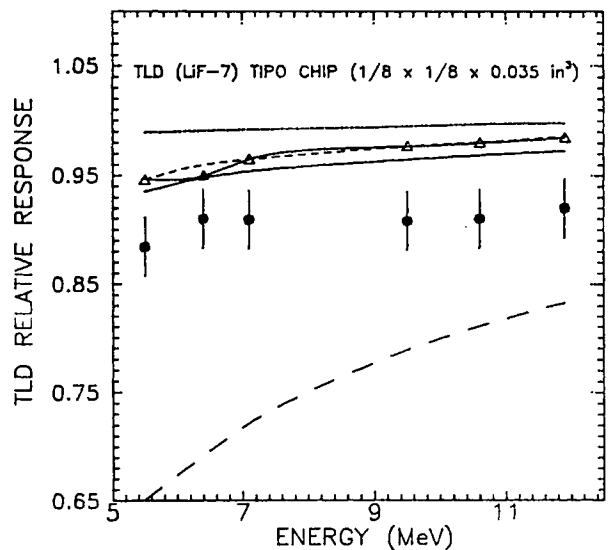


Fig. 2: Idem figura 1 pero para chips.

FACTORES $f_{^{60}\text{Co}}^e$ PARA CAVIDADES

INTERMEDIAS

TABLA I
TLD (LiF) TIPO ROD (1 x 1 x 6 mm³)

ENERGY MeV	ALMOND	BURLIN	ALMOND	HOLT	HOLT	EXP.
	BURLIN	BURLIN	ATTIX	ATTIX	FREGENE	
5.0	0.989	0.701	0.989	0.946	0.927	0.928
5.9	0.991	0.740	0.991	0.960	0.941	0.930
6.6	0.992	0.765	0.992	0.966	0.947	0.933
9.0	0.995	0.824	0.994	0.978	0.959	0.948
10.1	0.997	0.843	0.996	0.983	0.963	0.949
11.4	0.999	0.861	0.998	0.985	0.968	0.951

Tabla 1: Datos teóricos y experimentales del factor f_{60Co}^e para rods.

TABLA II
TLD (LiF-7) TIPO CHIP (1/8 x 1/8 x 0.035 in³)

ENERGY MeV	ALMOND	BURLIN	ALMOND	HOLT	HOLT	EXP.
	BURLIN	BURLIN	ATTIX	ATTIX	FREGENE	
5.0	0.989	0.651	0.946	0.946	0.935	0.884
5.9	0.991	0.695	0.950	0.960	0.948	0.910
6.6	0.992	0.722	0.965	0.965	0.954	0.909
9.0	0.995	0.789	0.977	0.977	0.965	0.908
10.1	0.996	0.811	0.980	0.981	0.969	0.910
11.4	0.998	0.833	0.985	0.986	0.973	0.920

Tabla 2: Idem tabla 1 para chips.

REFERENCIAS

1. G.H. Olivera Trabajo especial de la Licenciatura en Física, UNR (1990).
2. P. Almond Phys. in Med. & Biol. **15** 2, 235 (1970).
3. O.A. Fregene Rad. Res. **65** 1, 20 (1976).
4. G. Holt Phys. in Med. & Biol. **20** 4, 559 (1975).
5. Horowitz Phys. in Med. & Biol. **27** 6, 867 (1982).
6. Horowitz Phys. in Med. & Biol. **28** 7, 829 (1983).
7. \. Onguleye Phys. in Med. & Biol. **27** 4, 573 (1982).