

# Cálculo de la absorbancia de dosis en atenuadores de plomo en un equipo de irradiación utilizando dosimetría Fricke y el método de Monte Carlo

Marco Linares <sup>a</sup> [mлинаres@ipen.gob.pe](mailto:mлинаres@ipen.gob.pe), Enrique Rojas <sup>b</sup>, Johnny Vargas <sup>a</sup>,  
Mónica Vivanco <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Aplicaciones, Laboratorio de Irradiación. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>b</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear. Radioprotección y Dosimetría. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

## Resumen

Muchas de las aplicaciones de la tecnología de irradiación utilizan dosis relativamente bajas (<1 kGy). El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) en agosto del año 2003 recibió como parte de un proyecto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) un equipo de Irradiación Tipo I, con una actividad nominal de 24 000 Ci y una tasa de dosis en aire de 19,203 kGy/h. Esta alta dosis hacía difícil trabajar a dosis menores a 1 kGy. En rangos menores a 100 Gy era casi imposible. Para solucionar estos inconvenientes fue necesario hacer uso de blindajes que permitan atenuar la alta tasa de dosis en el orden del 90%, 70% y 50%. La calibración de la atenuación se realizó mediante el sistema dosimétrico químico Fricke y, posteriormente, se realizaron pruebas con el método de simulación de Monte Carlo.

## 1. Introducción

El Gammacell 220 es una unidad de irradiación de Co-60 diseñado para operar en un área controlada. La unidad consta de una fuente radiactiva en forma anular, un blindaje de plomo alrededor de la fuente y un cilindro de acceso capaz de moverse libremente en forma vertical hacia arriba ó abajo a lo largo de la línea central vertical de la fuente. La unidad permite irradiar muestras hasta de 6" de diámetro (15.2 cm) y 8.12" (20.6 cm) de alto con absoluta seguridad para el personal que lo opera. En la Tabla 1 se presenta las principales especificaciones técnicas del equipo.

Este equipo es usado para la irradiación de alimentos secos ó vegetales deshidratados en polvo; especias y condimentos; colorantes orgánicos; hierbas aromáticas; productos frescos o congelados. Igualmente, para la esterilización de productos médicos, farmacéuticos y cosméticos.

Mediante este equipo se puede realizar los estudios de pruebas de verificación tecnológica, proceso mediante el cual se somete a un producto a un análisis dosimétrico y a la administración de diferentes dosis de irradiación con la finalidad de encontrar la dosis óptima que

permita obtener el objetivo requerido.

Para los estudios de irradiación de semillas, con fines de mejoramiento genético, así como estudios de alteraciones genéticas heredables en organismos superiores, fue necesario irradiarlas a dosis muy bajas, lo cual no se podía realizar en el equipo de irradiación Gammacell 220 Excel, debido a su alta tasa de radiación.

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas del irradiador Gammacell.

<i>ESPECIFICACIONES</i>	<i>PROPIEDADES</i>
Fuente de radiación	Co-60
Cámara de irradiación	Altura : 152 mm Diámetro: 206 mm
Volumen de la cámara de irradiación	3.7 litros
Actividad de la fuente al 15-08-2003	23 984 Ci (887.4 TBq)
Tasa de dosis absorbida en el centro de la cámara al 08-08-2003	19,203 kGy.h <sup>-1</sup>

El principal objetivo de estudio fue hallar experimentalmente la tasa de dosis en el centro de la cámara de irradiación con el uso de diferentes atenuadores (blindajes de plomo) que posibilitan diferentes porcentajes de reducción de la tasa de dosis. Asimismo, se realizó la prueba de simulación por el método de Monte Carlo (código MCNP5), para cada uno de los atenuadores.

## 2 Experimental

### 2.1 Atenuadores

Los atenuadores son accesorios de la cámara de irradiación, los cuales han sido fabricados por la MDS Nordion. El laboratorio cuenta con 03 atenuadores los cuales reducen la tasa de dosis en el isocentro de la cámara desde el 50%, 30% y 10% de lo normal (Figura.1).

El material de los atenuadores es de fundición de plomo (6% de antimonio), sus dimensiones externas son de una altura de 19,84 cm y diámetro externo de 15,08 cm y están fabricados en forma de fundas anulares divididas, los datos de los atenuadores se presentan en la tabla 2. Para facilitar el manejo, se cuenta con un sistema de apalancamiento, la cual se une a un segmento del atenuador que posee 02 orificios para su elevación. La Figura 2 muestra el detalle.

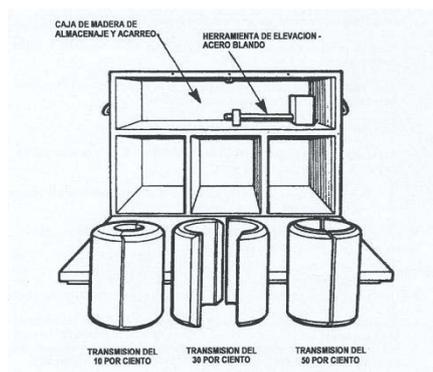


Figura 1. Conjunto de atenuadores.

Tabla 2. Especificaciones de los atenuadores.

% de transmisión	Diámetros		% Factor de Atenuación	Peso kg
	Pulg	cm		
10%	2.781	7.06	90%	31.75
30%	4.375	11.11	70%	19.1
50%	4.905	12.46	50%	16.3



Figura 2. Detalle de la posición del sistema de elevación de los atenuadores.

### 2.2 Dosimetría química en los atenuadores

Se preparó la solución dosimétrica Fricke bajo las especificaciones de la ASTM Standard E 1026-04, luego se colocó en ampulas de vidrio a un volumen constante de 4 ml y se procedió a irradiar en grupos de 03 dosímetros en el centro de la cámara a diferentes tiempos. La prueba se realizó el 01-02-2006 y se obtuvo una tasa de dosis práctica de 13.7778 kGy/h con una variación de 2.4012% respecto al valor dado por el fabricante. Los datos experimentales se presentan en la Tabla 3. Los cambios de oxidación de la solución Fricke de sulfato ferroso amoniacal ( $Fe^{+2}$  a  $Fe^{+3}$ ) se midieron en un Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2. La validez de la solución se realizó comparándola con el valor dado por el fabricante, la variación debe ser menor de 3% al valor teórico.

Tabla 3. Prueba Experimental de Fricke en el aire (IPEN 01-03-2006).

Tiempo (s)	Temp. Medición (°C)	Dosis promedio corregido (kGy)
15	29	0.0734
25	29	0.1101
35	29	0.1464
45	29	0.1853
55	29	0.2216

$$Y = a + bx$$

$$a = 0.01728337$$

$$b = 13.3778878$$

$$Sb = 0.085477172$$

$$Sa = 0.000896303$$

$$R2 = 0.99987754$$

$$\text{Tasa dosis Fricke} = 13,37788 \text{ Gy/h} \pm 0,2373$$

$$\text{Tasa dosis Nordion} = 12,40091 \text{ kGy/h}$$

$$\text{error (\%)} = 2.4012$$

La posición de los dosímetros Fricke para su irradiación en aire se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Posición de dosímetros en el centro de la cámara de irradiación.

Una vez comprobada la reproducibilidad del sistema dosimétrico, se procedió a la irradiación de la solución dosimétrica con cada uno de los atenuadores, la Tabla 4 presenta los datos experimentales obtenidos a un tiempo constante de 90 segundos de irradiación, la temperatura de medición fue de 30°C, los cambios de absorbancia del dosímetro Fricke fueron medidos en el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2 a una longitud de onda de 303 nm.

Las Figuras 4,5 y 6 presentan en forma gráfica la forma en que se colocaron los dosímetros con cada uno de los atenuadores.



**Figura 4.** Posición de Dosímetros con el atenuador de 50% transmisión.



**Figura 5.** Posición de Dosímetros con el atenuador de 30% transmisión.



**Figura 6.** Posición de Dosímetros con el atenuador de 10% transmisión.

Utilizando el método de Monte Carlo (MCNP5) es posible obtener una geometría completa del irradiador y de los atenuadores. El cálculo se realiza simulando un detector puntual mediante el tally F5 (código que representa un detector puntual) el cual calcula el flujo de partículas liberadas por fotones en el punto de interés (para nuestro caso es el centro de la celda de irradiación), luego mediante factores se lleva a la magnitud de Tasa de Dosis (kGy/h). Se realiza la simulación para cada uno de los filtros y se determina el porcentaje de transmisión y mediante un análisis por diferencia se calcula el porcentaje de atenuación.

### 3 Resultados y Discusión

De acuerdo a los datos obtenidos se puede observar que las variación obtenidas experimentalmente (Tabla 4), la menor variación se encuentra en el blindaje de atenuación del 50% y la mayor en la del 70% con 0.4 y 13.5% respectivamente.

**Tabla 4.** Valor de la tasa de dosis con diferentes atenuadores (02-03-2006).

Tasa de Dosis (kGy/h)	% Atenuación		
	50.00%	70.00%	90.00%
Valor teórico	6.68895	4.01337	1.33779
Valor Práctico	6.71541	4.64141	1.47489
Variación	0,4%	13.5%	9.3%

La variación de los resultados se mantiene al compararlos con el porcentaje de atenuación dados por el fabricante (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores de Cálculo Experimentales y de la simulación Montecarlo (02-03-2006).

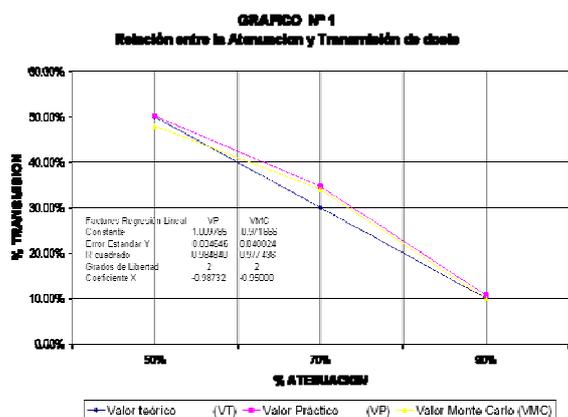
Valores de Cálculo	% Atenuación		
	50%	70%	90%
Valor teórico (VT)	50.00%	30.00%	10.00%
Valor Práctico (VP)	50.20%	34.69%	10.70%
Valor Monte Carlo (MCNP5)	52.00%	32.00%	10.00%
Valores Comparación	% VARIACIÓN		
Variación VT / VP	0.40%	15.65%	7.05%
Variación VT / VMC	4.00%	6.67%	0.00%

En la Tabla 6 se muestra los valores de simulación obtenidos por el método Montecarlo, en los cuales se tomo en cuenta el espesor de los blindajes así como el % de atenuación; la tasa de exposición (R/h) tiene una relación directa con la tasa de Dosis Absorbida por unidad de masa de cada uno de los atenuadores.

**Tabla 6.** Valores de Obtenidos por la Simulación Monte Carlo

Punto de medida	X (R/h)	k(KGy/h)	Radio	Radio	Atenuación
			externo	interno	
			(cm)	(cm)	MCNP (%)
9.815	1.51E+06	13.24	10.67	10.67	0
9.815	1.49E+05	1.30	7.54	3.53	90
9.815	5.10E+05	4.47	7.54	5.56	66
9.815	7.33E+05	6.42	7.54	6.23	52

Posteriormente, los datos obtenidos experimentalmente se graficaron y se pudo observar (Gráfico 1) que la linealidad que presentan ambos valores es muy similar. El valor de  $R^2$  y el valor de la pendiente presentan similitud.



## 4 Conclusiones

- La solución dosimétrica hallada tiene un valor porcentaje de desviación menor al 3%, con relación al proporcionado por el fabricante, lo cual es recomendado por las normas internacionales.
- Los valores obtenidos según la dosimetría Fricke y la simulación Monte Carlo tienen mucha aproximación con los atenuadores de 50% y 90% con una variación entre el 0.4% para el valor práctico y 4% para la simulación Monte Carlo.
- Los valores de mayor variación de la atenuación comparada con los valores del fabricante se dan con el atenuador del 70% con una variación promedio entre el práctico y Monte Carlo de 14.64%. Lo cual indica que existe mucha discrepancia para su uso y por lo tanto, su empleo debe estar sujeta a ajustes necesarios especificados en los datos prácticos.

• Se demostró que el uso de atenuadores es de gran importancia cuando se trabajan con dosis menores de 0.1 kGy.

• El uso de los atenuadores es de mucha importancia para estudios en los cuales se evalúa los cambios que puedan ocurrir con la tasa de dosis o "Dose Rate".

## 5 Referencias

- [1] Fricke H, Hart E J. Chemical Dosimetry. Radiation Dosimetry Vol. 2. 2nd ed. Academic Press; 1966. p 167-239.
- [2] ASTM Standard: E1026-04. Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System.
- [3] ASTM Standard: E1400-95<sup>a</sup> Standard Practice for Characterization and Performance of a High-Dose Radiation Dosimetry Calibration Laboratory.
- [4] Handbook of Gammacell 220.
- [5] International Dose Assurance Service. Certificate Number: 03.043: Radiation Processing Dosimetry. IAEA (Apr 10, 2003).
- [6] International Atomic Energy Agency. Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments. Safety Reports Series 16. Vienna: Austria; 2000.
- [7] MCNP. General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Ver 5.