

## DOSIMETRÍA DE FUENTES INDUSTRIALES

Héctor René Vega-Carrillo\*/\*\*, Ricardo Rodríguez Juárez\*/\*\*\*,

Teodoro Rivera Montalvo<sup>§</sup> Eduardo Manzanares-Acuña\*,

Rubén Hernández Villasana\*, Jaime Ramírez González\*

*Unidades Académicas de \*Estudios Nucleares e \*\*Ingeniería Eléctrica*

*Universidad Autónoma de Zacatecas*

*C. Ciprés 10, Fracc. La Peñuela, 98068 Zacatecas, Zac. México*

*fermineutron@yahoo.com*

*\*\*\*Mina Proaños, Peñoles SA de CV*

*§CICATA-IPN*

*Calz. Legaria 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, 11500 México, DF*

### Resumen

Los rayos gamma se producen durante la desintegración de los núcleos atómicos, su alta energía les permite atravesar materiales gruesos. La capacidad de atenuar un haz de fotones permite determinar la densidad, en línea, de materiales de interés industrial como la minería. Mediante dos dosímetros activos y un conjunto de TLDs (dosimetría pasiva) se determinaron las tasas de dosis de dos fuentes de Cs-137 utilizadas para determinar en línea la densidad de productos mineros. Con los dosímetros se midieron los niveles de dosis en diversos puntos dentro de la fosa que alberga las fuentes y mediante cálculos se determinaron las curvas de isodosis. En la fase de los cálculos se supuso que ambas fuentes eran puntuales y las curvas de isodosis se calcularon para dos situaciones: fuentes desnudas y en sus embalajes de Pb. Se realizó la dosimetría en torno a dos fuentes de <sup>137</sup>Cs. Los valores medidos permitieron desarrollar un procedimiento de cálculo para obtener las curvas de isodosis en la fosa donde están instaladas las fuentes.

**Palabras clave:** Cs-137, Isodosis, TLD

## 1. INTRODUCCIÓN

Diferentes tipos de fuentes selladas de radiación son ampliamente utilizadas en la industria, la medicina, la educación y la investigación. Una fuente sellada es una entidad pequeña que contiene en forma encapsulada material radiactivo de alta actividad específica. De acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) virtualmente todos los países tienen fuentes selladas cuya actividad varía desde los kilos a los miles de petabecquels. [1]

A nivel mundial existen diversas formas de definir una fuente sellada; así el OIEA la define como una fuente cuya estructura permite prevenir, bajo condiciones normales de uso, cualquier dispersión del material radiactivo al ambiente. [2] La Comisión de Comunidades Europeas la define como una fuente que contiene sustancias radiactivas firmemente incorporadas en materiales sólidos y efectivamente inactivos, o sellados en un contenedor inactivo o suficiente robusto para prevenir, bajo condiciones normales de uso, cualquier dispersión de las sustancias radiactivas. [3] La tercera definición es la de la Organización Internacional de Estándares (ISO) que establece que una fuente radiactiva sellada es aquella contenida en una cápsula, o que tiene una cubierta, lo suficientemente robusta para prevenir el contacto y la dispersión del material radiactivo bajo las condiciones de uso y operación para las cuales ha sido diseñada. [4]

Con muy pocas excepciones los materiales utilizados para fabricar la cápsula de una fuente sellada son el acero inoxidable, titanio, platino u otro metal inerte. Además la fuente lleva grabado un número de serie. Cuando la fuente es suficientemente grande, además del número de serie se incluye el radionúclido, la actividad y la fecha de fabricación.

El primer uso de las fuentes selladas se dio en 1901. Hasta los años 40 las únicas fuentes selladas que se usaban eran las de radio y su uso principal era en la medicina. [1]

En aplicaciones industriales, las fuentes selladas de mayor preocupación son aquellas que se utilizan en la radiografía industrial, ya que sus actividades varían de 0.1 hasta varios TBq [5]. A nivel mundial el  $^{192}\text{Ir}$  es el radioisótopo que se usa para este fin, aunque también se usan el  $^{60}\text{Co}$  y el  $^{137}\text{Cs}$ . Para algunas aplicaciones particulares también se usan el  $^{169}\text{Yb}$  y el  $^{170}\text{Tm}$ .

En la industria las fuentes de mayor uso son aquellas que permiten determinar niveles o grosores; a diferencia de aquellas que se usan en radiografía industrial, las que miden grosores, nivel o densidad se usan en instalaciones fijas. En la figura 1 se muestran dos arreglos donde una fuente radioactiva se utiliza para determinar la densidad del material que transporta en ductos.



**Figura 1.- Uso industrial de fuentes selladas.**

La ventaja de utilizar fuentes selladas para medir la densidad es que es un procedimiento donde no se entra en contacto, la medición se hace en forma continua, el material puede estar en estado líquido o bien estar disuelto en algún líquido. La instalación del sistema se hace en los ductos ya existentes y la medición es independiente del color, la temperatura y la presión del producto. Las principales desventajas de este método es los riesgos de seguridad y radiológicos.

En materia de seguridad la principal preocupación es el uso inadecuado de la fuente en su disposición final o bien el riesgo de que sea extraída con fines de terrorismo en la fabricación de “bombas sucias”.

En material de protección radiológica es la determinación de los niveles de dosis en puntos vecinos a la fuente.

En este trabajo se determino los niveles de dosis de dos fuentes de  $^{137}\text{Cs}$  que se utilizan para determinar la densidad del material producido en la industria minera. Los niveles de dosis se determinaron mediante cálculos que permitió trazar las curvas de isodosis. Estos cálculos se verificaron mediante medidas donde se utilizaron dosímetros termoluminiscentes (TLD100) y dos dosímetros activos, con cámara de ionización y detector Geiger-Mueller.

## 2.- MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la mina “Proaño” de la empresa Peñoles, SA de CV; la mina se localiza en la ciudad de Fresnillo, Zacatecas. Esta mina produce plata, plomo y zinc principalmente. Una vez procesado el mineral es enviado a depósitos, denominados tanques espesadores, cuyo producto es evaluado mediante el uso de fuente selladas. La evaluación del material consiste en medir, a flujo continuo, la densidad.

En una de las estaciones de evaluación, la correspondiente al tanque de espesado número 87, se utilizan dos fuentes selladas de  $^{137}\text{Cs}$ . Una de éstas, cuyo número de serie es GG-5574, el 6 de noviembre de 1990 tenía una actividad de 7.4 GBq, la otra, GV-3293, tenía una actividad de 1.85 GBq el 24 de abril de 1990. Cada fuente se encuentra en su embalaje de plomo que se encuentra fija en la parte inferior del un tubo de 20.32 cm de diámetro y de un espesor de 0.635 cm. En la parte superior del tubo, opuesto a la posición de las fuentes, cada fuente tiene un detector cuya alimentación y electrónica asociada se ubica en la zona de medición. En la figura 2 se muestra el medidor de densidad correspondiente a la fuente GG-5574. Mientras que en la figura 3 se muestran ambos sistemas; en esta figura se puede ver, a la izquierda de la imagen y pegado al muro la estación de la electrónica de medición.

Ambas fuentes se encuentran en una fosa donde eventualmente los trabajadores de la empresa deben bajar para hacer labores de mantenimiento preventivo y correctivo así como para tomar medidas en la estación de la electrónica de medición.

Los cálculos de los niveles de dosis se realizaron de la siguiente forma: Primero se supuso que ambas fuentes son puntuales y que se encuentran desnudas; para esto se utilizó el factor gamma  $\Gamma = 3300 \text{ mrem-cm}^2\text{-h}^{-1}\text{-mCi}^{-1}$  [6, 7] y el cálculo se realizó mediante la ecuación 1.



**Figura 2.- Sistema de medición de la densidad con la fuente GG-5574. La fuente se ubica en la parte inferior del ducto y en la parte superior tiene un detector de NaI(Tl)**



**Figura 3.- Vista superior de ambas fuentes selladas y la estación de medición.**

$$D(r) = \Gamma \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

Donde,  $D(r)$  es la dosis equivalente por los fotones del  $^{137}\text{Cs}$  a una distancia de  $r$  centímetros.  $A$  es la actividad de la fuente en mCi y  $r$  es la distancia entre la fuente y el punto de interés en centímetros.

El cálculo se repitió considerando la presencia de un blindaje de plomo con un coeficiente de atenuación de  $\mu \text{ cm}^{-1}$  y de 4 cm de espesor,  $x$ , que rodea las fuentes, para lo cual se utilizó la ecuación 2.

$$D(r) = \Gamma \frac{A \text{Exp}[-\mu x]}{r^2} \quad (2)$$

Mediante la colocación, en 10 puntos diferentes, en torno a ambas fuentes se colocaron dosímetros termoluminiscentes (TLD100) por espacio de aproximadamente de 8 horas. Este proceso se realizó por duplicado. En cada caso se aislaron un par de TLDs que se utilizaron para medir el nivel del fondo.

La dosis se midió con dos dosímetros activos, uno utilizando el dosímetro Berthold RO<sup>20</sup> a base de una cámara de ionización y el otro usando el monitor Inspector de S.E. Internacional, Inc. A base de un detector Geiger Mueller. Estos mismo instrumentos se utilizaron para determinar los niveles del fondo en puntos dentro de la empresa pero alejados de la fosa. En la figura 4 se muestra el proceso de medición con los dosímetros activos.



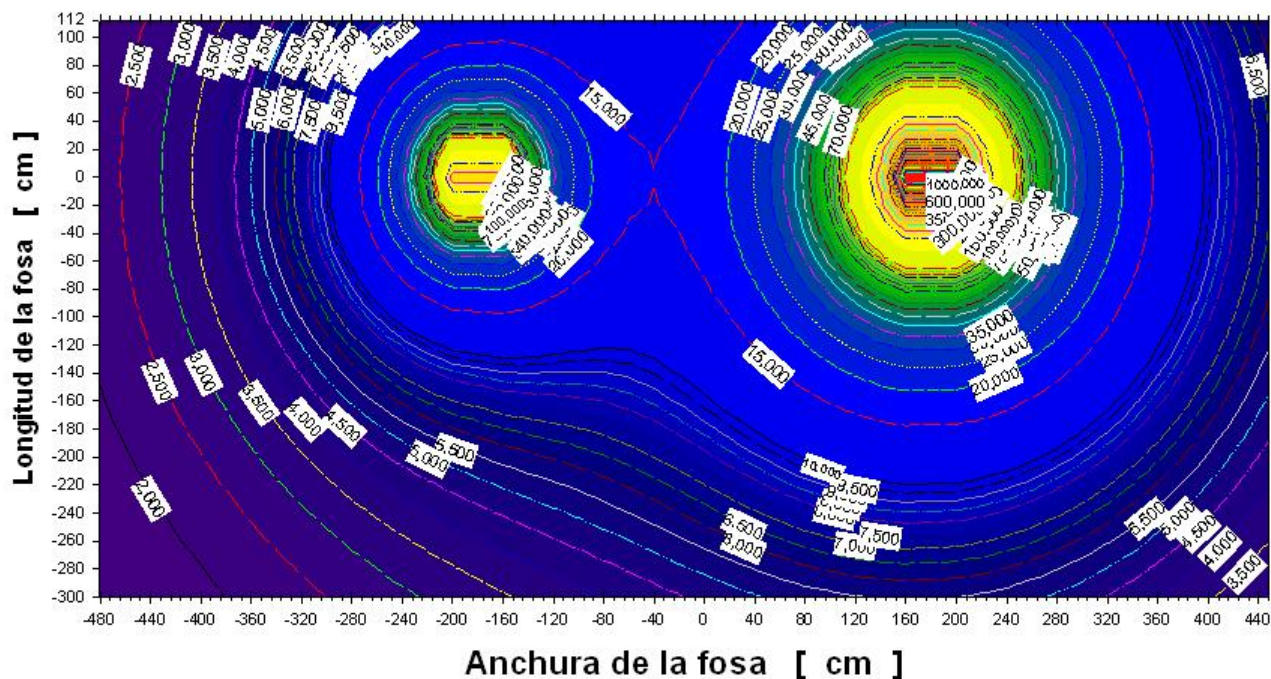
**Figura 4.- Medición de la dosis con uno de los dosímetros activos.**



El día de las mediciones las actividades de las fuentes eran aproximadamente 5.07 y 1.26 GBq. Las curvas de isodosis se compararon con los valores de dosis medidos con los dosímetros pasivos y los activos, en los puntos ubicados en el plano del centro de las fuentes ubicado aproximadamente a 1 metro sobre el nivel del suelo.

### 3. RESULTADOS

Las curvas de isodosis calculadas bajo el supuesto de que las fuentes son puntuales y están desnudas se muestran en la figura 5.



**Figura 5.- Tasa de dosis, en mrem/h, de las fuentes desnudas dentro de la fosa.**

De esta figura se puede observar que la menor tasa de dosis es de 2 rem/h que se ubica en la esquina inferior de la izquierda de la fosa. También se puede observar que la mayor tasa de dosis la genera la fuente de mayor actividad. En esta condición ambas fuentes producen hasta 15 rem/h en la zona donde se encuentra la estación de electrónica y medición.

Agregándole el blindaje de plomo del embalaje de ambas fuentes las dosis se reducen considerablemente, como se muestra en la figura 6. Estos valores coinciden, dentro de un 10%, con los valores de las dosis obtenidos en la fase de mediciones con los dosímetros pasivos y activos. En esta figura se puede observar que la menor tasa de dosis en la fosa es de 0.04 mrem/h, que se observa en la esquina inferior de la izquierda de la fosa. En la zona de la estación de electrónica y medición la tasa de dosis es aproximadamente 0.15 mrem/h. Esta última tasa superan los niveles máximos permisibles para personal no ocupacionalmente expuesto (0.1

mrem/h). En puntos cercanos a las fuentes, 20 cm, las tasas alcanzan son 1 y 10 mrem/h. En ocasiones los trabajadores deben realizar actividades a estas distancias.

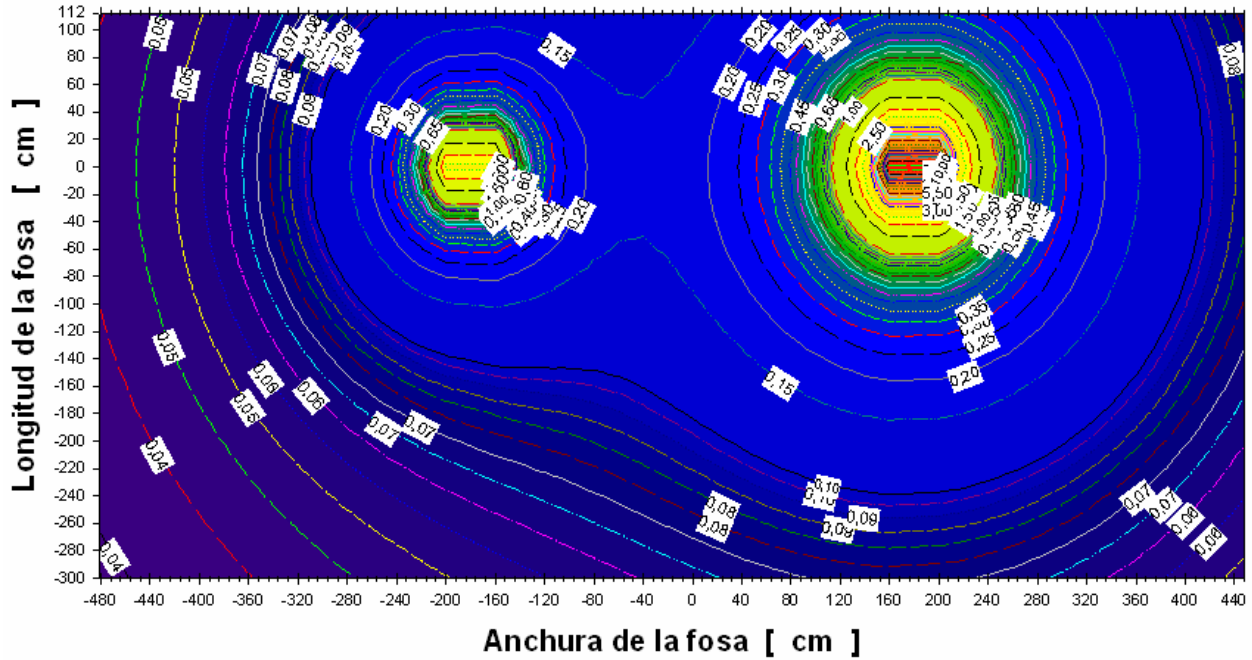


Figura 6.- Tasa de dosis, en mrem/h, de las fuentes en su embalaje y dentro de la fosa.

Con el fin de abatir los niveles de dosis se diseñó un blindaje extra de plomo, cuyo resultado se muestra en la figura 7.

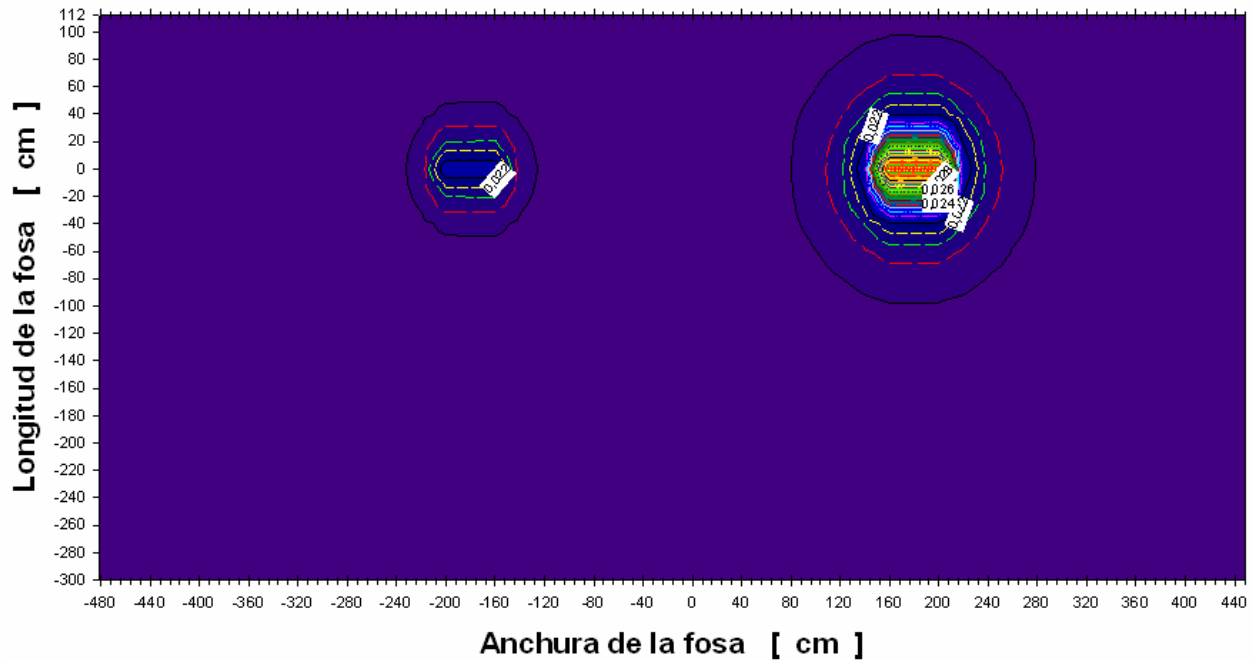


Figura 7.- Tasa de dosis, en mrem/h, de las fuentes en su embalaje y con el blindaje extra.

El blindaje resultante de plomo tiene un espesor de 6 cm. Este blindaje extra se coloca en torno al embalaje de las fuentes, lo que permite que los niveles de dosis se reduzcan a niveles comparables a los del fondo (0.03 mrem/h), en puntos en contacto con el blindaje.

#### 4. CONCLUSIONES

A nivel mundial se utilizan fuentes selladas en diferentes aplicaciones, los usos industriales de éstas son muy diversos y se encuentran ampliamente difundidas. El uso de fuentes radioactivas selladas implica medidas de seguridad para evitar un uso inadecuado y las de protección radiológica que implica evitar la exposición del personal que labora en torno a las fuentes.

En este trabajo se han calculado las curvas de isodosis de dos fuentes de  $^{137}\text{Cs}$  que se utilizan en una industria minera para determinar la densidad de su producto. El cálculo se corroboró con los valores de dosis medida en diversos puntos en torno a las fuentes. Estas mediciones se realizaron con dosímetros pasivos y activos.

Las curvas de isodosis reproducen, dentro de un 10%, los valores de las dosis medidos con dosímetros termoluminiscentes y con los dos dosímetros activos.

Las curvas de isodosis se calcularon suponiendo que las fuentes eran puntuales y se encontraban desnudas, el cálculo se repitió con las fuentes dentro de su embalaje, de 4 cm de espesor de plomo. Debido a que los trabajadores de la empresa deben realizar labores de mantenimiento en puntos próximos a las fuentes y donde se superan los límites máximos permisibles. Se diseñó un blindaje extra de plomo de 6 cm de espesor que permite reducir los niveles de dosis, en cualquier punto dentro de la fosa, a los niveles del fondo.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto SYNAPSIS parcialmente apoyado por el CONACYT bajo el contrato SEP-2005-C01-46893.

#### REFERENCIAS

1. IAEA. (1991). *Nature and magnitude of the problem of spent radiation sources*. International Atomic Energy Agency Technical Report Series 620, **IAEA-TECDOC-620**: 1-79.
2. IAEA. (1985). *Regulations for the safe transport of radioactive material*. International Atomic Energy Agency Safety Series, **6**, (1985 Edition). Vienna.
3. IAEA. (1983). *Conditioning of low and intermediate level radioactive wastes*. International Atomic Energy Agency Technical Report Series 222, **IAEA-TECDOC-222**. Vienna.



4. IAEA. (1985). *Management of radioactive wastes produced by users of radioactive materials*. International Atomic Energy Agency Safety Series, **70**. Vienna.
5. IAEA. (1985). *Handling, conditioning and disposal of spent sealed sources*. International Atomic Energy Agency Technical Report Series 548, **IAEA-TECDOC-548**. Vienna.
6. Vega-Carrillo, H.R. (1994). *Cálculo de los factores gamma para radioisótopos usados en medicina nuclear*, Revista Española de Medicina Nuclear, **13**: 43-47.
7. Ninkovic, M.M.; Raicevic, J.J. and Adrovic, F. (2005). *Air KERMA rate constants for gamma emitters used most often in practice*, Radiation Protection Dosimetry **115**: 247-250.