

EVALUACIÓN RADIOLÓGICA DE BULTOS TIPO A CON Y-90 EN CUBA

Amador, Z. H. ¹, Gual, M. R. ²

¹ Centro de Isótopos (CENTIS),

² Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN/CNEN)

RESUMEN

En el Centro de Isótopos (CENTIS) de la República de Cuba se requiere evaluar 3 diseños de contenedores para futuras operaciones de transporte de Y-90. El objetivo del presente trabajo es determinar los valores de actividad de Y-90 posibles a transportar en los 3 contenedores diseñados dentro de los respectivos bultos tipo A estandarizados en el CENTIS y sus características radiológicas para el transporte. Como se trata de un emisor beta puro se necesita emplear el método de Monte Carlo. Cada contenedor posee en su interior otro de acrílico, cuyas dimensiones no varían. Sin embargo, los contenedores exteriores de plomo cambian sus espesores y otras características geométricas. Teniendo en cuenta la actividad máxima en cada caso, es necesario evaluar también la tasa de dosis máxima y el índice de transporte de cada uno. Se emplea para todos los cálculos el código MCNPX versión 2.6.0 y se aplica la extrapolación lineal entre la actividad y la tasa de dosis para los valores de interés. Se demuestra que los diseños evaluados cumplen con las regulaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica para la transportación segura de materiales radiactivos.

1. INTRODUCCIÓN

En el Centro de Isótopos (CENTIS) de la República de Cuba, se requiere evaluar la actividad máxima de ⁹⁰Y para la transportación en bultos tipo A de cada uno de los 3 blindajes de plomo y acrílico previamente diseñados (pequeño, mediano y grande), empleando las cajas de cartón ondulado de FERRIS S.A. El contenedor de acrílico es el mismo para los 3 contenedores de Pb. Además se utiliza un bulbo 2R y se evalúan 5 presentaciones de volúmenes, a saber, 0,37, 0,45, 0,5, 0,55 y 1 mL.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura No. 1 se muestra el bulto radiactivo tipo A que se evalúa para el transporte seguro de la disolución de ⁹⁰Y, el cual se compone de una caja de cartón corrugado [1], separadores también de cartón corrugado para la caja [2-3], la lata con tapa de fácil apertura [4] (segunda barrera de contención), separadores de poliestireno expandido para la lata [5], el contenedor de Pb, el de acrílico y el bulbo 2R (primera barrera de contención).

¹ E-mail: zabalbona@centis.edu.cu



Figura 1. Imagen de los componentes de uno de los bultos radiactivos tipo A diseñado para el transporte de la disolución de ^{90}Y .

Las tasas de dosis en las superficies exteriores de cada bulto se calculan empleando el método de Monte Carlo (código MNCPIX versión 2.6.0) [6], a partir de la siguiente ecuación.

$$D \left[\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right] = 882000 * A[\text{Ci}] * y \left[\frac{\text{partículas}}{\text{decaimiento}} \right] * f_{\text{tally}} \left[\frac{\text{partículas}}{\text{cm}^2} \right] \quad (1)$$

Para determinar la actividad máxima (A_{max}) para cada volumen de solución y cada blindaje en un bulto, se emplea la tasa de dosis límite en las superficies externas de un bulto tipo A ($D_2=2 \text{ mSv/h}$) [7 y 8] y se aplica la extrapolación lineal, pues es conocido que existe una relación lineal entre la actividad y la tasa de dosis para una fuente de radiación ionizante, tal que:

$$A_{\text{max}}[\text{Ci}] = \left(\frac{D_2}{D_1} \right) * A_1[\text{Ci}], \quad (2)$$

donde D_1 es la tasa de dosis calculada con el código MCNPX v. 2.6.0.

Cada valor de actividad máxima que se obtenga debe ser comparado con el de A_2 para el ^{90}Y , que es igual a $8,1 \text{ Ci}$ ($2,99\text{E} +11 \text{ Bq}$) [7 y 8].

A partir de la actividad máxima obtenida se calcula la tasa de dosis máxima en el bulto y el índice de transporte (IT). La dosis absorbida se deriva a partir de la tally para la fluencia de fotones F5 (detector puntual) y la tarjeta multiplicadora de la tally FM. Se considera una fuente volumétrica e isotrópica de electrones monoenergética (energía media igual a $0,935 \text{ MeV}$), homogéneamente distribuida en el interior del vial.

En la Tabla 1 se resumen los parámetros de entrada para los cálculos con el MCNPX y los 3 contenedores de Pb de los bultos tipo A del CENTIS.

Tabla 1. Datos de la fuente y los 3 contenedores de Pb y el de acrílico diseñados para los bultos con ^{90}Y .

	Espesor del material (cm)	Altura (cm)	Espesor superior (cm)	Radio (cm)	Espesor inferior (cm)
Fuente	-	0,24;0,29;0,32;0,36;0,65	-	0,8	-
Vidrio	0,1	3,5	0,33	0,8	0,1
Acrílico	0,735	5,4	0,7	1,55	0,7
Pb	0,55;1,35;1,7	8;9,7;10	0,8;1,7;1,5	2,15;2,95;3,3	0,6;1,7;2,1
Tasa de dosis máxima en estos bultos (D_2)=2 mSvh^{-1}					

La densidad del vidrio es 2,23 g/cm³, del acrílico es 1,19 g/cm³ y del Pb es 11,35 g/cm³ [9]. La parte superior de la tapa del vial se tomó como de caucho natural con densidad igual a 0.96 g/cm³

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 2 se muestran las simulaciones de la fuente y el contenedor de Pb pequeño con el de acrílico en su interior para las corridas con el código MCNPX en los planos XZ y XY [10].

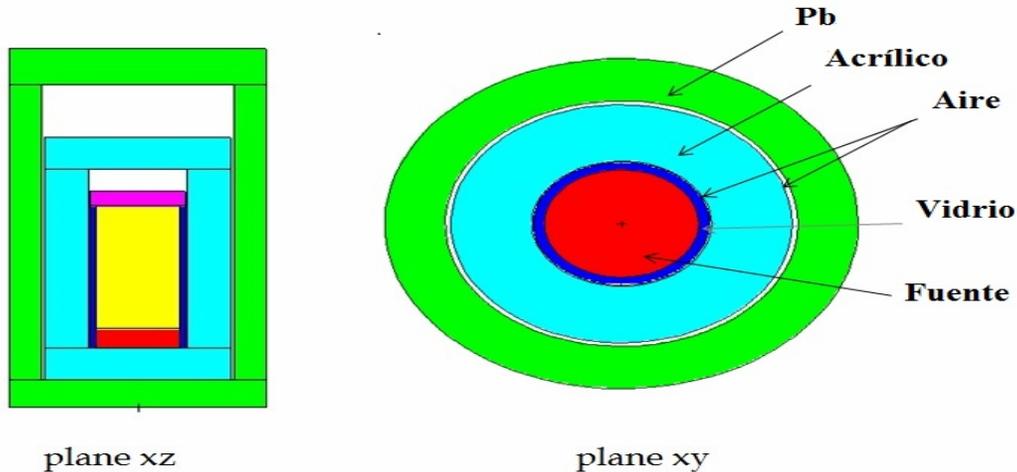


Figure 2. Vistas lateral y superior del contenedor pequeño con la fuente de ^{90}Y simulados para el los cálculos con el código MCNPX.

Las salidas del código MCNPX se pueden ver en la Tabla 2 y son multiplicadas por la actividad de la fuente y la tasa de dosis en Sv por hora.

Tabla 2. Distribución de la fluencia de partículas (partículas cm⁻²) en el contenedor pequeño calculada empleando el código MCNPX con tally f5 para las 5 alturas de la solución evaluadas. Los valores se acompañan del error relativo.

	Altura de la fuente (cm)				
	0,24	0,29	0,32	0,36	0,65
Tapa	1,4355(0,0352)	1,4202(0,0348)	1,4392(0,0292)	1,4257(0,0294)	1,4898(0,0385)
Lateral	8,1314(0,0328)	8,0020(0,0224)	7,9889(0,0174)	7,9784(0,0159)	8,1441(0,0125)
Fondo	4,9885(0,0517)	4,9508(0,0494)	4,7165(0,0389)	4,6034(0,0371)	3,9979(0,0222)
A 1m	0,0083(0,0159)	0,0083(0,0158)	0,0083(0,0139)	0,0083(0,0199)	0,0081(0,0077)

En la Tabla 2 los resultados de la tally f5 se muestran para el contenedor pequeño. Se corren 20×10^6 historias en una PC cerca de 20 h, la cual dispone de 8 GB de memoria RAM y microprocesador Intel® Core™ i7 y frecuencia de la unidad central (CPU) igual a 3.40 GHz. Los errores relativos están por debajo de lo recomendado en la mayoría de los casos (< 5%).

La fluencia de electrones en contacto con la superficie exterior del bulto en los laterales es superior a las del resto de las caras del mismo. En la Tabla 3 se muestran las tasas de dosis obtenidas.

Tabla 3. Tasas de dosis (mSv h⁻¹) a través de las superficies del bulto, calculadas empleando el código MCNPX con tally f5 para las 5 alturas de la fuente evaluadas.

	Altura de la fuente (cm)				
	0,24	0,29	0,32	0,36	0,65
Tapa	0,03244	0,03210	0,03253	0,03222	0,03367
Lateral	0,18377	0,18085	0,18055	0,18031	0,18406
Fondo	0,11274	0,11189	0,10659	0,10404	0,09035
A 1m	0,00019	0,00019	0,00019	0,00019	0,00018

Como se conoce, la distribución de la dosis es dependiente del blindaje y la distancia a la fuente. Como puede verse en la Tabla 3 las tasas de dosis mayores se tienen en la superficie lateral del bulto y son inferiores en su tapa, en este caso debido a que es superior la distancia a la fuente.

En el fondo de los bultos el blindaje es superior por lo que las tasas de dosis son inferiores a las obtenidas en las superficies laterales, aunque las distancias a las fuentes sean menores. Nótese además que los valores máximos de tasa de dosis se obtienen para la presentación de 1mL (0,65 cm de altura de la fuente). Esto último implica que para determinar los valores de actividad máxima posibles a transportar en nuestros bultos se escoja este valor de altura de la fuente, por ser el limitante. Esta consideración significa que para los volúmenes inferiores a 1 mL se pueden transportar menores valores de actividad a los que se obtengan para el mismo. Igual comportamiento se obtiene para los contenedores mediano y grande.

Para cada tipo de contenedor se presentan las tasas de dosis (en mSv/h), la categoría y el IT en la Tabla 4 para una actividad igual a 22,6 mCi de ⁹⁰Y.

Tabla 4. Tasas de dosis (mSv h^{-1}) calculadas con diferentes tallies para los 3 tipos de contenedores evaluados para los bultos tipo A con 1 mL de solución (0.65 cm de altura de la fuente).

D (mSv/h)	Pequeño	Mediano	Grande
Tapa	0,03367	0,006400	0,01201
Lateral	0,18406	0,02974	0,01635
Fondo	0,09035	0,01012	0,00730
A 1m	0,00018	0,00004	0,00003
IT	0	0	0
Categoría	II-amarilla	II-amarilla	II-amarilla

Como puede verse, a medida que se incrementa el blindaje la tasa de dosis disminuye, lo cual era de esperar.

Para 1mL de ^{90}Y (0,65 cm de altura de la fuente) se muestran en la Tabla 5 los valores de las actividades máximas obtenidas para los 3 tipos de contenedores de Pb. La actividad máxima en cada caso se calcula según la ecuación 2.

Tabla 5. Actividad máxima en Ci para una altura de la fuente igual a 0.65 cm (1 mL) y los 3 tipos de blindajes para los bultos tipo A. Entre paréntesis se representan los valores de actividad en Bq.

$A_{\text{máx}}$ (Bq)	Pequeño	Mediano	Grande
	0,25 (9,25E+09)	1,52 (5,62E+10)	2,76 (1,02E+11)

Se comprueba que las actividades máximas obtenidas son inferiores al valor de A2 para el ^{90}Y (8,1 Ci; $2,99\text{E}+11$ Bq) para todos los bultos analizados.

Para los anteriores valores de actividad máxima en los bultos y considerando la relación lineal entre la actividad y la tasa de dosis, se calculan las características radiológicas de estos bultos (tasas de dosis en contacto y a 1 m y categoría e IT) y se presentan en la Tabla 6. Esto demuestra el cumplimiento de la condición limitante para un bulto tipo A (tasa de dosis en contacto con sus superficies exteriores menor o igual a 2 mSv h^{-1}).

Tabla 6. Tasas de dosis en mSv/h, categoría e IT para cada bulto para las actividades máximas posibles a transportar y 1 mL de disolución.

A _{máx} (Bq)	Pequeño	Mediano	Grande
		9,25E+09	5,62E+10
Tapa	0,36586	0,43053	1,46915
Lateral	2,00000	2,00000	2,00000
Fondo	0,98179	0,68060	0,89320
A 1 m	0,00199115	0,00269027	0,00366372
IT	0,2	0,3	0,4
Categoría	III- amarilla	III- amarilla	III- amarilla

4. CONCLUSIONES

Se obtienen las actividades máximas para 5 volúmenes de solución de ⁹⁰Y (en 3 tipos de contenedores de Pb y uno de acrílico en su interior) y las características radiológicas de los bultos tipo A diseñados con estos elementos.

Teniendo en cuenta estos resultados, se concluye que es posible utilizar los blindajes y bultos diseñados para el ⁹⁰Y en el CENTIS, cumpliendo con los requisitos técnicos expresados en las regulaciones aplicables.

5. REFERENCIAS

1. Centro de Isótopos, Especificación de Calidad ESP 6301-Caja de cartón ondulado, La Habana (2013).
2. Centro de Isótopos, Especificación de Calidad ESP 6302-Separador superior e inferior de cartón ondulado para caja (2013).
3. Centro de Isótopos, Especificación de Calidad ESP 6303-Separador lateral de cartón ondulado para caja, La Habana (2013).
4. Centro de Isótopos, Especificación de Calidad ESP 6479- Envase con tapa fácil apertura, La Habana (2013).
5. Centro de Isótopos, Especificación de Calidad ESP 6070- Separador de poliestireno expandido para contenedores pequeños, La Habana (2014).
6. John S. Hendricks, et. al. LA-UR-08-2216, MCNPX 2.6.0 Extensions, Los Alamos National Laboratory, April 11 (2008).
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Safety Standards Specific Safety Requirements, No. SSR-6, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition (2013).
8. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, Resolución No. 121, Ciudad de La Habana (2000).
9. International Commission on Radiation Units and Measurements, Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement, ICRU Report 44 (1988).
10. Moritz, An Interactive Geometry Editor/Viewer for MCNP & MCNPX, version 1.12, A Product of White Rock Science (2012).