

CARACTERIZACIÓN RADIOLOGICA DE LOS CONTENEDORES QUE CONTIENEN DESECHOS CONTAMINADOS DE CESIO-137, FRUTO DEL INCIDENTE DESCUBIERTO EN EL 1996 EN EL INSTITUTO DE ONCOLOGÍA “DR. HERIBERTO PIETER” DE SANTO DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA

Martínez A., Portorreal A., Morilla L.

Comisión Nacional de Energía
Dirección Nuclear

Departamento de Seguridad Física de Fuentes Radiactivas y Gestión de Residuos Radiactivos

RESUMEN

Utilizando la Metodología desarrollada por ENRESA para la caracterización de bultos con contenidos radiactivos, mediante determinaciones indirectas por modelos teóricos de correlación de Actividad-Tasa de dosis para isótopos de fácil medición, se determinaron las actividades que se encuentran almacenadas en cada uno de los contenedores a los fines de establecer importantes parámetros sobre éstos, como son: contribución al término fuente del Almacén Centralizado; establecer aquellos contenedores que aplican para ser desclasificados de acuerdo a los valores recomendados por las Normas Básicas Internacionales de Seguridad del OIEA; los tiempos necesarios para que los contenedores sean clasificados y su posterior evaluación individual, lo que redundará en una adecuada gestión de los residuos almacenados y/o su posterior desclasificación. Esto generará un procedimiento de trabajo para realizar la gestión de los contenedores optimizando las dosis recibidas por el personal y la reducción de volúmenes en el almacén.

La importancia de este trabajo nos servirá para conocer las dosis a recibir por los trabajadores expuestos que operan el almacén centralizado y por consiguiente, garantizar un nivel aceptable de protección a la salud humana, al medioambiente y que repercusión tendrá a la salud humana de las futuras generaciones. El objetivo es presentar el análisis de la caracterización realizada a cada bidón, detallando el trabajo realizado a cada uno y presentar los resultados y las conclusiones a que hemos arribado, así como las futuras vías de gestión que de estas conclusiones se derivan.

1. INTRODUCCION

Durante el mes de junio de 1996, fue detectada una contaminación radiactiva en un instrumental para aplicaciones de braquiterapia y al hacer una revisión del área se determinó que esta estaba localizada principalmente en el local de fuentes y en las áreas destinadas a aplicaciones de braquiterapia.

Los trabajos de descontaminación y gestión de residuos fueron realizados con el apoyo del Organismo Internacional de energía Atómica (OIEA), que utilizó los servicios de expertos del Centro de Radioprotección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) de Cuba.

Se determinó que la contaminación era por la rotura de una fuente de Cs-137, pues al comprobar las actividades de cada una se encontró que había una que había perdido su actividad.

Entre los objetos con contaminación no removible se detectaron parte del piso de las áreas en cuestión, varios instrumentos médicos, delantales plomados, camas, mesas de noche, bandejas de plomo y partes de muebles. Todos fueron evacuados como desechos radiactivos y colocados en 17 contenedores de 220 litros. (1)

Como parte de los procesos de gestión de residuos radiactivos, la caracterización radiológica es de suma importancia, pues nos permite lograr tomar decisiones en relación con los requisitos de acondicionamiento, transporte, almacenamiento y posterior desclasificación.

2. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

La metodología de caracterización que hemos asumido es la propuesta y utilizada por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) de España, la cual usa entre sus metodologías la de determinaciones indirectas por modelos teóricos de correlación de Actividad- Tasa de dosis para isótopos de fácil medida.

Este tipo de estudio consiste en dividir el bulto en porciones más pequeñas y realizar una integración sobre la geometría del bulto de cada porción considerada, teniendo el inconveniente de que solo es capaz de cuantificar la radiación directa mas no la dispersa, aunque esta carencia se subsana adicionando al resultado de la integración de un factor de acumulación, que se encuentra tabulado para la energía estudiada en función de la naturaleza y geometría de los materiales empleados, obtenido de resoluciones genéricas de la ecuación de transporte de fotones.

Cada porción en la que se ha dividido el bulto es considerada una fuente puntual isotrópica, en la que la intensidad decrece con el cuadrado de la distancia. Además, hay que considerar la atenuación producida por la materia situada entre la porción de la fuente y el punto en donde se está midiendo.

La expresión que proporciona la intensidad causada por cada una de las fuentes puntuales sobre el punto de dosis situado a una distancia h_1+h_2 es la siguiente:

$$\Phi_{Pi} = \frac{BS_{0i} \exp(-\mu_{fuente} h_1 - \mu_{aire} h_2)}{4\pi(h_1 h_2)^2} \quad (1)$$

Donde:

Soi: Intensidad de la porción i de la fuente, (fotones/ s ó Bq por unidad de volumen, superficie o longitud, en función de si el tipo de fuente es volumétrica, superficial o lineal, respectivamente).

PhiPi: Intensidad o tasa de dosis en el punto de estudio P debido a la porción i de la fuente (mSv/h por cada MBq/m³ m², m, de la fuente, en función de si el tipo de fuente es volumétrica, superficial o lineal).

B: Factor de acumulación, que tiene en cuenta la radiación que le llega al punto de dosis P de forma no directa.

μ_{fuente} : Coeficiente de atenuación de la fuente (m⁻¹).

μ_{aire} : Coeficiente de atenuación del aire (m⁻¹).

h1: Distancia en la fuente que tiene que atravesar el rayo procedente de la porción i (m).

h2: Distancia en el aire que tiene que atravesar el rayo procedente de la porción i (m).

Si existiesen más de dos materiales entre la fuente y el punto de dosis, habría que añadir el término correspondiente a su atenuación en la exponencial de la expresión (1); que ha de ser sumada sobre toda la geometría, esto es, se ha de realizar la integral sobre la totalidad de la fuente.

$$\Phi_p = \iiint \frac{BS_0 \exp(-\mu_i d_i)}{4\pi(d+h)^2} d\Omega \quad (2)$$

Esta operación se ha de realizar para cada una de las energías que la fuente es capaz de emitir, ya que los valores de los coeficientes de atenuación y de los factores de acumulación dependen de la misma. Además

este tipo de integrales no se pueden resolver analíticamente y se ha de recurrir al empleo de métodos numéricos más o menos veloces, en función del número de porciones en las que se haya dividido a la fuente.

La aplicación de esta metodología bulto a bulto puede llegar a resultar muy lenta. Para hacer más ágil el proceso indicado se calcula, de forma previa, y para cada tipo de fuente considerada, la dosis causada por un MBq de cada uno de los isótopos Gamma habitualmente presentes, incrementando la densidad de la fuente en pequeñas cantidades desde un valor inicial hasta un valor final establecido.

A los valores obtenidos se les denomina Factores de Paso actividad – tasa de dosis (di). Finalmente la actividad del bulto se determina según la siguiente expresión:

$$A = \frac{D}{\sum_{i=1}^n d_i f_i} \quad (3)$$

A: Actividad del bulto (MBq).

D: Tasa de dosis del bulto (mSv/h) a contacto.

n: Número de isótopos presentes en el bulto.

fi: fracción, en tanto por uno, del isótopo i.

di: Factor de Paso actividad-tasa de dosis para el isótopo i de la fuente considerada (mSv/h por MBq/Bulto).

Para los casos que nos ocupan, las curvas para cada rango de densidades son como se describen:

Para contenedores con distribución heterogénea:

Isotopo	Rango de Densidades	Ecuación Polinómica
Cs-137	0.25-0.8	$0.908014 - 0.13366 * \rho - (0.545455 * \rho^2 + (0.317016) * \rho^3)$
Cs-137	0.85-1.2	$1.44984 - 1.327 * \rho + 0.351595 * \rho^2 - 0.0112218 * \rho^3$
Cs-137	1.25-3.2	$0.700492 - 0.438819 * \rho + 0.124678 * \rho^2 - 0.0132866 * \rho^3$

Los factores de paso para las densidades son los siguientes:

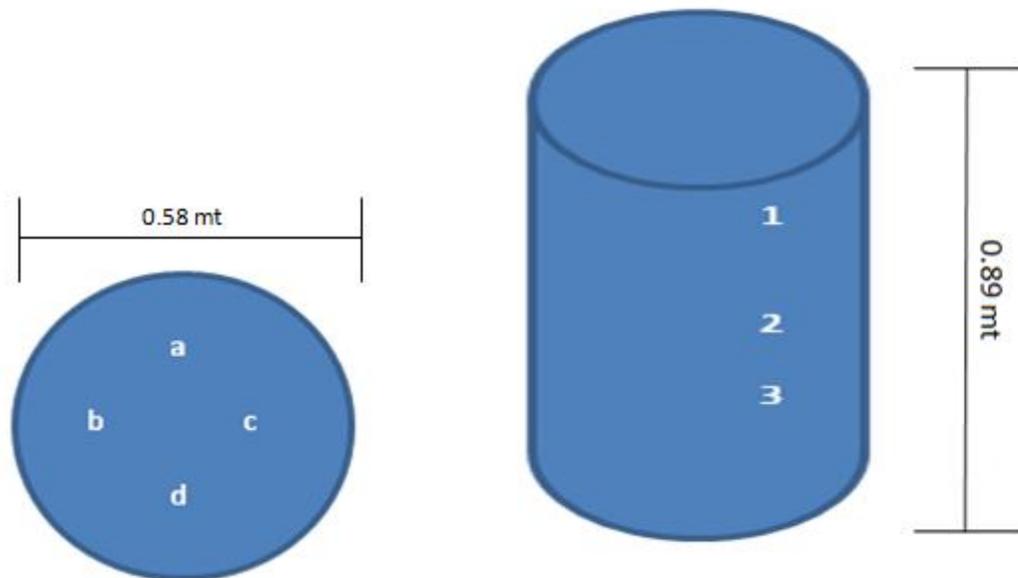
Densidad(g/cm3)	(µGy/h porMBq)	Densidad (g/cm3)	Cs-137 (µGy/h por MBq/Bulto)	Densidad (g/cm3)	Cs-137 µGy/h por MBq/Bulto)	Densidad (g/cm3)	Cs-137 (µGy/h por MBq/Bulto)
0,75	4.53E+02	1,55	2.70E+02	2,35	1.86E+02	3,15	1.40E+02
0,80	4.37E+02	1,60	2.63E+02	2,40	1.82E+02	3,20	1.38E+02
0,85	4.21E+02	1,65	2.56E+02	2,45	1.79E+02		
0,90	4.06E+02	1,70	2.49E+02	2,50	1.75E+02		
0,95	3.92E+02	1,75	2.43E+02	2,55	1.72E+02		
1,00	3.79E+02	1,80	2.37E+02	2,60	1.69E+02		
1,05	3.66E+02	1,85	2.31E+02	2,65	1.66E+02		
1,10	3.54E+02	1,90	2.26E+02	2,70	1.63E+02		
1,15	3.43E+02	1,95	2.21E+02	2,75	1.60E+02		
1,20	3.32E+02	2,00	2.16E+02	2,80	1.57E+02		
1,25	3.22E+02	2,05	2.11E+02	2,85	1.55E+02		
1,30	3.12E+02	2,10	2.06E+02	2,90	1.52E+02		
1,35	3.03E+02	2,15	2.02E+02	2,95	1.50E+02		
1,40	2.94E+02	2,20	1.97E+02	3,00	1.47E+02		
1,45	2.86E+02	2,25	1.93E+02	3,05	1.45E+02		
1,50	2.78E+02	2,30	1.89E+02	3,10	1.43E+02		

Para contenedores con distribución homogénea esta es la ecuación que define el factor de paso en función de la densidad:

Isotopo	Ecuación Polinómica
Cs-137	$7.95x10^{-1} - 5.97x10^{-1} * \rho + 2.09x10^{-1} * \rho^2 - 2.7x10^{-2} * \rho^3 - 9.2x10^{-4} * \rho^4$

3. MEDICION DE LOS BULTOS

Los contenedores están contruidos en acero con tapas plásticas y dimensiones como se puede observar en la figura, se presentaron las mediciones en 12 puntos de cada contenedor, según la siguiente distribución:



Cuadro 1. Distribución de dosis en contenedores

fecha de medición	Contenedor	Tipo de Desecho	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3	d1	d2	d3	Tasa Media (uSv/hr)	Tasa Máxima (uSv/hr)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/L)
18-sep	1	Homogéneo	0	0.02	0	0	0	0	0	0.07	0	0.02	0	0	0.01	0.07	424.00	2.037
18-sep	2	Homogéneo	0.01	0	0.02	0.01	0.03	0.01	0	0	0.02	0	0.02	0.02	0.01	0.03	264.00	1.268
08-oct	3	Homogéneo	0	0	0.06	0.07	0	0.09	0.04	0.06	0	0	0.08	0	0.03	0.09	212.00	1.018
08-oct	4	Homogéneo	0.05	0.16	0	0.04	0.23	0	0	0	0	0.1	0.07	0	0.05	0.23	203.00	0.975
18-sep	5	Heterogéneo	0.04	0.2	0.04	0.04	0.31	0.1	0.08	0.13	0	0.08	0.43	0.17	0.14	0.43	320.00	1.537
25-sep	6	Homogéneo	0.17	0.36	0.4	0.09	0.29	0.34	0.18	0.28	0.22	0.27	0.4	0.59	0.30	0.59	76.00	0.365
08-oct	7	Homogéneo	0.27	0.39	0.37	0.24	0.64	0.34	0.36	0.57	0.75	0.27	0.44	0.38	0.42	0.75	227.00	1.090
08-oct	8	Heterogéneo	0.07	0.16	0.1	0	0.09	0.19	0.11	0.06	0.05	0	0.08	0.07	0.08	0.19	251.00	1.206
08-oct	9	Homogéneo	0.09	0.15	0.08	0.14	0.17	0.16	1.15	0.05	0.06	0.03	0.11	0.06	0.19	1.15	225.00	1.081
25-sep	10	Homogéneo	0.08	0.17	0.13	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.02	0.03	0.17	271.00	1.302
08-oct	11	Homogéneo	0	0.02	0.05	0	0.01	0	0	0.04	0.08	0	0.02	0.13	0.03	0.13	268.00	1.287
25-sep	12	Homogéneo	0.1	0.14	0.16	0	0.06	0.13	0.16	0.22	0.18	0.103	0.09	0.17	0.13	0.22	52.00	0.250
08-oct	13	Homogéneo	0.13	0.11	0.1	0.09	0.11	0.02	0.25	1.23	0.03	0.19	0.04	0	0.19	1.23	274.00	1.316
25-sep	14	Homogéneo	1.53	2.38	6.05	1.01	3.86	5.12	0.88	1.64	2.91	1.87	3.87	8.01	3.26	8.01	79.00	0.379
25-sep	15	Homogéneo	2.07	2.67	1.82	1.04	1.46	3.01	1.27	3.08	3.97	1.33	3.22	3.59	2.38	3.97	205.00	0.985
18-sep	16	Heterogéneo	0.87	1.85	3.65	0.89	1.54	1.69	0.57	1.96	2.15	0.97	3.34	3.27	1.90	3.65	178.00	0.855
08-oct	17	Heterogéneo	0.02	0.01	0.2	0.13	0.07	0	0.02	0.05	0.04	0.13	0.02	0	0.06	0.20	238.00	1.143

Para estas tasas de dosis, tenemos estas tasas medias, máximas, pesos, densidades y factores de paso:

Cuadro 2. Tasas, pesos, densidades y factores de paso							
Contenedor	Tipo de Desecho	Observaciones	Tasa Media (uSv/hr)	Tasa Maxima (uSv/hr)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/L)	Factor
1	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.01	0.07	424.00	2.037	0.2021
2	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.01	0.03	264.00	1.268	0.3166
3	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.03	0.09	212.00	1.018	0.3744
4	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.05	0.23	203.00	0.975	0.3857
5	Heterogéneo	2 contenedores contaminados, parte de cabezal de teleterapia	0.14	0.43	320.00	1.537	0.2723
6	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.30	0.59	76.00	0.365	0.6036
7	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.42	0.75	227.00	1.090	0.3563
8	Heterogéneo	Materiales Metálicos	0.08	0.19	251.00	1.206	0.3412
9	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.19	1.15	225.00	1.081	0.3585
10	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.03	0.17	271.00	1.302	0.3098
11	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.03	0.13	268.00	1.287	0.3128
12	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.13	0.22	52.00	0.250	0.6584
13	Homogéneo	Material Compactable	0.19	1.23	274.00	1.316	0.3070
14	Homogéneo	Escombros no Compactables	3.26	8.01	79.00	0.379	0.5973
15	Homogéneo	Material Compactables	2.38	3.97	205.00	0.985	0.3832
16	Heterogéneo	Contenedores Contaminados	1.90	3.65	178.00	0.855	0.5615
17	Heterogéneo	Maderas de Inmobiliario	0.06	0.20	238.00	1.143	0.3757

Para esos valores tendremos las siguientes actividades (máximas, promedio y específicas), además de la estimación de tiempo para desclasificar dichos desechos:

Cuadro 3. Actividades y estimación de tiempo para desclasificación.								
fecha de medición	Contenedor	Tipo de Desecho	Observaciones	Actividad (tasa máxima MBq/bulto)	Actividad (tasa promedio MBq/bulto)	Actividad Especifica Máxima (Bq/gr)	Actividad Especifica Promedio (Bq/gr)	Estimación de tiempo antes de disposición (años)
18-sep	1	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.3464	0.0454	0.8170	0.1070	0
18-sep	2	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.0948	0.0368	0.3589	0.1396	21
08-oct	3	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.24040	0.08904	1.1340	0.4200	63
08-oct	4	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.59624	0.14042	2.9372	0.6917	104
18-sep	5	Heterogéneo	2 contenedores contaminados, parte de cabezal de teleterapia	1.5790	0.4957	4.9345	1.5492	234
25-sep	6	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.9775	0.4956	12.8615	6.5216	979
08-oct	7	Homogéneo	Escombros no Compactables	2.1049	1.1740	9.2725	5.1720	774
08-oct	8	Heterogéneo	Materiales Metálicos	0.55691	0.23937	2.2188	0.9537	324
08-oct	9	Homogéneo	Escombros no Compactables	3.2077	0.5230	14.2566	2.3244	347
25-sep	10	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.5487	0.1076	2.0246	0.3970	59
08-oct	11	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.41565	0.09326	1.5509	0.3480	52
25-sep	12	Homogéneo	Escombros no Compactables	0.3341	0.1915	6.4260	3.6828	551
08-oct	13	Homogéneo	Material Compactable	4.0064	0.6243	14.6218	2.2785	342
25-sep	14	Homogéneo	Escombros no Compactables	13.4110	5.4596	169.7600	69.1085	10355
25-sep	15	Homogéneo	Material Compactables	10.3612	6.2050	50.5422	30.2681	4531
18-sep	16	Heterogéneo	Contenedores Contaminados	6.5002	3.3762	36.5179	18.9676	2828
08-oct	17	Heterogéneo	Maderas de Inmobiliario	0.53234	0.15305	2.2367	0.6431	79.6

Contenedor colocado en la zona de medición, dentro del Almacén. Esta zona posee blindajes de Hormigón Armado de 0.40 metros de espesor y densidad de 2.4 Kg/cm^3 . La tasa de dosis en este lugar es de $0.03 \mu\text{Sv/h}$.



Operador procediendo a tomar las distintas mediciones de un contenedor



Operadores trabajando en las mediciones y en los cálculos de las tasas de dosis y actividades.



4. CONCLUSIONES

Expuesto todo esto, podemos concluir que:

- Hay un contenedor (No. 1) que ya puede ser descargado y dispensado del control regulatorio, pues la tasa de dosis en su conjunto es similar a la del medioambiente de la zona y la actividad específica cumple con la exención de materiales radiactivos de los valores dados en los Principios Fundamentales de Seguridad del OIEA (SF-1).
- La contribución al término fuente del Almacén: En la actualidad la sumatoria de las actividades consideradas son del orden de 45.8134 MBq para las máximas actividades y de 19.4499 MBq para la suma de las actividades promedio por bulto.
- Hay tres contenedores (No.5, No.8 y No.16) que contienen materiales metálicos, que se considera se deben gestionar tratando de hacer minimización de los mismos, debido a que en su mayoría son partes de un cabezal de teleterapia y contenedores de agujas contaminados.
- El contenedor (No. 17) contiene madera de muebles contaminados. Se considera que puede gestionarse minimizando mediante proceso térmico y solo gestionar sus cenizas.
- Existen tres contenedores (No. 14, No. 15 y No. 16), que su tiempo para desclasificación están por el orden de los miles de años. Esto es debido a que la densidad de los mismos es baja, lo que influye a que los factores de paso sean mayores.

5. EQUIPOS Y SOFTWARES UTILIZADOS

- Detector GM compensado, Marca Camberra, Modelo RADIAGEM 2000, Serie 76687, con Certificado de Calibración del CIEMAT de fecha 25 de marzo de 2014.
- Balanza Sentronik BS-1500
- Computadora Laptop HP Pavilion
- Detectores personales Marca Thermo, modelo PRD, con calibración de octubre de 2014.
- Rad-Pro calculator, Ver. 3.2

6. REFERENCIAS

1. L. Jova y M. Prendes, Mision DOM/9/004/05 01, del 10 al 24 de Nov. de 1996.
2. Manual de Protección Radiológica del Almacén de Residuos Radiactivos de Sierra Prieta
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Fundamental Safety Principles, Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006).
4. Enresa, “Metodologías de caracterización radiológica de bultos de residuos radiactivos desarrollado por ENRESA”, publicación técnica 04/2005.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handling, Conditioning and Storage of Spent Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1145, IAEA, Vienna (2000).
6. Política y Estrategia para la Gestión de los Desechos Radiactivos en la República Dominicana. 2013
7. Alvarez-Morales: Report Advisory Mission to Improve the Operational and Safety Aspects of the National Radioactive Waste Storage Facility. Jun. 2013
8. FO DNU 071. Registro de dosis para el personal del Almacén de Residuos Radiactivos de Sierra Prieta.