

Factores de escalamiento aplicados a los desechos radiactivos en la CNLV

Zarate Norma y Armenta Ma. Del Socorro
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Central Nucleoeléctrica Laguna Verde, CFE
Carretera México-Toluca S/N La Marquesa Mpio. Ocoyoacac Edo de México
Carretera Cardel Nautla Km 42.5 Mpio. Alto Lucero, Veracruz
norma.zarate@inin.gob.mx, socorro.armenta@cfe.gob.mx

Resumen

Para realizar una adecuada gestión del inventario radiológico de los bultos de desechos radiactivos almacenados en los emplazamientos y valorar correctamente su impacto ambiental es esencial realizar una estimación tan exacta como sea posible de la actividad de cada uno de los radionúclidos de vida media larga contenidos en cada bulto (radionúclidos de difícil medición RDM), lo cual resulta un serio inconveniente ya que de momento no es posible en México realizar su medida utilizando técnicas no destructivas pues estos radionúclidos son emisores beta puros y alfa, por lo que su análisis está precedido por una separación química generalmente complicada y que requiere procesos largos y costosos.

Es por ello, que se trata de establecer unas funciones que correlacionen la actividad de radionúclidos que se puedan cuantificar fácilmente por métodos no destructivos (radionúclidos llaves) con la actividad de aquellos radionúclidos para los que es necesario realizar análisis destructivos para su cuantificación (RDM).

1. INTRODUCCIÓN

En México se cuenta con una Central Nuclear la Central Laguna Verde (CNLV) con dos unidades en operación (reactores BWR).

La Norma Mexicana NOM-004-NUCL-2013 "Clasificación de desechos radiactivos" indica que para poder establecer criterios y requisitos, con el fin de efectuar de manera segura las operaciones de manejo, tratamiento, acondicionamiento, transporte y almacenamiento temporal y definitivo de los mismos es necesario conocer la concentración de actividad, la actividad, la vida media y el origen de los radionúclidos existentes en los desechos, entre otros requerimientos biológicos y químicos [1].

Cuando en los desechos radiactivos se tienen diferentes radionúclidos alfa, beta y gamma, la determinación de los emisores alfa y beta puros requieren de separaciones radioquímicas especiales.

Actualmente en México solo se determinan las concentraciones de actividad de emisores beta-gamma y gamma puros, los análisis radioquímicos para la determinación de las concentraciones de actividad de los emisores alfa y betas puros se realizan en el extranjero.

Debido al alto costo y gestión que implica la exportación de material radiactivo para realizar estos análisis, se considera enviar muestras de solo algunos lotes de desechos radiactivos sólidos húmedos (resinas y lodos).

2.- ANÁLISIS CONFIRMATORIO

Se define como análisis confirmatorio al estudio que se le realiza a una muestra de un lote de desechos sólidos húmedos para determinar la concentración de actividad de los emisores alfa y betas puros en un laboratorio externo [2].

Cada lote de desecho sólidos húmedos generados es muestreado para su análisis químico y radiológico gamma; una muestra de cada lote es guardada para su posterior análisis de selección.

Se selecciona un número determinado de muestras representativas para ser enviadas a su análisis confirmatorio dependiendo en forma general de la distribución de radionúclidos en los lotes, es decir, si no es razonablemente consistente con el resto de los lotes generados, o si la operación de la unidad o las condiciones de la planta son modificadas (falla de combustible o modificaciones a algún sistema) de forma que en los análisis por espectrometría gamma realizados a los desechos en la CNLV, todos estos parámetros son evaluados para seleccionar los lotes que serán enviados a un análisis confirmatorio.

A partir de los resultados obtenidos de estos análisis confirmatorios se obtienen los Factores de Correlación o también llamados Factores de Escalamiento con los cuales se determina la concentración de los radionúclidos críticos o de difícil medición contenidos en el resto de los lotes de desechos generados para su clasificación radiológica.

2.- MUESTRAS ENVIADAS AL ANÁLISIS CONFIRMATORIO

La CNLV ha enviado 4 remesas de muestras para su análisis confirmatorio, la primer remesa fue en el año 1993 en el cual se seleccionaron 13 muestras de la unidad 1, ya que la unidad 2 inicio su operación en 1994, en la segunda remesa fue en el año 2006, se enviaron 10 muestras de cada unidad, la tercer remesa fue en el año 2011 y se enviaron 10 muestras de cada unidad y el último envío se realizó en el año 2014, en el cual se enviaron 10 muestras de cada unidad, en total se han enviado 44 muestras de unidad 1 y 30 muestras de unidad 2.

La selección de los lotes para enviar las muestras está basada específicamente en las fechas de fallas de combustibles, en el comportamiento del análisis gamma, modificaciones a algún sistema, tipo de desecho, periodo de generación, de tal forma que sean muestras representativas de los lotes desechos sólidos húmedos que se desean clasificar.

3.- FACTORES DE CORRELACIÓN O FACTORES DE ESCALAMIENTO

Se define al factor de correlación o escalamiento como la media geométrica de las relaciones de actividad entre los radionúclidos críticos o RDM con respecto de los de fácil medida conocidos como radionúclidos llave.

La correlación entre las concentraciones de radionúclidos críticos y radionúclidos llave no se puede aplicar sin antes comprobar varios aspectos, relacionados con las características tanto de isótopos de fácil medida como de difícil medida.

Las características básicas para el radionúclido llave (de fácil medida) son:

- Emisores Gamma con una energía de emisión de fácil detección para cualquier espectrómetro gamma.
- Periodo de semidesintegración relativamente alto. Casi todos los emisores Gamma tienen tiempos de vida media del orden o inferior al año, por lo que no serían prácticos utilizarlos como radionúclidos llave, ya que su detección sería complicada al paso de unos años. Prácticamente, los únicos radionúclidos emisores Gamma que cumplen este requisito son el Co-60 y Cs-137.

Características esperadas, a priori, del radionúclido de difícil medida:

- Mecanismos de producción similar al del radionúclido llave, es decir si son productos de activación o productos de fisión.
- Solubilidad similar al del isótopo llave.
- Mecanismos de transporte al desecho final similar del radionúclido llave.

Es decir solo se aplicará el Factor de correlación o de escalamiento cuando exista correlación entre los dos radionúclidos a estudiar.

La verificación de la existencia o no de correlación se realiza en escala logarítmica, donde los datos parecen seguir una distribución Normal, en la figura 1 se muestra la correlación entre el logaritmo de la actividad de Co-60 y el logaritmo de la actividad de Ni-63, dos productos de activación.

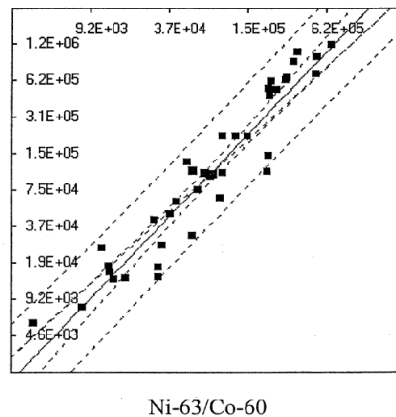


Figura 1. Correlación entre el logaritmo de actividad de Co-60 y Ni-63.

La existencia de correlación entre un radionúclido “llave” y uno considerado “crítico” implica que ambos se comportan de forma comparable desde su origen hasta la corriente del desecho.

Los radionúclidos Co-60 y Cs-137 se utilizan en diferentes estudios de correlación como radionúclidos “llave”.

4. METODOS PARA LA OBTENCIÓN DE FACTORES DE ESCALAMIENTO.

Existen diversos métodos para obtener factores de escalamiento que faciliten la determinación de concentración de radionúclidos difíciles de medir por espectrometría gamma, en todo caso cualquier método requiere el contar con la mayor cantidad posible de datos para que los análisis puedan ser más representativos.

Con base a la información disponible en la literatura [3] [4] y [5] se ha observado que las distribuciones de los radionúclidos difíciles de medir (C-14, Tc-99, I-129, etc.) se ajustan mejor a distribuciones log-normal, que a distribuciones normales, debido a las variaciones considerables en los datos, por tal motivo los métodos recomendados por el laboratorio Scientech descritos a continuación usan el logaritmo de la concentración de cada radionúclido.

1. Los métodos o reglas recomendadas por el Laboratorio Schientec [3] para la determinación de los factores de escala son:

a) Uso del valor log-normal pesado

Se debe utilizar este valor cuando se tienen al menos tres valores del factor de escalamiento que no han sido identificados como valores exteriores (outliers), y cuando el valor más reciente no es un exterior, ni difiere de la media por un factor mayor a cinco (que es un valor arbitrario, pero que es menor al factor de 10 contenido en la BTP), es decir:

$$/(\ln R_{nuevo} - \ln \bar{R})/ \leq \ln 5$$

b) Uso del valor más reciente.

El valor más reciente debe emplearse cuando es real y razonable, pero el número de valores no rechazados no es suficiente para obtener un valor promedio, también cuando el valor más reciente no cumple con el criterio de la regla 1, o cuando se demuestra la existencia de cambios significativos en la operación de la unidad.

c) Uso de un valor "genérico".

Se obtienen los factores de escalamiento genéricos de la CNLV con base a los análisis de las trece muestras, a partir de la metodología descrita en el NUREG/CR-4101

El uso de factores genéricos se justifica cuando no existen datos de muestras del tipo de desechos en la unidad o de tipos de desechos similares. Los casos donde se justifica este método corresponde a las plantas nuevas donde existen fugas de combustible muy pequeñas y existe poca o nada de actividad detectable de núclidos tales como Sr-90, Tc-99, I-129, Cs-137 o elementos transuránicos (TRU).

Las ecuaciones que se emplean para la obtención de factores de escalamiento genéricos son las mismas que se usan para efectuar ajustes ponderados a rectas por el método de mínimos

cuadrados. Los análisis de cientos de valores de concentración de Co-60, Cs-137 o Ce-144 con los valores de radionúclidos DTM, han mostrado que los logaritmos base 10 se ajustan muy bien a rectas, como se muestra en la referencia [4]. Los factores de peso (w) empleados en las ecuaciones sirven para considerar la incertidumbre asociada a cada medición de concentración

d) Uso de un valor por debajo del LMD.

Se puede utilizar un valor medido del límite mínimo de detección cuando el LMD es válido, (es decir que contiene valores reales en el denominador, solamente la concentración del núclido escalado está por debajo del LMD), si es un valor razonable, y cuando no existen valores reales del factor de escalamiento para reportar.

2. Método recomendado por el OIEA

El OIEA realizó un estudio [6] relacionado con el número mínimo de muestras que deben analizarse para obtener valores representativos de FE para corrientes de desechos, en ese estudio se indica que a partir de aproximadamente 20 a 40 datos es posible obtener factores de escalamiento representativos y que al menos que no existiera algún cambio significativo en los parámetros de operación de la unidad o falla de combustible severa, se pueden usar esos FE obtenidos.

Con los resultados del segundo envío de muestras se tienen 24 factores de escalamiento de la unidad 1 y 10 factores de la unidad 2 para todas las corrientes de desechos de cada unidad, por lo que no es posible cumplir con la recomendación del OIEA.

Estudios realizados en los Estados Unidos en las etapas iniciales durante la implementación de las metodologías de factores de escalamiento demostraron, mediante el uso de curvas de probabilidad que los datos de muestreo radioquímico tenían un comportamiento de distribución log-normal. Mediante el uso de las bases de datos se determinaron factores de escalamiento como la media geométrica de los cocientes. La determinación del cociente puede incluir datos de varias corrientes y diferentes intervalos de tiempo. La media geométrica del cociente se reporta junto con la dispersión geométrica y la mediana para ayudar a los usuarios en la evaluación de resultados.

La media y la dispersión geométricas se determinan mediante la transformación de los datos a logaritmos y mediante el cálculo del promedio y la varianza. La varianza es la raíz cuadrada de la desviación estándar. La media geométrica es el antilogaritmo del promedio de los logaritmos y la dispersión es el antilogaritmo de la varianza [7].

El Factor de escalamiento se define según la siguiente expresión:

$$FE = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{i=n} \frac{y_i}{x_i}}$$

Donde:

FE: Factor de correlación o Factor de Escalamiento

y_i : Actividad del radionúclido de difícil medida en la muestra i

x_i : Actividad del radionúclido de fácil medida en la muestra i

Dispersión Geométrica = $\text{antilog}(\sqrt{s^2})$

$$s^2 = \frac{\left(\sum \log\left(\frac{y_i}{x_i}\right) \right)^2 - \sum \log\left(\frac{y_i}{x_i}\right)^2}{n-1}$$

Donde:

y_i = Concentración del radionúclido escalado

x_i = Concentración del radionúclido clave

n = Número de muestras

s^2 = Desviación estándar

s = Varianza

En la Tabla 1 se muestran los grupos de factores obtenidos a partir de las 13 muestras, en la Tabla 2 se muestran los valores de dispersión y en la Tabla 3 se muestra el método empleado para su obtención.

Tabla 1 Factores de escalamiento primer grupo

FACTORES DE ESCALAMIENTO	FE 01/01 55-65 % Co-60	FE 01/02 65-75 % Co-60	FE 01/03 75-80 % Co-60	FE 01/04 80-98 Co-60%	FE 01/05 GEN CNLV
H-3/CO-60	8.86E-03	1.11E-04	1.44E-02	< 2.60E-04	2.70E-04
C-14/CO-60	2.21E-03	3.31E-03	6.67E-04	1.99E-03	6.78E-04
FE-55/CO-60	6.38E+00	4.24E-01	2.30E+00	4.71E+00	6.23E-01
NI-59/CO-60	< 8.10E-02	< 1.60E-02	< 2.10E-01	< 4.10E-02	9.31E-03
NI-63/CO-60	1.44E-02	1.06E-02	1.33E-02	1.76E-02	5.96E-06
SR-90/CO-60	6.00E-04	7.96E-05	< 5.10E-04	2.59E-05	2.95E-01
NB-94/CO-60	< 1.40E-04	< 1.30E-04	< 2.80E-04	< 4.80E-05	
TC-99/CO-60	< 5.20E-05	1.65E-05	< 2.10E-04	< 5.10E-05	
I-129/CO-60	< 1.50E-04	< 2.50E-04	< 2.40E-04	< 1.40E-04	
CS-137/CO-60	< 2.50E-03	< 2.20E-03	< 2.40E-03	< 1.70E-03	
PU-238/CO-60	< 2.90E-05	< 1.30E-05	< 6.70E-05	< 1.10E-05	
PU-239/CO-60	< 1.40E-05	< 7.10E-06	< 3.50E-05	< 5.40E-06	
PU-241/CO-60	< 8.70E-03	< 5.60E-03	< 2.10E-02	< 3.60E-03	
AM-241/CO-60	< 5.90E-06	< 2.80E-06	< 1.90E-05	< 2.30E-06	
CM-242/CO-60	< 6.40E-05	< 5.90E-06	< 3.00E-04	< 7.60E-06	
CM-244/CO-60	< 3.20E-06	< 2.70E-06	< 1.50E-05	1.87E-07	

Tabla 2 Valores de dispersión de los factores del primer grupo

Isotopo	Dispersión				
	FE 01/01	FE 01/02	FE 01/03	FE 01/04	FE 01/05
H-3/Co-60	1.2	2.13	1.43		8.80E-03
C-14/Co-60	4.2	10.89	4.49	5.38	1.40E-03
Fe-55/Co-60	1.3	2.59	1.79	1.48	5.19E-02
Ni-59/Co-60					
Ni-63/Co-60	1.8	1.45	1.27	1.94	3.49E-03
Sr-90/Co-60	33.5	3.89	1.65	1.75	2.89E-03
Nb-94/Co-60					
Tc-99/Co-60					
I-129/Co-60					
Cs-137/Co-60					
Pu-238/Co-60					
Pu-239/Co-60					
Pu-241/Co-60					
Am-241/Co-60					
Cm-242/Co-60					
Cm-243/Co-60					

Tabla 3. Método utilizado para la obtención de factores del primer grupo

Isotopo	FE 01/01	FE 01/02	FE 01/03	FE 01/04	FE 01/05
H-3/Co-60	Uso del valor más reciente (única)	Uso del valor más reciente (mayor)	Uso del valor más reciente (mayor)	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	NUREG/CR-4101, April 1985
C-14/Co-60	Uso del valor más reciente (única)	Uso del valor más reciente (mayor)	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal	
Fe-55/Co-60	Uso del valor más reciente (única)	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal	
Ni-59/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso del valor más reciente (única)	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Ni-63/Co-60	Uso del valor más reciente (única)	Uso del valor más reciente (mayor)	Uso del valor más reciente (mayor)	Promedio Log-Normal	
Sr-90/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Promedio Log-Normal	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso del valor más reciente (única)	
Nb-94/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Tc-99/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso del valor más reciente (mayor)	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
I-129/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Cs-137/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Pu-238/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Pu-239/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Pu-241/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Am-241/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Cm-242/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	
Cm-244/Co-60	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso de un valor por debajo del LMD (única).	Uso del valor más reciente (única)	

En la Tabla 4 se muestran los grupos de factores obtenidos a partir del segundo análisis confirmatorio, que sumados con el primer análisis dan un total de 24 análisis confirmatorios, en la Tabla 5 se muestran los valores de dispersión y en la Tabla 6 se muestra el método empleado y en la Tabla 7 se muestran los últimos grupos de factores obtenidos a partir de los 34 análisis.

Tabla 4. Factores de escalamiento segundo grupo para unidad 1, 2 y genéricos de la CNLV

FACTORES DE ESCALAMIENTO	FE 01/06 U1	FE 02/07 U2	FE 01/08 GEN U1	FE 02/09 GEN U2	FE 03/10 GEN CNLV	FE 03/11 CNLV-EPRI
H-3/CO-60	1.34E-04	1.07E-05	2.32E-04	3.18E-06	1.53E-04	6.50E-04
C-14/CO-60	1.65E-05	1.33E-05	2.92E-03	1.20E-01	2.34E-03	6.40E-04
FE-55/CO-60	8.78E-01	1.12E-01	2.97E-02	4.29E-02	3.34E-02	9.10E-01
NI-59/CO-60	1.04E-04	6.78E-05	1.04E-04	7.01E-03	7.08E-06	
NI-63/CO-60	1.70E-02	2.27E-02	1.29E-04	1.07E-03	1.12E-03	1.20E-02
SR-90/CO-60	7.17E-06	5.92E-06	9.48E-06	1.20E-06	3.64E-06	6.40E-04
NB-94/CO-60	< 8.30E-04	< 6.98E-03				
TC-99/CO-60	2.23E-05	8.80E-06	7.28E-04	8.79E-06	7.28E-04	4.00E-05
I-129/CO-60	< 7.88E-06	< 1.26E-06				
CS-137/CO-60	2.27E-03	4.46E-03				
PU-238/CO-60	< 6.64E-07	< 2.21E-06				
PU-239/CO-60	2.79E-03	1.26E-06	2.79E-03	1.26E-06	2.79E-03	
PU-241/CO-60	1.38E-04	3.14E-03	1.16E-05		1.16E-05	2.90E-03
AM-241/CO-60	3.29E-07	1.28E-05	1.35E-07		1.35E-07	2.50E-05
CM-242/CO-60	< 2.95E-04	6.70E-06				
CM-244/CO-60	< 1.83E-07	9.91E-07				

Tabla 5. Valores de dispersión de los factores del segundo grupo

FACTORES DE ESCALAMIENTO	FE 01/06	FE 02/07	FE 01/08	FE 02/09	FE 03/10	FE03/11
H-3/CO-60	4.92	8.62	2.12E-01	1.62E-02	1.30E-01	6.00
C-14/CO-60	9.27	11.39	1.77E-01	5.70E-03	1.13E-01	15.00
FE-55/CO-60	2.25	11.14	1.06E-01	2.29E-01	9.97E-02	7.00
NI-59/CO-60		2.70	4.68E-05	8.56E-04	7.76E-04	
NI-63/CO-60	2.23	1.77	8.42E-04	5.92E-02	1.37E-01	11.50
SR-90/CO-60	4.11	4.40	3.99E-03	2.13E-03	2.07E-03	22.10
NB-94/CO-60						
TC-99/CO-60	5.59	2.27		1.95E-06	3.53E-04	10.20
I-129/CO-60						
CS-137/CO-60	4.16	3.15				
PU-238/CO-60						
PU-239/CO-60			6.66E-04	3.19E-07	6.66E-04	
PU-241/CO-60	2.12		3.70E-03		3.70E-03	8.50
AM-241/CO-60	1.67		2.25E-03		2.25E-03	8.70
CM-242/CO-60						
CM-244/CO-60						

Tabla 6. Método utilizado para la obtención de factores del segundo grupo

FACTRES DE ESCALAMIENTO	FE 01/06	FE 02/07	FE 01/08	FE 02/09	FE 03/10	FE03/11
<i>H-3/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal	Metodología NUREG/CR-4101.	Metodología NUREG/CR-4101.	Metodología NUREG/CR-4101.	Metodología EPRI
<i>C-14/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal				
<i>FE-55/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal				
<i>NI-59/CO-60</i>	Uso del valor más reciente (mayor)	Promedio Log-Normal				
<i>NI-63/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal				
<i>SR-90/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal				
<i>NB-94/CO-60</i>	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).				
<i>TC-99/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Valor Mayor				
<i>I-129/CO-60</i>	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).				
<i>CS-137/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Promedio Log-Normal				
<i>PU-238/CO-60</i>	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).				
<i>PU-239/CO-60</i>	Uso del valor más reciente (mayor)	Uso del valor más reciente (mayor)				
<i>PU-241/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Uso del valor más reciente (mayor)				
<i>AM-241/CO-60</i>	Promedio Log-Normal	Uso del valor más reciente (mayor)				
<i>CM-242/CO-60</i>	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso del valor más reciente (mayor)				
<i>CM-244/CO-60</i>	Uso de un valor por debajo del LMD (mayor).	Uso del valor más reciente (mayor)				

Tabla 7. Factores de escalamiento del tercer grupo

Factor de Escalamiento	FE 03/12	Dispersión	Método
H-3/Co-60	2.01E-03	12	EPRI
C-14/Co-60	7.48E-04	18	
Fe-55/Co-60	7.98E-01	10	
Ni-63/Co-60	2.44E-02	3	
Sr-90/Co-60	4.13E-04	14	
Tc-99/Co-60	4.11E-05	10	
Pu-241/Co-60	2.94E-03	9	
Am-241/Co-60	1.89E-05	9	

5.- CONCLUSIONES

De las 13 muestras de la unidad 1 que se enviaron al análisis confirmatorio se demostró que los lotes de la CNLV solo contienen productos de corrosión, esto es debido a que no se encontraron productos de fisión (como el Cs-137 y Ce-144) ni cantidades significativas de elementos transuránicos. Por tal motivo todos los factores de escalamiento están obtenidos a partir de la cantidad de Co-60 en las muestras caracterizadas.

Con los resultados de las 13 muestras de la unidad 1 se obtuvieron 5 grupos de factores de escalamiento (en base al porcentaje de abundancia fraccional de Co-60 en las muestras) mostrados en la Tabla 1, debido a la pequeña cantidad de datos con los que se contaba los métodos empleados más frecuentemente para su obtención fueron:

- a) “Uso de un valor por debajo del LMD”, este método se utilizó en el 60% de los casos principalmente para los radionúclidos siguientes: Ni-59, Nb-94, Tc-99, I-129, Pu-238, Pu-239, Pu-241, Cs-137, Am-241 y Cm-242 debido a que su concentración fue reportada menor al límite de detección, para obtener el factor correspondiente se eligió el valor máximo por debajo del LMD reportado.
- b) “Uso del valor más reciente”, este método se utilizó en el 30% de los casos principalmente en el grupo FE 01/01, ya que para el rango de 55-65% Co-60 solo se tenía el análisis confirmatorio de una sola muestra con ese rango de abundancia fraccional de Co-60. En el resto de los casos se seleccionaba el valor mayor o el único valor reportado arriba del LMD.
- c) “Uso del valor log-normal pesado”, este método se utilizó en un 10% de los casos, pues muy pocos radionúclidos contenían al menos 3 valores arriba del LMD y además no fueron descartados como valores exteriores.

También se obtuvo un grupo de factores (FE 01/05) aplicando el método de uso de un valor "genérico" para compararlos con los 4 grupos anteriores, observándose que el H-3, C-14, FE-55, NI-59 presentaban el mismo orden de magnitud, solo el Ni-63 y Nb-94 difieren en 4 órdenes de magnitud, sin embargo debido a la baja concentración reportada no repercute en la clase o tipo de desecho, es decir aplicando a los lotes de desechos los 4 primeros factores o los factores genéricos se obtiene la clase más baja (Nivel Bajo Clase A).

Con los 21 resultados de los segundos análisis confirmatorios y los 13 resultados del primero se juntaron 34 análisis para la obtención de nuevos valores, obteniéndose los grupos mostrados en la Tabla 4.

Para la unidad 1 se obtuvieron dos grupos (FE 01/06 y Fe 01/08) en ambos se aplicaron las metodologías recomendadas por el laboratorio Schientec, para el grupo FE 01/06 el método más empleado fue el “Uso del valor log-normal pesado” pues se contaba con suficientes datos, para el grupo FE 01/08 se usó el método de un valor "genérico" empleando la metodología del NUREG/CR-4101, ambos fueron aplicados a los lotes de desechos generados en la unidad 1 resultando en ambos casos la misma clase de desecho: Nivel Bajo Clase A. Para la unidad 2 (FE 02/07 y FE 02/09) fue el mismo caso que para la unidad 1.

Se obtuvo también dos grupos de factores genéricos para la CNLV, un grupo de factores FE 03/11 empleando la metodología del NUREG/CR-4101 y el grupo de factores FE 03/11 empleando la metodología recomendada por EPRI estos grupos fueron aplicados a los lotes de desechos generados en ambas unidades obteniéndose la misma clase de desecho: Nivel Bajo Clase A.

Esto significa que los factores de escalamiento pueden obtenerse por cualquiera de las metodologías antes mencionadas, ya que los resultados con un método o con otro no alteran la clasificación.

Con base a lo anterior el método utilizado en la obtención del último grupo de factores FE 013/12, obtenido a partir de los resultados de los análisis confirmatorios del tercer envío de muestras (se juntaron 54 análisis, 13 del primer envío, 21 del segundo envío y 20 del tercer envío), fue el método recomendado por EPRI.

Está pendiente la obtención de los factores de escalamiento con los resultados de la cuarta remesa de muestras enviadas al análisis confirmatorio.

6. REFERENCIAS

1. Clasificación de desechos radiactivos, Norma Oficial Mexicana, NOM-004-NUCL-2013, 7 de mayo de 2013.
2. Clasificación de desechos radiactivos”, procedimiento PR-6735 Rev. 6.
3. Scaling Factor Selection Method, A Program to Select Scaling factors for Waste Characterization, rev. 5, J.E. Cline, SCIENTECH Inc., February 1990
4. Assay of Long-Lived Radionuclides in Low-Level Wastes from Lower Reactors, J.E. Cline, et al., NUREG/CR-4101, April 1985.
5. Characterization of Ontario Hydro's Low and Intermediate Level Reactor Waste Development of Scaling Factors for Difficult-to-measure Nuclides. A. Husain and J.P. Krasnai. Fifth International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, BERLIN, GERMANY, Sept 1995.)
6. "Considerations on the Activity Concentration Determination Method for Low-Level Waste Packages and Nuclide Data Comparison between Different Countries", M.Kashiwagi et al. IAEA2000.
7. "Radionuclide Correlations in Low-Level Radwaste", Electric Power Research institute, EPRI NP-4037, Palo Alto, CA, June 1985.