



MX0800052

Instituto nacional de investigaciones nucleares

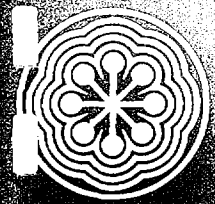
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD Y ACTIVIDAD TOTAL DE DESECHOS RADIACTIVOS

GERENCIA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

INFORME TÉCNICO SR-01-10

FEBRERO DE 2001



ININ

instituto nacional de investigaciones nucleares

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD Y ACTIVIDAD TOTAL DE DESECHOS RADIACTIVOS

Arturo Ángeles Carranza,
Departamento de Protección Radiológica

INFORME TÉCNICO SR-01-10

FEBRERO DE 2001



instituto nacional de investigaciones nucleares

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD Y ACTIVIDAD TOTAL DE DESECHOS RADIACTIVOS

Antecedentes

Conforme a la norma oficial mexicana NOM-018-NUCL-1995, se requiere autorización de la CNSNS para el método utilizado para caracterizar desechos radiactivos. El presente documento describe el método empleado en el sistema caracterizador de desechos radiactivos para determinar la concentración de actividad de radionúclidos y la actividad total de bultos de desechos radiactivos.

Elaboró:

Fís. Arturo Ángeles Carranza,
Departamento de Protección Radiológica

Revisó:

M. en C. Gustavo Molina,
Departamento de Protección Radiológica

Aprobó:

Fís. Javier Reyes Luján,
Gerencia de Seguridad Radiológica

Expediente 6.10.1

Febrero de 2001.

ÍNDICE

	PÁGINA
1. SISTEMA CARACTERIZADOR DE DESECHOS RADIACTIVOS	3
1.1. Subsistema elevador de bidones	3
1.2. Subsistema electromecánico	3
1.3. Subsistema de espectrometría gamma	4
2. OPERACIÓN DEL SCDR	5
2.1. Encendido y verificación operativa	6
2.2. Conteo y análisis de muestras	6
2.3. Apagado del sistema	7
2.4. Mantenimiento del sistema	7
3. CALIBRACIÓN EN ENERGÍA Y EFICIENCIA DEL SCDR	8
3.1. Calibración automática	8
3.2. Calibración manual	9
4. ANÁLISIS NORMATIVO DEL MÉTODO	10
4.1. Justificación del método	10
4.2. Descripción del método	11
4.3. Control de calidad	16
4.4. Registros	17
4.5. Determinación de la masa	17
5. MANUALES DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DEL SCDR	17
6. REFERENCIAS	17
7. NOTACIONES	18

1. SISTEMA CARACTERIZADOR DE DESECHOS RADIATIVOS

El sistema caracterizador de desechos radiactivos (SCDR) está integrado por tres subsistemas:

- Elevador de bidones (SEB).
- Electromecánico (SEM).
- Espectrometría gamma (SEG).

1.1. SUBSISTEMA ELEVADOR DE BIDONES

El SEB tiene la finalidad de colocar los bidones con desechos por caracterizar en la mesa rotatoria del subsistema electromecánico.

1.2. SUBSISTEMA ELECTROMECAÁNICO

El SEM está integrado por varios componentes, marca Ambrit, (ver figura 1). Las partes principales son:

- Soporte del recipiente de líquido criogénico del detector de germanio hiperpuro (Ge-hp).
- Soporte, contenedor y fuente radiactiva de europio 152 (Eu-152), marca Isotope Products Laboratories.
- Mecanismo y mesa rotatoria de bidón.
- Mecanismo de movimiento vertical de bidón.
- Caja de controles (controlador de mecanismo), marca Canberra, modelo 2425.
- Báscula, marca Rice Lake Weighing Systems, modelo IQ700 HB-AAAc.

La finalidad del SEM es rotar y mover verticalmente el bidón con desechos radiactivos por caracterizar para realizar automáticamente las mediciones por segmentos cilíndricos. Asimismo el subsistema permite determinar automáticamente el peso del bidón muestra.

1.3. SUBSISTEMA DE ESPECTROMETRÍA GAMMA

El SEG está compuesto por los siguientes elementos:

- Detector de germanio hiperpuro, marca Canberra, modelo GC3020.
- Preamplificador, marca Canberra, modelo 2002C.
- Bastidor para módulos, incluyendo fuente de voltaje, marca Canberra, modelo 2000.
- Fuente de alto voltaje (HV), marca Canberra, modelo 3106d.
- Convertidor analógico a digital (ADC), marca Canberra, modelo 8077.
- Analizador multicanal (tarjeta MCA), marca Canberra, modelo 4610.
- Amplificador rápido de espectrometría, marca Canberra, modelo 2024.
- Cámara de ionización, marca Victoreen, modelo 450.
- Computadora personal (PC), marca Hewlet Packard, modelo 486/25T.
- Sistema de energía ininterrumpible, marca Sola, tipo SEI.

Los programas de cómputo empleados son:

- Sistema operativo DOS versión 5.
- Windows, versión 3.1.
- MCA, versión para Windows.
- Waste Assay System, revisión V2.3.
- Spectran A-T versión 4.

Este conjunto de elementos electrónicos e informáticos permiten detectar y cuantificar la radiación gamma proveniente de los radionúclidos presentes en los desechos radiactivos.

2. OPERACIÓN DEL SCDR

La operación del SCDR está descrita en los siguientes procedimientos e instrucciones.

- Operación general del SCDR, P.DR-23, Rev. 1.
- Calibración en energía y eficiencia del SCDR, I.DR-01, Rev. 1.
- Conteo y análisis de muestras en el SCDR, I.DR-02, Rev. 1.
- Uso y control de material radiactivo en el SCDR, P.DR-17, Rev. 0.
- Calibración manual en energía y eficiencia del SCDR, I-DR-06, Rev 0.
- Análisis manual de bidones con el SCDR, I-DR-07, Rev 0.

El mantenimiento de las componentes del SCDR está descrito en:

- Mantenimiento y control de calidad del SCDR, I.DR-03, Rev. 1.

La operación general del SCDR consiste básicamente de las siguientes acciones:

- Encendido y verificación operativa.
- Conteo y análisis de muestras (bidones con desechos).
- Apagado del sistema.
- Mantenimiento del sistema.

2.1. ENCENDIDO Y VERIFICACIÓN OPERATIVA

Las acciones comprenden el funcionamiento de los subsistemas SEM y SEG, de los interruptores de seguridad, y la revisión diaria.

2.1.1. Revisión del SEM

La secuencia para verificar el funcionamiento del SEM se describe en el párrafo 3.4.1, inciso a, del procedimiento P.DR-23.

2.1.2. Revisión del SEM e interruptores de seguridad

La secuencia para verificar el funcionamiento de los interruptores de seguridad, mesa rotatoria, colimador y báscula se describe en el párrafo 3.4.1, inciso b, del procedimiento P.DR-23.

2.2. CONTEO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Para realizar el conteo y análisis de los bidones con desechos se requiere que el SEG esté calibrado en energía y eficiencia, lo cual se describe posteriormente.

Una vez calibrado el SEG, la secuencia para obtener automáticamente el informe del análisis se describe en la sección 3.2 de la instrucción I.DR-02 o bien en forma manual conforme a la instrucción I-DR-07.

El informe del análisis automático de una muestra (bidón con desechos) se presenta en el **Anexo 1**. Como puede observarse, en el informe aparecen, además de los datos de identificación, fecha y hora, los siguientes datos:

- Dosis promedio.
- Dosis máxima.
- Peso.
- Radionúclidos.
- Actividad total de cada radionúclido.

- Actividad por segmento.
- Porcentaje de transmisión por segmento.

2.3. APAGADO DEL SISTEMA

La secuencia para el apagado del SCDR se describe en el párrafo 3.4.3 del procedimiento P.DR-23.

2.4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Para asegurar el funcionamiento correcto del SCDR y tener control de calidad se realizan pruebas periódicas de componentes del SEG, la calibración de la cámara de ionización y de la báscula, así como mantenimiento preventivo de elementos mecánicos y eléctricos.

2.4.1. Mantenimiento y revisión del SEG

Las acciones para suministrar líquido criogénico, y revisión de la calibración en energía y FWHM, y de la eficiencia, se describen en la sección 3.2 de la instrucción I.DR-003.

2.4.2. Calibración de la cámara de ionización

La cámara de ionización se calibra periódicamente en el Departamento de Metrología del ININ.

2.4.3. Calibración de la báscula

La secuencia para la revisión del funcionamiento correcto de la báscula se describe en la sección 3.4 de la instrucción I.DR-003.

2.4.4. Mantenimiento preventivo

Las acciones de revisión de elementos eléctricos y de lubricación de componentes mecánicos se describen en la sección 3.5 de la instrucción I.DR-03.

3. CALIBRACIÓN EN ENERGÍA Y EFICIENCIA DEL SCDR

3.1. CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA

Las acciones de calibración automática del SEG comprenden:

- Precalibración en energía.
- Calibración completa en energía automática o manual.
- Ajuste de calibración en energía.
- Calibración en eficiencia automática o manual.

3.1.1. Precalibración en energía

Se requiere la precalibración en energía, cuando se realiza por primera vez o si se tuvieron modificaciones en el sistema, con la finalidad de ajustar gruesamente la correspondencia de energía con el número de canal.

La secuencia para realizar la precalibración se describe en el párrafo 3.1.1 de la instrucción I.DR-01.

3.1.2. Calibración completa en energía

La secuencia para obtener automáticamente el resultado de la calibración y crear el archivo correspondiente se describe en el párrafo 3.1.2 de la instrucción I.DR-01.

El informe de la calibración, obtenido automáticamente, se presenta en el **Anexo 2**, en el cual pueden observarse los coeficientes de calibración.

3.1.3. Ajuste de calibración en energía

El ajuste de calibración tiene como finalidad verificar si el espectro de calibración se encuentra en el multicanal y se realiza con la secuencia mostrada en el párrafo 3.1.3 de la instrucción I.DR-01.

3.1.4. Calibración en eficiencia

Para la calibración en eficiencia, se requiere que el SEG haya sido previamente calibrado en energía (calibración completa). La calibración en eficiencia se realiza para cada una de tres geometrías (ver **figura 2**), utilizando fuentes de Eu-152 y las estructuras para simular los bidones de 200, 100 y 40 litros. (ver **figura 3**).

- No. 1 (bidón de 200 litros).
- No. 2 (bidón de 100 litros).
- No. 3 (bidón de 40 litros).

La secuencia para la calibración en eficiencia se describe en la sección 3.2 de la instrucción I.DR-01. En el **Anexo 3** se presenta el informe automático del resultado de la calibración, en el cual pueden observarse los coeficientes de eficiencia del sistema.

En el **Anexo 4** se presentan el certificado de fabricación de las fuentes de Eu-152.

3.2. CALIBRACIÓN MANUAL

3.2.1. Calibración en energía

La calibración manual en energía se realiza con el programa Spectran-AT como se indica en la instrucción I-DR-06.

3.2.2. Calibración en eficiencia

La calibración manual en eficiencia se realiza con el programa Spectran-AT como se indica en la instrucción I-DR-06.

Para razones de conteo muy altas en las cuales el tiempo muerto durante el conteo de los bidones con desechos radiactivos excede el 20 %, se realizan calibraciones en eficiencia de manera análoga a la descrita en I-DR-06, atenuando parcialmente el haz de radiación proveniente del bidón de calibración, usando un blindaje de plomo que cubra el

frente del detector y dejando una abertura vertical de la altura total del blindaje del detector. Teniendo estas calibraciones se cuentan los bidones de usando esta misma geometría.

4. ANÁLISIS NORMATIVO DEL MÉTODO

La norma oficial mexicana NOM-018-NUCL-1995, establece que se requiere justificación previa de la elección del método para determinar la concentración de los radionúclidos y su actividad en los bultos de desechos radiactivos.

A continuación se presenta el análisis normativo del método propuesto utilizando el SCDR. El método corresponde a medición de radionucleidos específicos emisores gamma mediante análisis por espectrometría gamma.

4.1 JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO

Los desechos radiactivos tienen diferentes orígenes: plantas nucleares, institutos de investigación y hospitales entre otros. Los diversos materiales contaminados son generalmente almacenados en bidones de 40, 100 y 200 litros, siendo estos últimos los mas comunes. La variación en la densidad de la matriz en un bidón puede ser heterogénea y por lo tanto la distribución de la radiactividad dentro de dicha matriz puede ser también heterogénea.

Para analizar bidones con desechos radiactivos emisores gamma, verticalmente inhomogéneos, se realiza un barrido con el detector por segmentos. El efecto de inhomogeneidad radial en cada segmento cilíndrico se reduce rotando el bidón durante la medición, de tal manera que en estas condiciones se puede considerar una distribución homogénea.

Debido a que la densidad del material contenido en el bidón, puede ser variable en cada segmento, la actividad medida, por medio de un análisis por segmentos convencional, por espectrometría gamma tiene que ser corregida para compensar la autoabsorción; ésto se hace utilizando una fuente de transmisión de Eu-152, la cual tiene emisión gamma con una distribución espectral desde 122 hasta 1,408 keV de energías.

En relación a la energía de los fotones de los radionucleidos emisores gamma en los bidones con desechos, es preferible considerar los de mayor energía, que no tengan interferencia con otros en la muestra y con la fuente de transmisión.

El análisis se realiza estableciendo corrección por tiempo de decaimiento a la fecha deseada, como se explica en la instrucción I.DR-02 párrafo 3.2.3 inciso f).

4.1.1. Alcance del método

El SCDR sólo puede analizar desechos emisores gamma, con energía suficiente para penetrar el mismo material del que está hecho y las paredes del bidón que los contiene la cual es de aproximadamente 100 keV.

El sistema está diseñado para materiales de relativa baja densidad (menor a 1.5 g/cm^3), puede cargar hasta 300 Kg.

El sistema está diseñado para analizar materiales en recipientes cilíndricos, el factor de corrección considera sólo este tipo de geometría.

El método desarrollado por el Laboratorio Atómico de Los Álamos considera que para materiales de baja densidad éstos se comportan como la lucita de tal manera que la razón de los coeficientes de atenuación másica para una sola energía de transmisión y la energía de interés, son los publicados para dicho material.

4.2. DESCRIPCIÓN MÉTODO

El procedimiento para el cálculo de la concentración de actividad se hace automáticamente, como se resume en la instrucción I.DR-02, o bien de manera manual se realiza llevando a cabo los siguientes puntos:

- Identificación y cálculo de actividad A_{ij} para cada segmento i y radionucleido j .
- Corrección por autoabsorción de la actividad A_{ij} para cada segmento i y radionucleido j .

- Integración de la actividad y cálculo de la concentración total de actividad por unidad de masa.

4.2.1. Identificación y cálculo de actividad A_{ij} para cada segmento i y radionucleido j

La identificación del radionucleido en cuestión, dentro del bidón conteniendo los desechos radiactivos, se hace de manera convencional por espectrometría gamma. El cálculo de la actividad $A_{i,j,k}$ por segmento i para cada radionucleido j , con emisión gamma de energía k , se hace empleando la eficiencia como función de energía k para cada segmento i , obtenida durante la calibración en eficiencia; la expresión es:

$$A_{i,j,k} = \frac{Cn_{j,k}}{Ef_{i,k} Tc Y_{j,k}} \quad (1)$$

donde

$Cn_{j,k}$ = Área neta del fotopico del radionucleido j con energía k .

$Ef_{i,k}$ = Eficiencia a la energía k del i -ésimo segmento.

$Y_{k,j}$ = Porcentaje de emisión en gammas por desintegración para la energía k del radionucleido j .

Tc = Tiempo de conteo.

4.2.2. Corrección de la actividad por autoabsorción

Se obtienen los parámetros iniciales de absorción $T_{o,i,k}$ (tasa de conteo) para cada segmento i , con energía $k = 122, 244, 344, 778, 964, 1112$ y 1408 keV correspondientes a las energías mas intensas de la fuente de transmisión colocando el bidón vacío para considerar la absorción debida a la pared del bidón:

$$T_{o,i,k} = \text{Tasa de conteo (cuentas / segundo)}$$

Durante la medición de cada segmento i se obtienen las áreas netas $T_{1,i,k}$ de las energías k de la fuente de transmisión para calcular los factores de transmisión $T_{i,k}$, mediante:

$$T_{i,k} = \frac{T_{1,i,k}}{T_{0,i,k}} \quad (2)$$

Con los valores obtenidos de $T_{i,k}$, se llena la tabla de factores de transmisión (**Tabla 1**):

Tabla 1. – Factores de Transmisión								
No de Segmento	Energía (keV)							
	Bidón	122	244	344	778	964	1112	1408
1	Muestra							
1	Vacío							
1	$T_{1,k}$							
.	Vacío							
.	Muestra							
.	$T_{i,k}$							
n	Vacío							
n	Muestra							
n	$T_{n,k}$							

donde

$T_{n,k}$ = Factor de transmisión del n -ésimo segmento (usualmente 5).

Para obtener los factores de transmisión $T_{i,k}$ para energías particulares k de los radionucleidos identificados en la muestra, se hace una interpolación considerando las energías de la fuente de transmisión que abarquen dicha energía.

El factor de corrección $F_{c,i,k}$ para la actividad $A_{i,j,k}$ está dado por:

$$F_{c,i,k} = \frac{-0.823 \ln(T_{i,k})}{1 - (T_{i,k})^{0.823}} \quad (3)$$

La actividad corregida $A_{c,i,j,k}$ será:

$$Ac_{i,j,k} = A_{i,j,k} F_{Ci,k} \quad (4)$$

En caso de que los fotopicos con energías bajas de la fuente de transmisión no se aprecien en los espectros debido al contenido del bidón, se puede sustituir la transmisión $T_{i,k}$ del fotopico de energía de 1408 keV por la misma elevada a la razón de coeficientes de atenuación másica R_{ca} entre para 1408 KeV (energía de la fuente de transmisión) y la energía de interés E:

$$T_i = T_{1408}^{\mu E / \mu 1408} \quad (5)$$

La **tabla 2** lista los valores de la razón de coeficientes de atenuación másicos R_{ca} en función de la energía de interés E.

Tabla 2.-Razón de coeficientes de atenuación. R_{ca}			
Energía de interés E (MeV)	R_{ca}	Energía de interés E (MeV)	R_{ca}
50	3.094	950	1.196
100	2.66	1,000	1.168
150	2.39	1,050	1.146
200	2.206	1,100	1.125
250	2.051	1,150	1.102
300	1.923	1,200	1.081
350	1.82	1,250	1.059
400	1.729	1,300	1.037
450	1.653	1,350	1.015
500	1.585	1,400	0.995
550	1.525	1,450	0.971
600	1.472	1,500	0.952
650	1.427	1,550	0.939
700	1.381	1,600	0.925
750	1.336	1,650	0.912
800	1.296	1,700	0.895
850	1.263	1,750	0.884
900	1.229	1,800	0.871

4.2.3. Integración de la actividad corregida por radionucleido y cálculo de la concentración de actividad por unidad de masa de la muestra

La actividad total $At_{j,k}$ del radionucleido j con energía k en todo el bidón será:

$$At_{j,k} = \sum_{i=1}^n Ac_{i,j,k} \quad (6)$$

La concentración de actividad C_A por radionucleido j por unidad de masa será:

$$C_A = \frac{At_{j,k}}{m} \quad (7)$$

donde

m = Masa neta del material de desecho en el bidón, dado en kg.

4.2.4. Concentración mínima detectable

La concentración mínima detectable del SCDR es función de varios parámetros, los cuales se deben conocer para establecer el tiempo mínimo de conteo y satisfacer los niveles de dispensa (Bq/g) de los diversos radionucleidos por analizar considerando la tabla 1 de el proyecto de norma NOM-035-NUCL-1999.

El tiempo de conteo T_c para conseguir la concentración mínima detectable (cmd) se calcula, aplicando la expresión:

$$T_c = \left(\frac{4.66 Fc \sqrt{Sb}}{cmd Ef Y W} \right)^2 \quad (8)$$

donde

Fc = Factor de corrección para la energía en cuestión, (en la **tabla 3** se presenta una lista con los factores de

corrección en función de la energía y densidad del material, para hacer cálculos a priori).

\sqrt{Sb} = Desviación estándar de la tasa de conteo de fondo en la energía del fopico en cuestión.

Ef = Eficiencia (cuentas/gamma) en la energía en cuestión.

Y = Porcentaje de emisión del la energía usada del radionucleido por analizar.

W = Masa del desecho contenido en el bidón, dado en kg.

Tabla 3.- Factores de Corrección							
Densidad del material (g/cm ³)	Energía (keV)	244	411	600	779	1,086	1,408
		Factores de corrección					
0.0338		1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04
0.0907		1.27	1.22	1.19	1.17	1.14	1.12
0.2173		1.73	1.59	1.49	1.43	1.36	1.31
0.4337		2.68	2.32	2.09	1.95	1.79	1.68
0.5931		3.47	2.94	2.6	2.39	2.14	1.98
0.7197		4.13	3.47	3.03	2.76	2.44	2.23
0.9361		5.31	4.41	3.8	3.43	2.99	2.69
1.2220		6.91	5.7	4.89	4.37	3.77	3.35
1.4386		8.12	6.7	5.73	5.11	4.39	3.88
1.6550		9,34	7,7	6,58	5,86	5,01	4,42
2,1575		12,19	10,04	8,57	7,63	6,5	5,71

4.3. CONTROL DE CALIDAD

El programa de control de calidad requerido para garantizar la correcta aplicación del método consiste de:

- Mantenimiento y revisión del subsistema de espectrometría gamma.
- Calibración de la cámara de ionización.
- Calibración de la báscula
- Mantenimiento eléctrico y mecánico preventivo.

4.4. REGISTROS

Los registros que se generan para corroborar la correcta aplicación del método y efectuar el seguimiento están contenidos en la instrucción I.DR-03.

4.5. DETERMINACIÓN DE MASA

La masa de la muestra (bidón con desechos) por caracterizar se determina automáticamente, mediante la báscula asociada al SEM.

En el informe de análisis de muestra (ver **Anexo 1**), la concentración de radionúclidos (en Bq/g) considera las transmisiones y actividad por cada segmento, así como la actividad total y la concentración de actividad por radionucleido.

5. MANUALES DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DEL SCDR

Con la finalidad de disponer con la información técnica y especificaciones de los equipos y sistemas del SCDR, en el Departamento de Desechos Radiactivos del ININ se conservarán copias de los manuales y sistema del SCDR.

6. REFERENCIAS

- "Operación general del SCDR, P.DR-23, Rev. 0, ININ (1995).
- "Calibración en energía y eficiencia del SCDR", I.DR-01, Rev. 0 ININ (1995).
- "Conteo y análisis de muestras en el SCDR", I.DR-02, Rev. 0 ININ (1995).
- "Uso y control de material radiactivo en el SCDR", P.DR-17, Rev. 0, ININ (1998).
- "Mantenimiento y control de calidad del SCDR", I.DR-03, Rev. 0, ININ (1995).

- "Métodos para determinar la concentración de actividad y actividad total en los bultos de desechos radiactivos", NOM-018-NUCL-1995, Diario Oficial de la Federación, 8 de diciembre de 1996.
- "Límites para considerar un residuo sólido como desecho radiactivo", PROY-NOM-035-NUCL-1999, Diario Oficial de la Federación, 27 de octubre de 1999.
- "Calibration and usage of germanium detectors for measurement of gamma ray emission of radionuclides", ANSI N42.14-1978, American National Standards Institute, April 10 1978.
- "Non destructive assay of special nuclear material in low-density scrap and waste by segmented passive gamma ray scanning, C-1133-96, American Society for testing and materials, 1996.
- "The evaluation of transmission sources", Lewis Andrea , NNC limited, England, 1996.

7. NOTACIONES

ADC	Convertidor analógico a digital.
CNSNS	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.
DR	Departamento de Desechos Radiactivos.
Eu	Europio.
FWHM	Ancho de un fotopico a la mitad de su altura.
Ge-hp	Germanio hiperpuro.
HV	Alto voltaje
ININ	Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
MCA	Analizador multicanal.
NOM	Norma oficial mexicana.
PC	Computadora personal.

- SCDR** Sistema caracterizador de desechos radiactivos.
- SEB** Subsistema elevador de bidones.
- SEG** Subsistema de espectrometría gamma.
- SEM** Subsistema electromecánico.

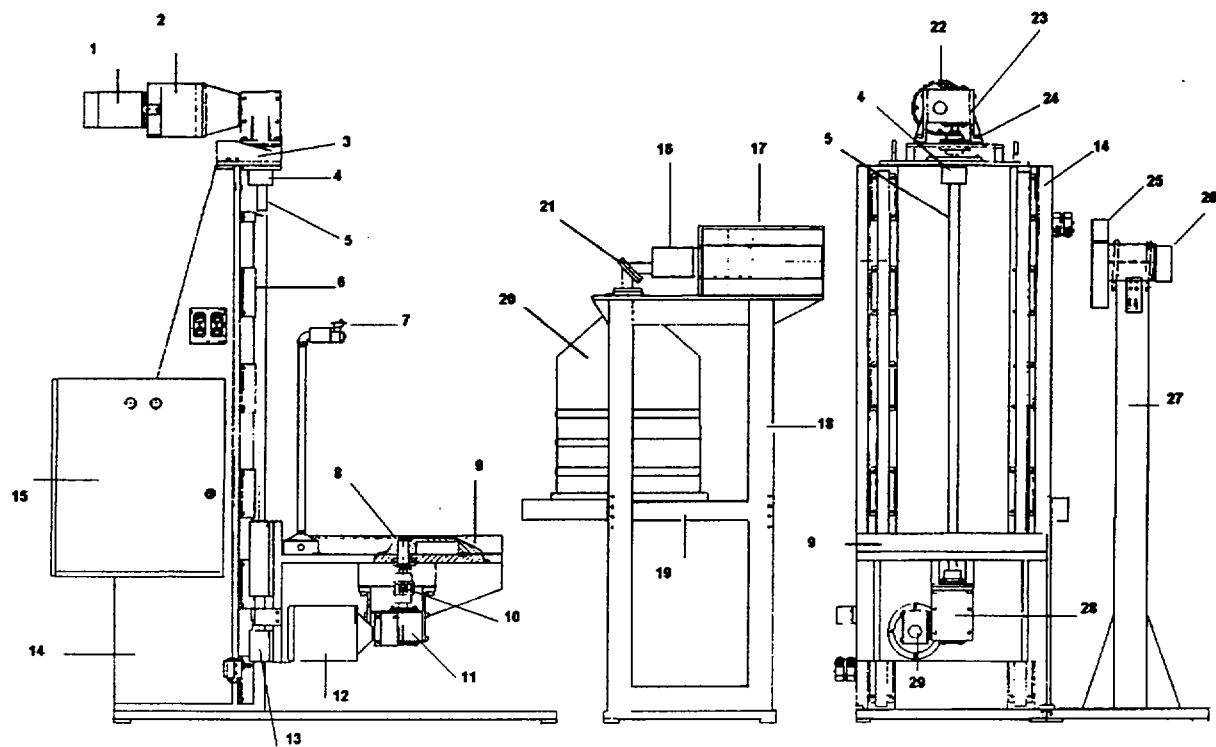


Figura 1.- Esquemas del subsistema electromecánico del SCDR

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Motor de pasos | 15. Caja de fusibles |
| 2. Freno de disco | 16. Detector de Ge-hp |
| 3. Placa de montaje | 17. Blindaje del detector |
| 4. Cojinete | 18. Estructura |
| 5. Tornillo | 19. Base del recipiente criogénico |
| 6. Soporte de flecha | 20. Recipiente del líquido criogénico |
| 7. Microinterruptor | 21. Conector criogénico |
| 8. Flecha | 22. Reductor |
| 9. Mesa rotatoria | 23. Soporte del motor |
| 10. Engrane de acoplamiento | 24. Freno |
| 11. Engrane reductor | 25. Obturador de la fuente |
| 12. Motor | 26. Contenedor y fuente radiactiva de Eu-152 |
| 13. Bloque | 27. Estructura |
| 14. Bastidor | 28. Base de engranes |

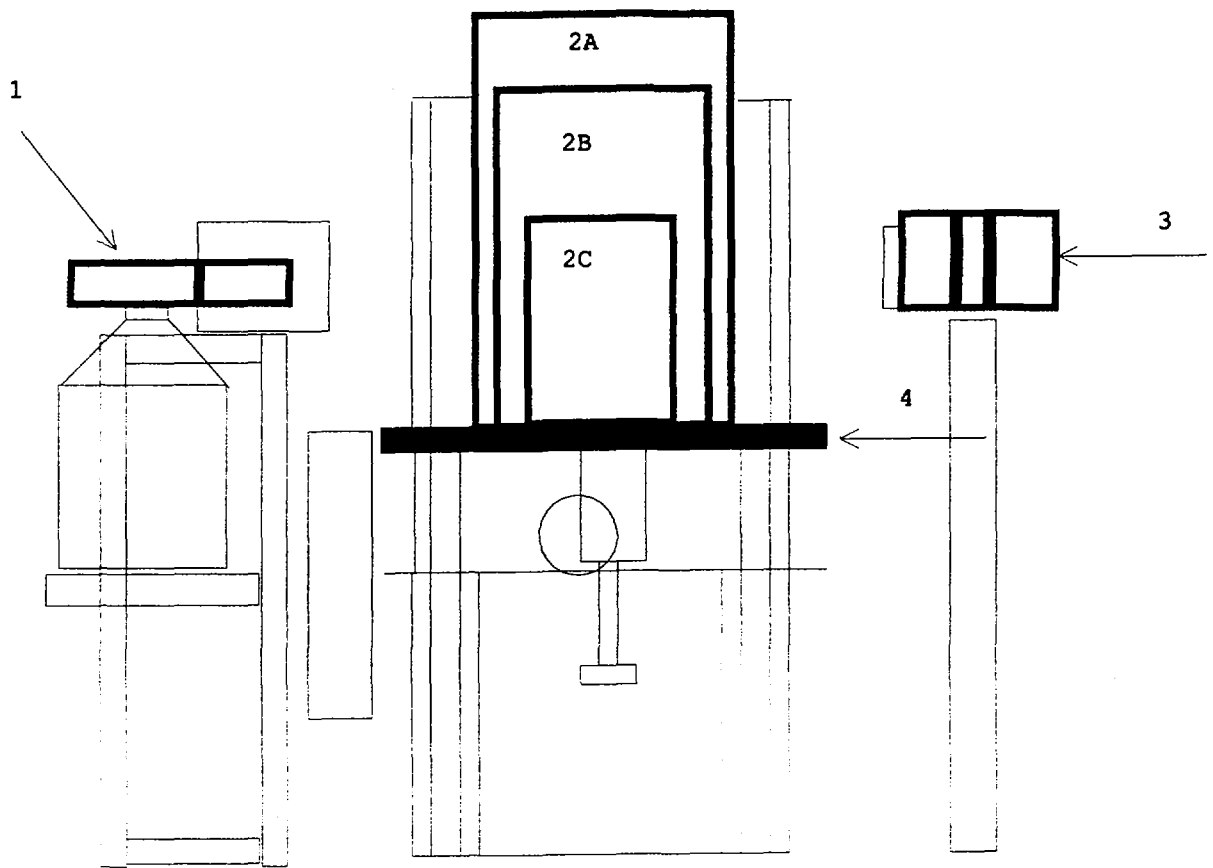
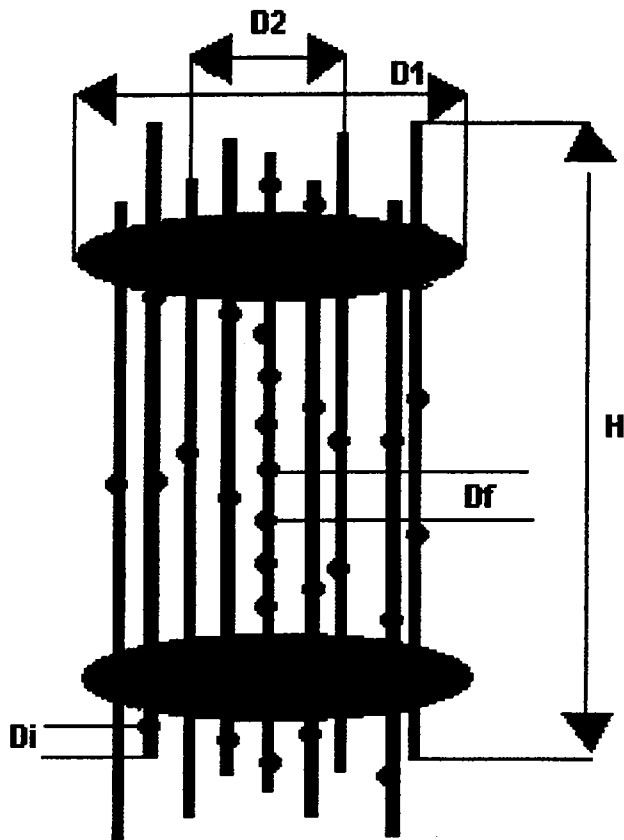


Figura 2.- Esquema de la geometría detector bidón. El número 1 indica el detector; 2, el bidón; 3, la fuente de transmisión y 4, la mesa rotatoria. A: 200 l; B:100 l; C: 40 l .



Capacidad del bidón (l)	200	100	40
D1 = diámetro 1 (cm)	56	46	32
D2 = diámetro 2 (cm)	28	23	16
H = altura del bidón (cm)	86	71	43
Di = Distancia de la base del ESGB a la primera división (cm)	1.75	1.23	0
Df = Distancia entre niveles (cm)	6.65	5.4	2.8

Figura 3.- Estructura para simular bidones de 200, 100 y 40 litros en la calibración de eficiencia del SCDR.
 Las letras D y H indican las distancias seleccionadas para las geometrías diferentes.

Anexo 1

INFORME DE ANÁLISIS AUTOMÁTICO

```
*****
*
*           WASTE ASSAY CONTAINER REPORT           *
*
*****
```

```
Number       : A333           Date       : 25-JUN-91
Type         : 1             Time        : 08:35:29
Size (L)     : 200          Sample No. : 21
Mean Dose(uSv) : .383      Weight(kg) : 27.73
Peak Dose(uSv) : .800
```

<u>Nuclide</u>	<u>ACT(Bq)</u>	<u>ACT(Bq)/Gram</u>
CD-109	1.337E+04 +- 6.107E+03	0.482 +- 0.220
CE-139	291. +- 100.	1.050E-02 +- 3.610E-03
CO-57	427. +- 164.	1.539E-02 +- 5.906E-03
CO-60	3.260E+03 +- 452.	0.118 +- 1.631E-02
CS-137	3.102E+03 +- 602.	0.112 +- 2.173E-02
HG-203	34.3 +- 12.8	1.238E-03 +- 4.600E-04
NA-22	1.357E+03 +- 195.	4.893E-02 +- 7.017E-03
SN-113	661. +- 169.	2.384E-02 +- 6.088E-03
Y-88	1.233E+03 +- 212.	4.448E-02 +- 7.660E-03

Total Activity = 2.373E+04 +- 8.014E+03

<u>Activity/Segment</u>	<u>Transmission</u>
Segment # 1 = 6.486E+03 +- 2.341E+03	85.3
Segment # 2 = 5.854E+03 +- 1.972E+03	90.9
Segment # 3 = 5.863E+03 +- 1.936E+03	93.2
Segment # 4 = 5.527E+03 +- 1.765E+03	94.9

Anexo 2

INFORME DE CALIBRACIÓN EN ENERGÍA DEL SEG

Calibration Report for detector 1

CALIB-WASTE ASSAY V 4.3-DOS Copy right (C) 1990 by Canberra Industries, Inc
Canberra Industries, Inc Meriden CT USA 14-FEB-99 11:53:32

CAL>

MCA Unit Number [1]:

Spectrum File number:

Use only well defined single peaks and be sure what the channel limits include 4 background channels on each side of the peak.

Input editing: -1 for "Energy " → "Number of peaks"
 -1 for "Lower channel " → "Energy"
 -1 for "Upper channel " → "Lower channel"
 <Ctrl> Z Will return to previous entry

Number of peaks:

Peak 1

Energy (keV);

Lower Channel of Region:

Upper channel of Region:

ROI 1 166-186
Tailing = 2.36
FWHM= 1.03
Centroid=176.3
Energy (keV):88.0300

Peak 2

Energy (keV);

Lower Channel of Region:

Upper channel of Region:

ROI 1 1310-1335
Tailing = 2.96
FWHM= 2.68
Centroid=1332.75
Energy (keV): 661.66

Peak 3

Energy (keV);

Lower Channel of Region:

Upper channel of Region:

Anexo 2

INFORME DE CALIBRACIÓN EN ENERGÍA DEL SEG (CONTINUACIÓN)

ROI 3 2330-2360

Tailing = 3.42
FWHM= 3.36
Centroid=2346.02
Energy (keV):1173.24

Peak 4

Energy (keV);

Lower Channel of Region:

Upper channel of Region:

ROI 4 2656-2676

Tailing = 3.35
FWHM= 3.58
Centroid=2664.59
Energy (keV):1332.50

Data for the number of peaks requested has been entered.

Are any changes required? [Y,N]

Calibrations Coefficients:

Energy = -7.793872E-02+5.004596E-01*Ch -1.395777E-07 *Ch ^2
FWHM*GAIN = 9.704692E-01+5.097998E-04*EN +8.024598EN^2
TAILING = 1.272465E00 +3.319848E-04 *EN

Anexo 3

INFORME DE CALIBRACIÓN EN EFICIENCIA DEL SEG

Calibration Report for detector 1

CALIB-WASTE ASSAY V 4.3-DOS Copy right (C) 1990 by Canberra Industries, Inc
Canberra Industries, Inc Meriden CT USA 14-FEB-99 11:53:32

CAL>

MCA Unit number [1]:

Spectrum File number:

Geometry number 2

Crossover energy :

Calibration Source Entry options:

Press <enter> for manual entry

Type an integer (0-999) to use a Source Library

Type a plus sign before the INTEGER (+0-+999)

To create a Source library during Manual Entry.

Entry :

Efficiency Calibration

Do you want to enter any efficiency Points manually? (Y/N) [N]: N

Dimensional Units of standard: EACH

Size of Standar in EACH: 1.000

Number of points : 7

Activity in Micro-Curies? (Y/N) [N→] [N]: N

Peak 1

Energy: 121.8

Activity: 5.73 22E +05

Activity One Sigma: 1.891000E+01

Half-Life: Y13.5

Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93

Time of Source Calibration: 12:00

Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 1.510851E-03 (+- 5.341262E+06)

Peak 2

Energy: 244.7

Activity: 1.513800E+05

Activity One Sigma: 4.995000+01

Half-Life: Y13.5

Anexo 3

INFORME DE CALIBRACIÓN EN EFICIENCIA DEL SEG (CONTINUACIÓN)

Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93
Time of Source Calibration: 12:00
Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 1.249338-03 (+- 1.033536E+06)

Peak 3

Energy: 344.300
Activity: 5.368900E+05
Activity One Sigma: 1.771000E+01
Half-Life: Y13.5
Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93
Time of Source Calibration: 12:00
Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 1.026425-03 (+- 4.393530E+05)

Peak 4

Energy: 778.900
Activity: 2.623900+05
Activity One Sigma: 8.658000E+01
Half-Life: Y13.5
Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93
Time of Source Calibration: 12:00
Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 5.199796-04 (+- 4.821984E+06)

System Efficiency Coefficients Part 1.

$\text{Log (EFF)} = -1.177857E +01 + 2.309238E +00 * \text{LOG}(E) - 2.517489E -01 * \text{LOG}(E)^2$

Peak 5

Energy: 964.000
Activity: 2.946800+05
Activity One Sigma: 9.7240000E+01
Half-Life: Y13.5
Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93
Time of Source Calibration: 12:00

Anexo 3

INFORME DE CALIBRACIÓN EN EFICIENCIA DEL SEG (CONTINUACIÓN)

Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 4.655004-04 (+- 4.196291E+06)

Peak 6

Energy: 1112.100

Activity: 2.745800E+05

Activity One Sigma: 9.058000E+01

Half-Life: Y13.5

Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93

Time of Source Calibration: 12:00

Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 4.372218E-04 (+- 4.328112E+06)

Peak 7

Energy: 1408.000

Activity: 4.218400E+05

Activity One Sigma: 1.3920000E+01

Half-Life: Y13.5

Decay Time: [0.00000e+01 min]: 15-jun-93

Time of Source Calibration: 12:00

Decay Time: 1.095856E+06 min

Efficiency 3.517889E-04 (+- 2.861478E+06)

System Efficiency Coefficients Part 2.

Log (EFF) = -2.990789E +01+ 7.034419E +00 *LOG(E)+5.525192E-01*LOG(E)^2

Anexo 4
CERTIFICADO DE FABRICACIÓN DE LAS FUENTES DE CALIBRACIÓN DE
EUROPIO 152



instituto nacional de investigaciones nucleares

GERENCIA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA
CENTRO DE METROLOGIA DE RADIACIONES IONIZANTES
LABORATORIO DE PATRONES RADIATIVOS

CERTIFICADO DE FUENTE RADIATIVA

CERTIFICADO No. LPR/180/93 No DE SERIE: 152PP177-216

Isótopo: Eu-152
Tipo: PP (Puntual de plástico)
Forma física: Sólida Forma Química: Eu Cl₂ Cantidad: _____

Actividad: Las actividades de las fuentes aparecen en el ANEXO 1
Incertidumbre Global Relativa: ± 5 %

Fecha y hora de calibración: Ge (Li) + Gravimétrico
A partir de la solución calibrada: _____

Centro Nuclear de México, a 9 de febrero de 1993

Este certificado consta de 2 hojas .

Fis. Alfonso Montes Palacios
Responsable de la medida.

Dr. Ariel Tejera Rivera
Jefe del Laboratorio de
Patrones Radiactivos

Fis. Victor M. Tovar Muñoz
Jefe del Centro de Metrología
de Radiaciones Ionizantes.

Anexo 4

CERTIFICADO DE FABRICACIÓN DE LAS FUENTES DE CALIBRACIÓN DE EUROPIO 152 (CONTINUACIÓN)

ANEXO

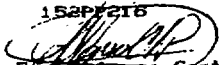
Hoja 2/2

CERTIFICADO No. LPR/180/93


Lista de las actividades de las Fuentes que Ampara este Certificado

Fecha y hora de Calibración : 15 de enero de 1993, a las 12:00 h.T.L.

No. de Serie de la Fuente	Actividad (µCi)	Incertidumbre Global Relativa %
152PP177	1.26	5
152PP178	1.19	5
152PP179	1.22	5
152PP180	1.30 ✓	5
152PP181	1.22	5
152PP182	1.26	5
152PP183	1.19	5
152PP184	1.25	5
152PP185	1.19	5
152PP186	1.43	5
152PP187	1.51	5
152PP188	1.53	5
152PP189	1.40	5
152PP190	1.39	5
152PP191	1.44	5
152PP192	1.46	5
152PP193	1.46	5
152PP194	1.34	5
152PP195	1.36	5
152PP196	1.40	5
152PP197	1.47	5
152PP198	1.49	5
152PP199	1.49	5
152PP200	1.40	5
152PP201	1.42	5
152PP202	1.46	5
152PP203	1.46	5
152PP204	1.38	5
152PP205	1.37	5
152PP206	1.43	5
152PP207	1.38	5
152PP208	1.45	5
152PP209	1.51	5
152PP210	1.51	5
152PP211	1.32	5
152PP212	1.44	5
152PP213	1.45	5
152PP214	1.49	5
152PP215	1.85	5
152PP216	1.38	5


 Fis. Alfonso Cortés P.
 Resp. de la Medida


 Dr. Arisí Tejera R.
 Jefe del LPR


 Fis. Víctor M. Tovar M.
 Jefe del C.M.R.I.