



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



Caracterización Radiológica de Residuos y Materiales de Media y Baja Actividad

Dr. José Luíz Gascón

Unidad de Residuos de Baja y Media Actividad
CIEMAT, Avenida Complutense 22
28040 Madrid

1. INTRODUCCIÓN

En España, según la disposición adicional cuarta de la Ley 54/1997 de 27 de Noviembre del Sector Eléctrico, se considera residuo radiactivo a cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía (actualmente Ministerio de Industria, Energía y Turismo), previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear (referencias 1 y 2). Las actividades más importantes que producen residuos radiactivos son:

a) Producción de energía eléctrica.

Se incluyen los residuos generados en todas las etapas por las que pasa el combustible nuclear (minería y tratamiento del mineral de uranio, enriquecimiento y fabricación del combustible, gestión del combustible gastado) y los residuos producidos durante el funcionamiento de las centrales nucleares (concentrados de evaporador, lodos de acondicionamiento, filtros de purificación del primario, resinas de intercambio iónico, materiales sólidos de diferente naturaleza activados o contaminados, etc.).

b) Aplicaciones de radionucleidos en medicina. En instalaciones médicas y hospitalarias se utilizan isótopos radiactivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Estas actividades generan residuos radiactivos sólidos tales como algodones, guantes de goma, jeringuillas, etc., así como residuos líquidos de centelleo líquido, que tienen radionucleidos tales como ^{99}Tc , ^{201}Tl , ^{67}Ga , $^{131,135}\text{I}$, ^3H , ^{14}C , ^{32}P . En el tratamiento de tumores se utilizan fuentes encapsuladas ^{60}Co .

c) Aplicaciones industriales: fuentes encapsuladas para medidas de nivel, densidad o espesor en procesos en continuo o difícil acceso. Gammagrafía en construcciones y esterilización industrial. Son fuentes de una actividad mucho mayor que las anteriores.

d) Residuos generados en la clausura de instalaciones nucleares y radiactivas.

Las instalaciones nucleares y radiactivas, cuando han llegado al final de su vida útil, tienen que ser clausuradas y desmanteladas y hay que gestionar los residuos que se generan. Una cantidad





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



considerable de los materiales que intervienen en la construcción de las instalaciones aparecen sólo ligeramente activados o contaminados y pueden ser reutilizados. Los materiales más abundantes procedentes de desmantelamientos son hormigones y aceros, y cuando presentan unos niveles de actividad inferiores a los establecidos se gestionan como residuos convencionales. En el caso del hormigón no contaminado se puede utilizar para el rellenado de terrenos, y el acero y otros metales no contaminados se reciclan en forma de chatarra.

e) Centros de investigación nuclear: residuos de naturaleza física, química y radiactiva muy variable debido a la gran diversidad de isótopos utilizados y la amplia gama de procesos.

Todos estos residuos deben estar controlados y aislados de tal modo que, durante los períodos que permanecen activos (que pueden variar de semanas a miles de años), no salgan a la biosfera por ninguno de los caminos posibles y, posteriormente, a través de las cadenas tróficas, puedan llegar a las personas y al medio ambiente.

Hay una gran variedad de residuos radiactivos por lo que para realizar una gestión adecuada se debe realizar una clasificación.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

Algunos de los criterios más importantes que pueden servir de base para el establecimiento de clasificaciones de residuos radiactivos son:

a) Estado físico del residuo: líquido, sólido o gaseoso. Este criterio es muy importante por el distinto tratamiento o acondicionamiento de los residuos, y es utilizado por la OIEA para realizar la clasificación.

b) Tipo de radiación emitida: los residuos se clasifican según el contenido en radionucleidos emisores alfa, beta y gamma. Debido a que cada tipo de radiación interacciona de distinta forma con la materia, este criterio condiciona las barreras de protección, el manejo de los residuos y, en general, la exposición a las radiaciones en el lugar de almacenamiento.

c) Periodo de semidesintegración: uno de los parámetros que caracteriza a un radionucleido es lo que se conoce como periodo de semidesintegración ($T_{1/2}$), que es el tiempo que tarda la actividad de un radionucleido en convertirse en el 50 por 100 de lo que era inicialmente y, por tanto, su capacidad de emisión de radiaciones y su peligro se reducen en la misma proporción. Según el período de semidesintegración de los isótopos se clasifican en residuos radiactivos de vida corta, que serían los residuos contaminados básicamente con isótopos radiactivos de $T_{1/2} < 30$ años, y los residuos de vida larga que tienen isótopos radiactivos de $T_{1/2} > 30$ años.

d) Actividad específica: es la actividad por unidad de masa. Para cada radionucleido hay definido un umbral por encima del cual se considera al residuo como de alta actividad y recíprocamente, por debajo, de baja actividad.





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



e) Radiotoxicidad: es una propiedad que define su peligrosidad desde el punto de vista biológico. La radiotoxicidad engloba varios parámetros como el tipo de radiación, periodo de semidesintegración, tiempo de residencia en el organismo, etc. Atendiendo a su radiotoxicidad, tanto la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) como la OIEA y EURATOM, han recomendado una clasificación en cuatro grupos:

Grupo A: radiotoxicidad alta. ^{226}Ra , ^{239}Pu , ^{241}Am .

Grupo B: radiotoxicidad entre media y alta. ^{90}Sr , ^{125}I , ^{126}I , ^{131}I .

Grupo C: radiotoxicidad entre media y baja. ^{32}P , ^{99}Mo

Grupo D: radiotoxicidad baja. ^3H , ^{99}Tc , U natural

En España, desde el punto de vista de la gestión, los residuos radiactivos se clasifican en:

a) Residuos de alta actividad. Sus características principales son que contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables por encima de 0,37 Gbq/Tm (0,01 Ci/Tm) y pueden desprender calor. Los radionucleidos contenidos en residuos de alta actividad tienen $T_{1/2}$ superior a 30 años, llegando en algunos casos alcanzar decenas de miles de años.

b) Residuos de baja y media actividad. Las características más importantes son que contienen radionucleidos emisores beta-gamma, con una actividad específica por elemento radiactivo baja y no generan calor, y tienen $T_{1/2}$ inferiores a 30 años, lo que quiere decir que reducen su actividad a menos de la milésima parte en un periodo máximo de 300 años. Su contenido en emisores alfa debe ser inferior a 0,37 GBq/Tm (0,01 curios/Tm en promedio).

La mayor parte de los residuos de media y baja actividad se generan en las centrales nucleares. Otra parte, menos importante, se genera en hospitales, industrias y centros de investigación, siendo en su mayoría materiales sólidos heterogéneos contaminados.

Los residuos para su almacenamiento deben estar acondicionados en estado sólido e inmovilizados en un material aglomerante como cemento, asfalto, etc. Al residuo ya acondicionado, dentro de un envase, se le denomina bulto y en él se determinan diversas características: la dosis de radiación en la superficie del envase o contenedor, el tipo de radiación que emite, la actividad total o cantidad de radiactividad que contiene, la radiotoxicidad y el periodo de semidesintegración de los radionucleidos presentes en él.

En el almacenamiento en superficie de residuos de media y baja actividad, donde se prevé que después de unos 300 años no se aplicará ningún tipo de control, es especialmente necesario asegurar que no hay áreas específicas con un riesgo mayor que el que permitan las normas. Esta situación inevitablemente lleva al establecimiento de límites en el contenido radiactivo de los bultos individuales que se almacenan (actividad específica por unidad de masa o volumen del residuo acondicionado).





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



Estén o no tratados y acondicionados, la empresa u organización gestora debe conocer, al menos, el contenido radiactivo de los residuos que recibe antes de gestionarlos para su almacenamiento

3. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MEDIA Y BAJA ACTIVIDAD

La caracterización de residuos de baja y media actividad surge de la necesidad de conocer las propiedades que son de interés para la seguridad del almacenamiento. Con vistas al almacenamiento en superficie, y según los estudios realizados en España, el riesgo a largo plazo relacionado con la seguridad del emplazamiento viene determinado por la presencia de los siguientes radionucleidos: ^3H , ^{14}C , ^{59}Ni , ^{63}Ni , ^{94}Nb , ^{135}Cs , ^{137}Cs , ^{99}Tc , ^{90}Sr , ^{129}I y los transuránicos Np, Pu, Am y Cm. La actividad de estos radionucleidos debe ser determinada para conocer si el residuo final acondicionado cumple con los criterios de aceptación del repositorio donde serán almacenados. Por todo ello en el CIEMAT (referencias 3, 4, 5 y 6) se han desarrollado y aplicado una serie de técnicas destructivas y no destructivas necesarias para determinar los radionucleidos que se consideran críticos.

3.1 Técnicas destructivas

Mediante las técnicas destructivas se determinan radionucleidos emisores de partículas alfa, beta, gamma débiles y rayos X. La determinación sensible y precisa de la actividad de un radionucleido, en ausencia de otros radionucleidos interferentes, es un problema relativamente simple de resolver eligiendo una técnica de medida adecuada según el radionucleido objeto de análisis. Así la determinación de radionucleidos emisores gamma con energías superiores a 50 keV se puede realizar mediante espectrometría gamma directa. No obstante, en algunos casos, también es necesario disponer de procedimientos de separación previa para sensibilizar la presencia de ciertos radionucleidos con poca contribución radiactiva.





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México

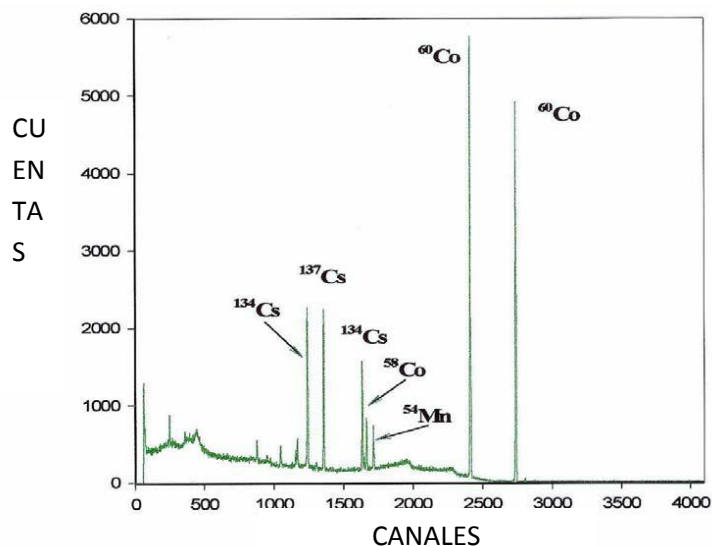


Figura 1. Espectro obtenido por espectrometría de emisores gamma

Los residuos radiactivos generados en centrales nucleares contienen una mezcla de radionucleidos (emisores gamma, beta y alfa) por lo que la determinación con precisión de las actividades de radionucleidos de interés no es siempre posible por técnicas instrumentales directas, sobre todo si la concentración radiactiva del radionucleido a determinar es baja en relación a la concentración de otros radionucleidos presentes y, especialmente, en el caso de que el radionucleido de interés sea un emisor alfa o beta puro de baja energía. Así la actividad de los emisores alfa o beta puros suele estar entre dos y cuatro órdenes de magnitud por debajo de la actividad de los emisores beta-gamma.

Para la determinación de emisores gamma débil y X, emisores alfa y beta puros de larga vida, de gran importancia para la seguridad a largo plazo de los almacenes, se utilizan métodos destructivos de análisis. La aplicación de un método radioquímico lleva consigo, generalmente, las siguientes etapas: disolución de la muestra problema, adición de portadores y trazadores, separación química del radionucleido a determinar y medida de su actividad.

La disolución de una muestra de metal, una resina o un concentrador de evaporador se realiza por un ataque con ácidos inorgánicos y cuando se trata de materiales refractarios se hace por fusión alcalina.



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México

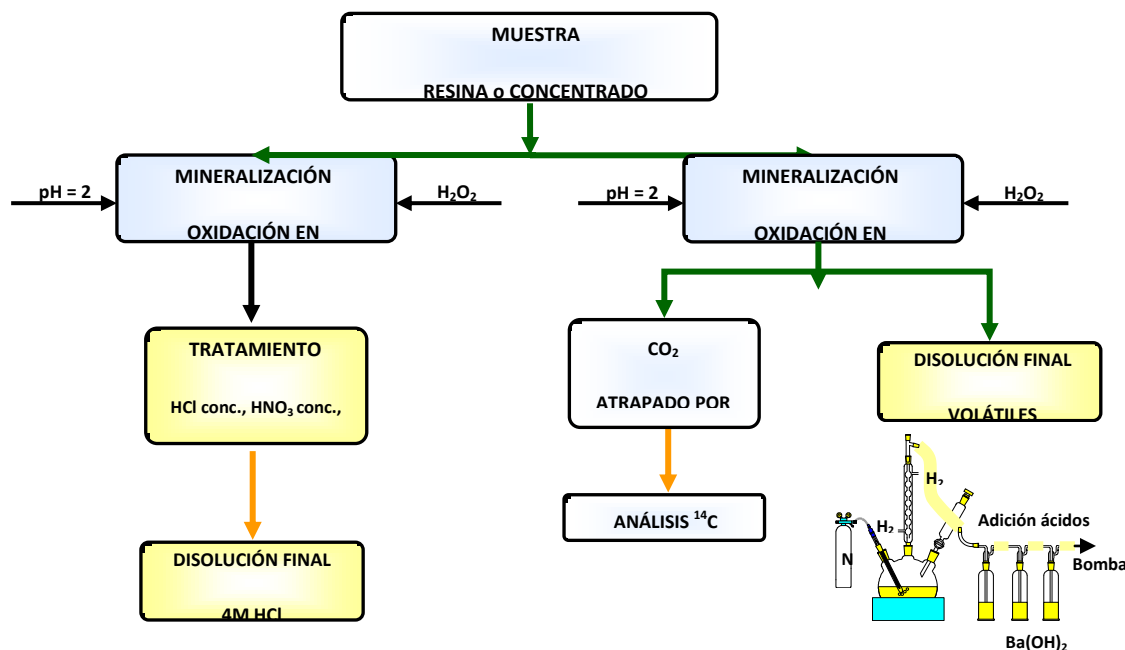


Figura 2. Tratamientos de una muestra de residuo radiactivo para su disolución

Después de la disolución de la muestra se añaden los portadores. La adición de los portadores tiene como finalidad el poder aplicar métodos de precipitación en el caso de que la concentración en masa de un radionucleido es muy pequeña. En la mayoría de los casos se utiliza un isótopo estable del mismo elemento que se va a determinar. Sin embargo, hay algunos casos en que no es posible utilizar como portador un isótopo y entonces se emplea un elemento con propiedades químicas similares al radionucleido a determinar, ya que es imprescindible que el portador le acompañe cuantitativamente en todas las etapas de la separación.

Aunque en general el portador se emplea para el isótopo radiactivo cuya separación se va a realizar y cuya actividad se va a medir, en otras ocasiones se utilizan portadores de otros isótopos radiactivos para impedir que alguno de éstos acompañe, por coprecipitación o adsorción, al producto que interesa separar, recibiendo el nombre de portadores de retención.

Para la separación radioquímica existen numerosos métodos que se aplican de acuerdo con los radionucleidos a determinar. Una vez separado el radionucleido, las técnicas de medida que se utilizan para la determinación de emisores alfa, beta y gamma son: espectrometría alfa, centelleo líquido y espectrometría gamma.



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



La determinación de emisores gamma débil y X no se puede realizar por espectrometría directa ya que en la zona de bajas energías pueden haber coincidencias debido a los rayos X de muchos emisores gamma fuerte. Además de esta interferencia su concentración radiactiva suele ser pequeña, lo cual obliga a tomar alícuotas mayores, cuya radiactividad total puede ocasionar problemas en el sistema de detección debido a la elevada tasa de conteo. Por tal motivo es imprescindible recurrir a separaciones radioquímicas antes de proceder a su medida. Los emisores gamma débil o rayos X a caracterizar y los procedimientos de separación y técnica de medida se recogen en la tabla 1

Radionucleido	Método
^{55}Fe	Separación por precipitación/redisolución de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y medida mediante centelleo en fase líquida o espectrometría gamma de bajas energías.
^{59}Ni	Separación por formación del complejo dimetilgloxima-níquel, extracción líquido-líquido con cloroformo y reextracción en medio débilmente ácido, fase en la que se mide mediante espectrometría gamma de bajas energías
$^{93\text{m}}\text{Nb}$	Separación por extracción líquido-líquido con TBP/ H_2SO_4 -HF y medida mediante espectrometría gamma de bajas energías.
^{129}I	Separación de interferencias por coprecipitación con óxidos hidratados y ácido cloroplatínico y medida mediante espectrometría gamma de bajas energías.

Tabla 1. Procedimientos de separación y técnica de medida de emisores gamma débil o rayos X .

Los emisores beta a caracterizar y los procedimientos de separación y técnica de medida se recogen en la tabla 2.





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



Radionucleido	Método de separación y técnica de medida
^3H	Separación por destilación o por combustión catalítica en horno automático y medida mediante centelleo en fase líquida.
^{14}C	Separación mediante recogida de $^{14}\text{CO}_2$ en hidróxido de bario o por combustión catalítica en horno automático y medida mediante centelleo en fase líquida.
^{36}Cl	Separación por oxidación selectiva y recogida en hidróxido de sodio y medida mediante centelleo en fase líquida.
$^{41/45}\text{Ca}$	Separación mediante precipitación selectiva y medida mediante centelleo en fase líquida.
^{63}Ni	Separación por formación del complejo dimetilglioximániquel, extracción líquido-líquido con cloroformo y reextracción en medio débilmente ácido, fase en la que se mide mediante centelleo en fase líquida.
^{90}Sr	Separación en columna cromatográfica con resina selectiva tipo éter corona y medida mediante contador proporcional de flujo gaseoso o centelleo en fase líquida.
^{99}Tc	Separación por extracción líquido-líquido con disolución éter corona en tolueno/acetona y medida mediante centelleo en fase líquida.
^{241}Pu	Separación por intercambio aniónico con resina Dowex 1x8 y medida mediante centelleo en fase líquida.

Tabla 2. Procedimientos de separación y técnica de medida de emisores beta.





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México

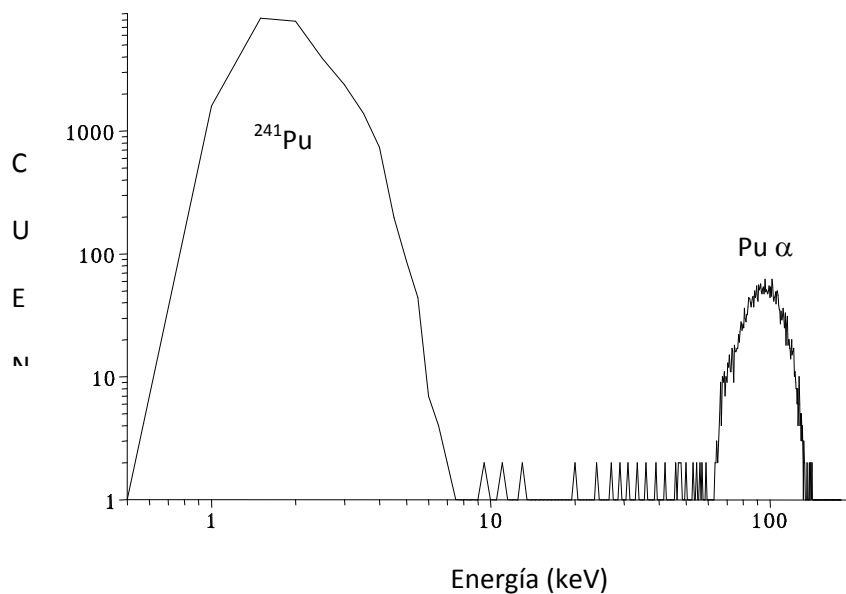


Figura 3. Espectro de ^{241}Pu y $^{236,238,239,240}\text{Pu}$ obtenido por la técnica de centelleo líquido

Para la determinación de los radionucleidos emisores alfa hay que separarlos de otros elementos estables que pueden interferir en la preparación de la fuente radiactiva o de otros radionucleidos que pueden interferir en su medida por espectrometría. Las técnicas que con más frecuencia se utilizan para la separación son la coprecipitación, la extracción líquido-líquido y la cromatografía de intercambio iónico. Una vez separado el radionucleido hay que preparar la fuente radiactiva por un método de electrodeposición que es con el mejor resultados se obtienen. En la figura 4 se presenta un esquema de la separación de emisores alfa y en las figuras 5 y 6 los espectros de los radionucleidos de Pu, Am y Cm medidos por espectrometría alfa.





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México

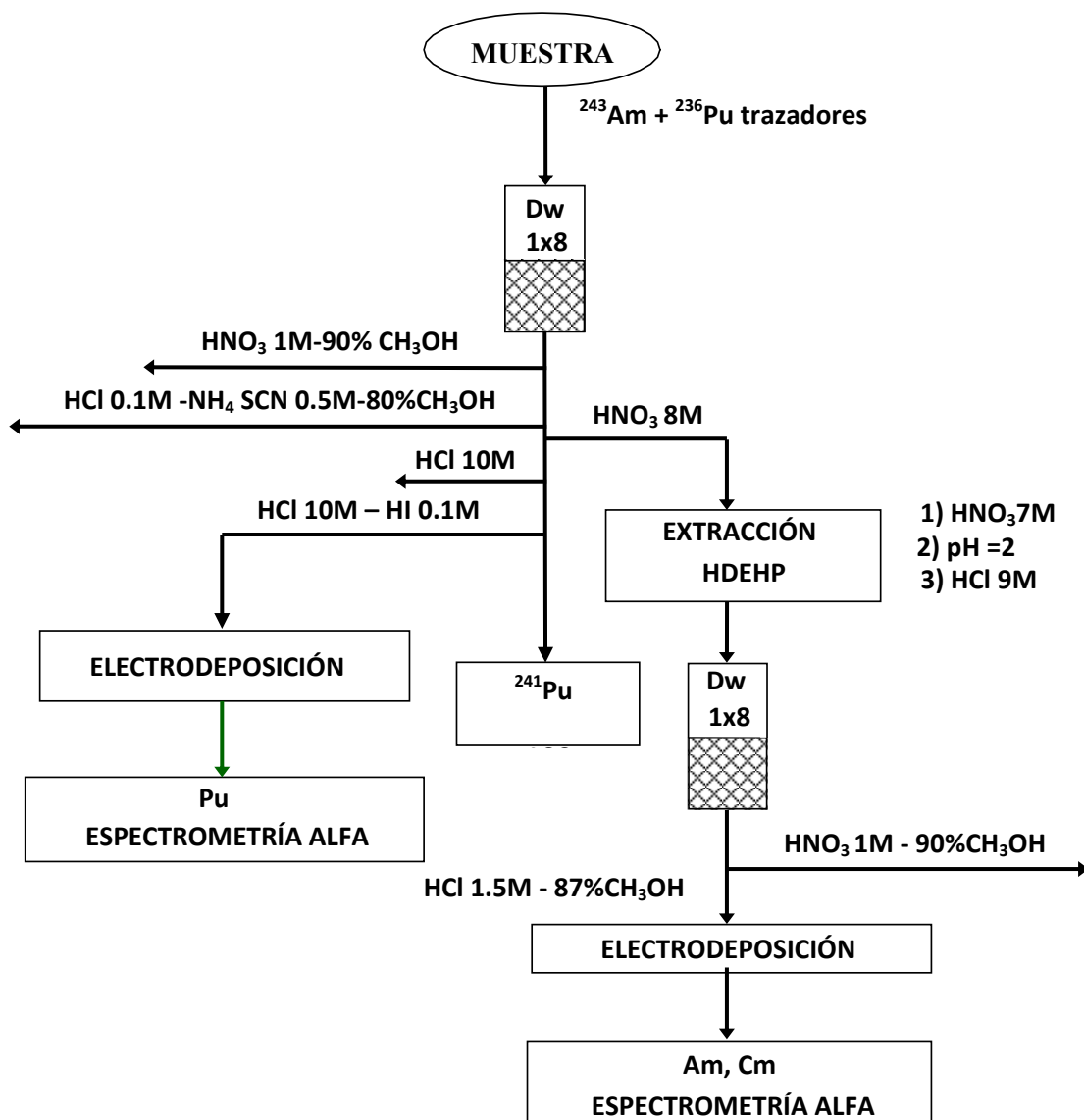


Figura 4. Esquema separación emisores alfa para su determinación por espectrometría



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México

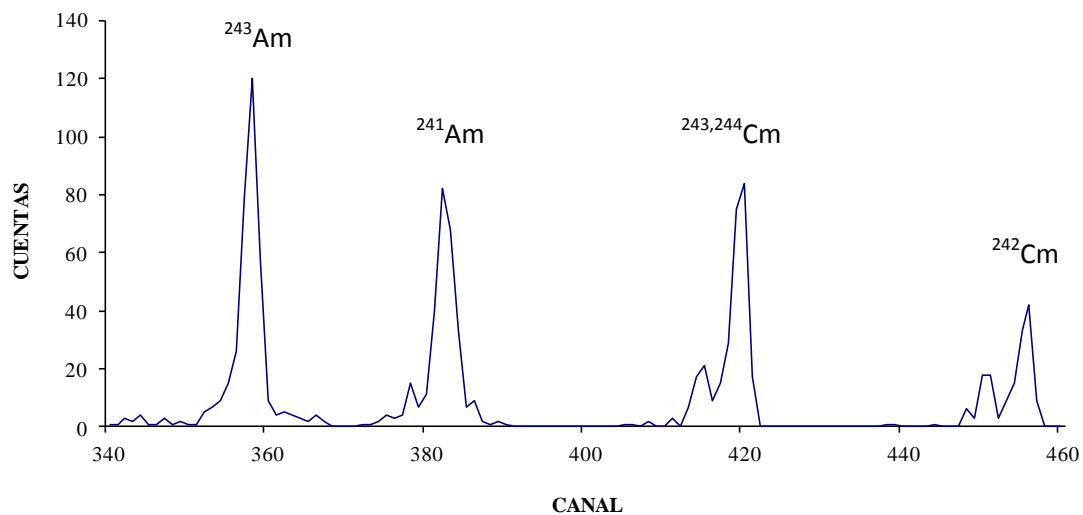


Figura 5. Espectro obtenido por espectrometría de los radionucleidos emisores alfa ^{243}Am , ^{241}Am , $^{243,44}\text{Cm}$ y ^{242}Cm

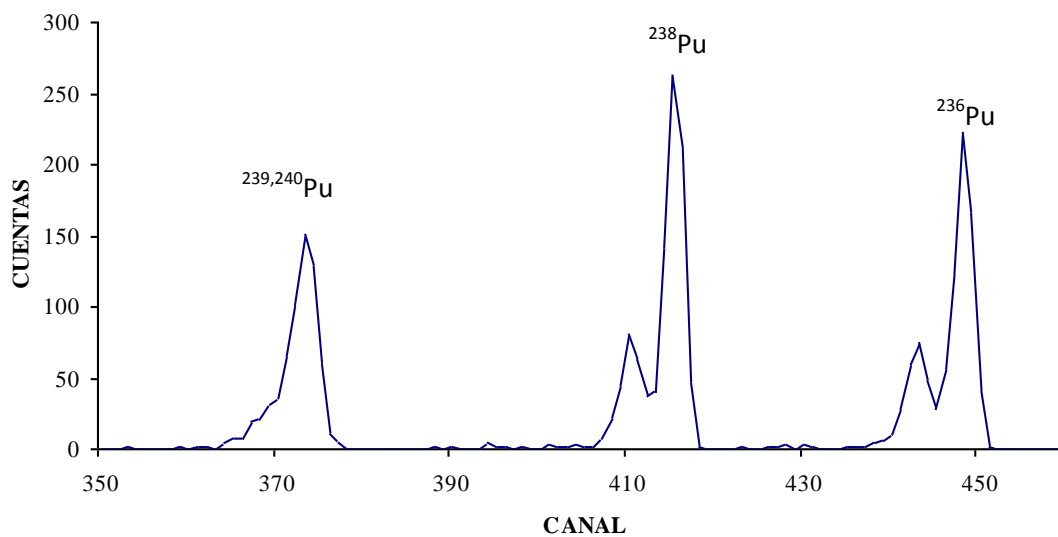


Figura 6. Espectro obtenido por espectrometría de los radionucleidos emisores alfa ^{236}Pu , ^{238}Pu , y $^{239,40}\text{Pu}$.



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



La aplicación de métodos destructivos para el análisis de radiactividad en los bultos conteniendo residuos de media o baja actividad presenta, fundamentalmente, dos problemas:

a) Dificultad en el muestreo: el nivel de radiación existente en las corrientes de residuos homogéneas como los concentrados o lodos o productos cementados o vitrificados impide que los volúmenes de muestra que se puedan tomar para la caracterización radiológica sea lo suficientemente representativo. En el caso de las corrientes de residuos heterogéneas, como los denominados residuos tecnológicos o los procedentes del desmantelamiento, se presentan problemas con los muestreos y los análisis destructivos para su caracterización radiológica.

b) Requiere técnicas radioquímicas complejas, que si bien su fiabilidad es alta, son de difícil aplicación por el coste de las determinaciones y por los largos tiempos de análisis requeridos para llevarlos a cabo.

Con el objeto de resolver estos problemas es por lo que en el CIEMAT se han desarrollado las técnicas no destructivas.

3.2 Técnicas no destructivas

Los residuos radiactivos acondicionados o “bultos de residuos” deben cumplir los criterios de aceptación definidos por la autoridad reguladora y los organismos responsables del tratamiento de dichos residuos. Estos criterios y especificaciones son variables dependiendo del tipo de residuo, la forma en la que se encuentre y las normativas de almacenamiento nacionales sobre residuos radiactivos. El control de los “bultos de residuos” puede llevarse a cabo por control de calidad indirecto, antes o durante el proceso de acondicionamiento, o de modo directo en los residuos radiactivos acondicionados y embalados mediante técnicas de caracterización radiológica no destructivas. Las metodologías de caracterización radiológica no destructiva de residuos y materiales de media y baja actividad permiten conocer la actividad contenida en el residuo en su forma definitiva. Estas técnicas se aplican a materiales o muestras cuyo volumen o contenido radiactivo desaconsejen la utilización de métodos destructivos.

Las técnicas no destructivas están basadas en la medida directa por espectrometría gamma de la energía de los diferentes fotopicos del espectro con el objeto de identificar los radionucleidos en el bulto de residuos, o por medida indirecta a través de relaciones de equilibrio radiactivo y cuantificación de su actividad.

En el CIEMAT se han desarrollado e implementado métodos para la medida de bultos de residuos de media y baja actividad tales como bultos de residuos acondicionados en cemento, bultos de residuos sólidos heterogéneos, bultos de residuos procedentes del desmantelamiento de instalaciones (escombros, metales, pararrayos radiactivos, etc.).





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



Los métodos desarrollados para realizar las medidas han sido: un método de exploración segmentada de bultos, un método rápido con geometría abierta, un método para sólidos sin acondicionar y un método para la medida de pararrayos que contienen una fuente de ^{241}Am . La metodología para la exploración de los bultos de residuos por espectrometría gamma de alta resolución debe asegurar la medida del volumen completo del bulto de residuos, bien por la medida global del volumen o dividiendo éste a través de exploraciones verticales, horizontales o combinación de las anteriores. El procedimiento de exploración gamma de un bulto de residuos puede ser dividido en un número definido de medidas a diferentes posiciones relativas del detector con respecto al bulto. El número de posiciones de medida para una rotación se definen como sectores, el número de posiciones en altura se definen como segmentos, y el número de movimientos discretos traslacionales o posiciones angulares se denominan pasos. Cada medida da como resultado un espectro gamma completo.



Figura 7. Sistema de exploración gamma

Los componentes más importantes de un sistema de exploración gamma (figura 7) son:

- a) Una unidad mecánica que proporciona el posicionamiento del detector y/o el bulto de residuos incluyendo los sistemas de carga/descarga. La unidad mecánica esta formada por una plataforma giratoria (0.1 a 10 r.p.m), un equipo de manejo de bultos (pinzas, plataformas rodantes, etc.), el equipo de posicionamiento relativo detector-bulto y el equipo de control de colimación manual / automático
- b) Un sistema de detección de la radiación gamma formado por un detector de radiación gamma para espectrometría de alta resolución (HPGe), con sistema de refrigeración con vaso Dewar o electro-criogénico (resolución típica : $\text{FWHM} \leq 2 \text{ keV at } 1332 \text{ keV}$), un sistema de colimación/blindaje con diferentes configuraciones y un control eléctrico del sistema que





Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



comprende todos los componentes necesarios para el control de la unidad mecánica en combinación con la unidad de adquisición y análisis.

c) Un sistema de adquisición y análisis de datos.

Además del conocimiento de la composición cualitativa y cuantitativa lo más completo posible a lo largo de toda su gestión, desde la generación del residuo hasta que está preparado o acondicionado en matrices adecuadas para su almacenamiento definitivo, hay que conocer las características físico-químicas de la matriz ya que condiciona su almacenamiento o evacuación.

3.3 Caracterización físico-química

Una vez caracterizado el residuo radiactivo se debe aislar y confinarlo, en un espacio limitado y controlado, fabricando una serie de barreras que actuando físico-químicamente impiden, o al menos disminuyen y retardan, la migración de los componentes de los residuos hacía el medio ambiente.

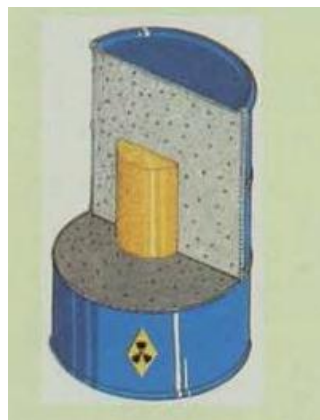


Figura 8. Vista del corte de un bulto, en el que se ven las diferentes barreras protectoras para evitar la dispersión radiactiva.

La primera barrera que se puede considerar es el propio residuo una vez inmobilizado (barrera química). Para la inmobilización de algunas matrices el cemento es el material mas adecuado como lo es también su uso en el caso de algunas barreras de ingeniería.

Para obtener la información necesaria respecto a las propiedades consideradas relevantes para evaluar la capacidad de confinamiento de las matrices y barreras utilizadas en los sistemas de almacenamiento, es necesario realizar su caracterización físico-química (referencias 6 y 7). Los ensayos de caracterización físico-química se llevan a cabo sobre unas probetas preparadas con el residuo radiactivo y cemento (figura 9), con unas proporciones utilizadas a escala industrial, y siguiendo normas y procedimientos bien establecidos.



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



Figura 9. Probeta de un residuo con una matriz de cemento

Los tres grupos de ensayos que se realizan en la caracterización físico-química son:

- a) Ensayos mecánicos y físicos: tiempo de fraguado, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión o resistencia a la tracción.
- b) Ensayos de propiedades físico-químicas: porosidad al agua, lixiviación de elementos radiactivos y estables, difusión de radionucleidos, coeficientes de distribución y contenido en carbono e hidrógeno.
- c) Ensayos térmicos, de incineración y de fuego

El desarrollo e implantación de las técnicas de caracterización camina paralelo al diseño, construcción y operación de los sistemas de almacenamiento de los residuos de media y baja actividad, siendo necesario cuantificar las propiedades relevantes para evaluar la seguridad del sistema. Para obtener la licencia de construcción y operación de un almacenamiento es necesario cuantificar las propiedades relevantes y evaluar su seguridad, demostrando que no representan un riesgo inadmisibles para los trabajadores y el público en general a corto, medio y largo plazo.



Memorias

Sección Química Nuclear

30° CONGRESO LATINOAMERICANO DE QUÍMICA, CLAQ – 2012

47° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

27 al 31 de octubre de 2012, Cancún Quintana Roo, México



REFERENCIAS

- 1) Guía de Seguridad 9.2 del Consejo de Seguridad Nuclear: Gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en instalaciones radiactivas. Referencia GSC: 9.02. CSN, 2002.
- 2) Guía de Seguridad 9.3 del Consejo de Seguridad Nuclear: Contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos radiactivos de las instalaciones nucleares. Referencia GSC: 9.03. CSN, 2008
- 3) M. Rodríguez. “Análisis de radionucleidos emisores de radiación beta presentes en residuos radiactivos procedentes de centrales nucleares mediante centelleo en fase líquida”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid 1997.
- 4) J.A. Suárez, M. Rodríguez, A. G. Espartero, G. Piña, J. L. Gascón. “Determinación de radionucleidos presentes en el inventario de referencia del centro de almacenamiento de El Cabril”. ENRESA. Publicación técnica N°03/97. 1997
- 5) G. Piña. “Caracterización radiológica de radionucleidos emisores gamma en bultos conteniendo residuos radiactivos de actividad baja o media mediante espectrometría gamma de alta resolución.” Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid 1999.
- 6) Libro del curso “Caracterización de Residuos Radiactivos”. Ciemat 2010
- 7) G Piña, Magro E., Calleja A. “Caracterización fisicoquímica de materiales de inmovilización de resinas gastadas de la central nuclear de Kozloduy”. Informe DFN/RM-01/IF-047. Ciemat 2008.

