

**DETERMINACION DE U (NATURAL), Th (NATURAL)
y Ra-226 EN DIVERSOS MATERIALES,
MEDIANTE ESPECTROMETRIA CON INa (TI)**

por:

S. Salvador
T. Navarro
A. Alvarez

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
ENERGETICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGICAS**

MADRID, 1990

CLASIFICACION DOE Y DESCRIPTORES

400101

RADON 226

THORIUM

URANIUM

DAUGHTER PRODUCTS

GAMMA SPECTROSCOPY

CALIBRATION STANDARDS

NATURAL RADIOACTIVITY

COMPARATIVE EVALUATIONS

QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Noviembre de 1990.

Depósito Legal nº M-45291-1990
ISBN 84-7834-084-X
ISSN 614-087-X
NIP0 228-90-044-3

IMPRIME CIEMAT



INDICE DE MATERIAS

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION	7
2. OBJETO	9
3. EXPERIMENTAL	10
3.1. Preparación de patrones	10
3.2. Sistema de detección	11
3.3. Calibración	11
3.4. Determinación de fondo	13
3.5. Establecimiento del Límite Inferior de Detección	13
4. CALCULO DE LAS ACTIVIDADES	14
5. CONCLUSIONES	17
6. BIBLIOGRAFIA	18
FIGURAS	19



1. INTRODUCCION

La importancia de la determinación de estos tres radionucleidos naturales en distintos tipos de materiales, radica en su interés desde el punto de vista de protección radiológica.

La primera parte del ciclo del Combustible Nuclear consiste en la obtención de concentrados de uranio a partir de diferentes especies minerales. Este proceso se realiza en fábricas o emplazamientos, donde mediante diversos métodos físico-químicos, se aísla el uranio del resto del mineral. Como consecuencia de estos tratamientos se originan los denominados "estériles" o "colas", que contienen todos los radionucleidos que forman parte de las cadenas radiactivas naturales.

Además, en los lugares donde han sido realizadas estas manipulaciones, se encontrarán distintos tipos de materiales (tierras, hormigones, ladrillos, etc.) que, dependiendo del proceso que haya tenido lugar en sus inmediaciones, contendrán U, Ra y Th en distintas proporciones. La manipulación de todos estos materiales, para desmantelamiento de instalaciones y subsiguiente gestión como residuos radiactivos, exige una determinación previa de actividad.

La determinación de las actividades de estos tres elementos naturales constituye un problema complejo desde el punto de vista de análisis físico-químico, debido a la existencia de varios isótopos de cada uno de los elementos estudiados con distintos tipos de emisiones radiactivas. Para una mejor comprensión de los métodos a utilizar, es necesario conocer las cadenas naturales y los equilibrios radiactivos involucrados. Los miembros de estas cadenas, emisores gamma, a tener en cuenta en estas determinaciones se enumeran a continuación:

* Cadena del U-238: Th-234, Pa-234m, Th-230, Ra-226, Rn-222, Pb-214, Bi-214, Pb-210.

* Cadena del U-235: U-235, Pa-231, Th-227, Ra-223, Rn-219, Pb-211, Bi-211.

* Cadena del Th-232: Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Pb-212, Tl-208.

La determinación de Ra-226 es la más compleja y a la vez la más interesante desde el punto de vista de protección radiológica, considerando su largo período de semidesintegración (1622 a) y la abundancia natural de su progenitor (U-238). Por otra parte, su metabolismo en el cuerpo humano es similar al del calcio, depositándose preferentemente en los huesos si se produce incorporación.

Aproximadamente el 95% del radio presente en el mineral de uranio permanece, una vez realizada la separación del mismo, en las denominadas "colas", donde por desintegración natural se produce Rn-222, gas noble, que se difunde fácilmente y da lugar a elementos sólidos emisores de radiación gamma y a otros emisores de partículas alfa y beta. Todos ellos será necesario cuantificarlos para realizar los

correspondientes cálculos de dosis tanto personales como ambientales.

Las determinaciones de radio se realizan por diferentes técnicas, como espectrometría alfa o contaje alfa total, si bien en cualquiera de ambos casos es necesario realizar una separación radioquímica, que incluye disoluciones, evaporaciones y distintas etapas de purificación previas a la medida.

Métodos de este tipo han sido propuestos en la bibliografía por distintos autores. Suárez et al. (1987) realizan la medida de los isótopos del radio mediante contajes alfa totales. Después de una separación radioquímica utilizando bario como portador, se obtiene un precipitado sobre el que se realiza la medida de la actividad.

Analizando la evolución temporal de dicha actividad, se deduce la que corresponde a cada uno de los isótopos, siempre suponiendo el establecimiento del equilibrio radiactivo del Ra-226 con sus descendientes, para lo cual es necesario que el gas Rn-222 permanezca junto a su predecesor en la muestra a medir. El cumplimiento de esta condición depende de la cantidad y tamaño de cristal en el precipitado, habiendo sido observadas pérdidas de radón por algunos autores (Godoy, 1990). Si se aumenta la cantidad de precipitado para evitar este efecto, se introducen errores significativos al realizar las correspondientes correcciones por autoabsorción. En cualquier caso, es necesario realizar otra corrección adicional debida al rendimiento químico de la separación, que normalmente en este tipo de métodos se determina por gravimetría.

Cuando la medida se realiza mediante espectrometría alfa, el problema se complica con la elección de un trazador adecuado para determinar el rendimiento químico. Koide and Bruland (1975) proponen el uso de Ra-223 siempre que la medida se realice inmediatamente después de la separación, para evitar interferencias en el espectro alfa de Rn-222. Este trazador no puede ser utilizado cuando las muestras contienen Ra-224, ya que tienen emisores alfa de energías similares; en este caso se utiliza el propio Ra-224 como trazador interno, siendo necesario entonces realizar una determinación de Th-228 complementariamente, lo cual complica extraordinariamente el análisis.

Por otra parte, cuando utilizando esta técnica ha de realizarse la hipótesis del establecimiento del equilibrio entre el Ra-226 y sus descendientes, experiencias realizadas por Tjoe-Pa and al. (1989) indican que éste se consigue cuando la fuente alfa posee un determinado espesor (con el fin de atrapar en el precipitado el gas radón) con la consiguiente pérdida de resolución en el espectro obtenido.

Además de los problemas ya señalados, este tipo de métodos que incluyen separaciones radioquímicas previas a la medida son muy difíciles de realizar en el caso de matrices complejas (hormigones, ladrillos, etc.) sobre todo si, por las características de la determinación, deben tomarse cantidades de muestra del orden de 50g o mayores, lo que hace imposible su disolución. En estos casos el método más eficaz es la espectrometría gamma.

Utilizando detectores de Gel, Jiang and Holtzman (1989) describen un método para

determinar en la misma muestra Ra-224, Ra-226 y Ra-228 en aguas, coprecipitando previamente con sulfato de bario y plomo y realizando las determinaciones a partir de las medidas de las actividades de sus descendientes. Se ha medido la emanación de radón en los precipitados (Michel et al., 1981) comprobándose que es menor del 2% en todos los casos, con lo que se asegura el establecimiento del equilibrio entre el Ra-226 y descendientes.

Powers et al. (1980) proponen la medida de Ra-226 a partir del área del fotopico de 186 keV (3,3%) de este radionucleido. Este método presenta el inconveniente de que en una energía muy similar (185,72 keV) emite también el U-235. La contribución de este último ha sido evaluada mediante dos métodos:

- A partir de otra emisión de U-235 en 144 keV, que supone una considerable pérdida de sensibilidad debido al pequeño porcentaje de emisión de esta línea. Por otra parte, el Ra-223 y Th-230 producen interferencias, ya que tienen emisiones de energía similar.

- Calculando la actividad de U-235 a partir de la del U-238 que a su vez se determina a partir de la emisión de su hijo (Th-234) de 64 keV. Esta corrección sólo puede ser realizada si se supone una relación constante entre U-238/U-235. Kim and Burnett (1983) encuentran inviable calcular la contribución de U-235 en la línea de 186 keV a partir del U-238, debido al error que se comete en dicha corrección, por lo que una medida directa de Ra-226 puede ser realizada a partir de la línea de 186 keV sólo en ausencia de uranio (Canet and Jacquemin, 1990).

2. OBJETO

En este trabajo se describe el análisis mediante espectrometría gamma de estos radionucleidos en muestras de sondeos realizados a distintas profundidades, si bien el método se hace extensible a otro tipo de muestras, incluyendo líquidos. La ventaja fundamental en la aplicación del mismo consiste en evitar la separación radioquímica; para la realización de la medida es necesario únicamente colocar la muestra en la geometría adecuada y esperar el tiempo suficiente para asegurar el establecimiento del equilibrio radiactivo del Ra-226 con sus descendientes.

Con respecto a otros métodos similares, presenta la ventaja de permitir la medida conjunta de tres importantes radionucleidos naturales, sin apenas problemas de interferencias. La medida del Ra-226 se realiza a partir de un fotopico de 46% de intensidad de emisión (correspondiente al Bi-214), que hace que el error cometido en esta determinación sea menor que cuando ésta se realiza a partir de otros fotopicos de bajas intensidades de emisión.

Presenta únicamente interferencia debida al Tl-208 (de la serie del Th-232). En el caso de que la muestra contenga Th-232 será necesario realizar las correspondientes correcciones. La experiencia de las muestras medidas revela que esto se produce sólo en contadas ocasiones. Otra interferencia significativa es la debida a la emisión de Cs-

137, si bien al ser éste un radionucleido artificial, no es probable que aparezca en muestras procedentes de actividades de la primera parte del Ciclo del Combustible Nuclear.

Para la realización de las medidas se utiliza un detector de INa(Tl). Después de obtener una calibración del equipo con los patrones correspondientes, se deducen las actividades de Ra-226, Th-232 y U-238 en las muestras a partir de las determinaciones de las emisiones gamma de sus hijos, una vez transcurrido el tiempo suficiente para el establecimiento de los correspondientes equilibrios radiactivos.

La determinación de Th-232 se realiza complementariamente a las anteriores, ya que, si está presente en las muestras, produce interferencias en determinadas zonas espectrales al evaluar las actividades de Ra-226 y U-238, siendo por tanto necesario tener en cuenta su contribución para cuantificar correctamente dichas actividades.

3. EXPERIMENTAL

3.1. Preparación de patrones

Las soluciones patrón empleadas se prepararon en el caso de U y Th por pesada a partir de $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. En ambos casos ha transcurrido desde su aislamiento el tiempo suficiente para que se haya alcanzado el equilibrio entre los padres de la serie natural y sus hijos. El cálculo de la actividad de dichas soluciones se ha realizado a partir de las actividades específicas del uranio y torio natural:

$$U_{\text{nat}} = 6,76 \text{ E-07 Cig}^{-1}$$

$$\text{Th}_{\text{nat}} = 1,11 \text{ E-07 Cig}^{-1}$$

Los resultados obtenidos se refieren a U_{nat} o a U-238 teniendo en cuenta la composición isotópica del U natural.

Para realizar la preparación de los patrones, se tomaron muestras sólidas procedentes de sondeos, que contenían los radionucleidos a determinar en la proporción natural propia de estos materiales. Estas muestras se cortaron en rodajas de 59 mm de diámetro y entre 10-20 mm de espesor.

Los patrones se prepararon añadiendo a las muestras alícuotas de las soluciones patrón. En el caso del radio se trata de una solución de actividad conocida de Cl_2Ra . En cada caso se aseguró la perfecta difusión de la solución sobre el material mediante adiciones sucesivas de agua destilada.

El patrón de radio, una vez preparado, se introdujo en un recipiente herméticamente cerrado, permaneciendo así aproximadamente 30 días antes de realizar la medida. Se asegura de esta forma el establecimiento del equilibrio radiactivo con sus

descendientes, ya que el gas Rn-222 formado se queda encerrado en el recipiente y no se rompe la cadena radiactiva natural. Esta misma precaución ha de ser tomada con las muestras antes de su medida.

3.2. Sistema de detección

El sistema de detección consiste en un detector de centelleo de INa(Tl) marca BICRON de 3" x 3" con su correspondiente cadena electrónica.

El blindaje es un cilindro de Pb de 90 cm de altura, 14 cm de grosor y 53 cm de radio exterior. Las paredes interiores están recubiertas de planchas de Cd y Cu de 0,2 y 0,45 cm de espesor respectivamente.

El analizador multicanal es de la marca CANBERRA, SERIE 35 PLUS, con un convertidor analógico digital de 100 MHz unido a un ordenador personal (IBM 286) para el proceso de datos.

Cada espectro obtenido ocupa 1023 canales y cubre un intervalo energético de 2 MeV.

Las geometrías utilizadas para la realización de las medidas han sido cápsulas Petri y duquesas de 1/4, 1/2 y 1 l provistas de cierre hermético.

3.3. Calibración

En la tabla 1 aparecen las características de las emisiones gamma utilizadas en la determinación de estos radionucleidos. Se describen a continuación las zonas de interés en los espectros que corresponden a la calibración de los patrones.

TABLA 1
Energías y porcentajes de emisión utilizados en
la determinación de U-238, Ra-226 y Th-232

Radionucleido emisor	$T_{1/2}$	Energía (MeV)	Intensidad (%)
Th-234	24,1 D	.063	3,9
		.092	5,57
Bi-214	19,7 M	.609	46
Ac-228	6,13 M	.911	29
		.968	17,5

3.3.1. Medida del patrón U-238

Tal y como aparece en la figura 1, la medida de este patrón proporciona un espectro gamma con fotopicos correspondientes a las emisiones de energías 63 y 92 KeV del Th-234, que se integran entre los canales 15 y 60, en la denominada "zona 1". Según las leyes de los equilibrios radiactivos, cualquier solución en la que el uranio haya sido aislado desde hace más de 100 días, la actividad del U-238 es la misma que la del Th-234, su hijo, con el que se encuentra en equilibrio secular, por lo que cumplida esta condición la medida de Th-234 equivale a la de U-238.

Denominando "AU" a la actividad del patrón de uranio (Bq), y "U1" al área correspondiente a la integración de la zona 1, se deduce la siguiente relación para cada geometría utilizada:

$$FU = \frac{AU}{U1}$$

siendo:

AU = Actividad del patrón de U expresada en Bq

U1 = Contaje del patrón de U en la zona 1

3.3.2. Medida del patrón de ²²⁶Ra

Cuando se realiza esta medida se obtiene un espectro del tipo del que aparece en la figura 2. Según se observa en la zona antes denominada "zona 1" aparece el fotopico correspondiente a la emisión de rayos X a 74 keV del Pb. La zona donde aparece la emisión de energía 609 keV correspondiente al Bi-214, se denomina "Zona 2" y comprende los canales 276 al 338. Esta última es la que se utiliza para la evaluación de la actividad de Ra-226. Resultado de esta medida son las relaciones siguientes:

$$* FR = \frac{AR}{R2}$$

$$* \frac{R1}{R2} \quad (\text{relación entre áreas integradas en zonas 1 y 2})$$

siendo:

AR: Actividad del patrón de Ra-226(Bq)

R1: Contaje correspondiente al patrón de Ra-226 en la zona 1

R2: " " " " " 2

3.3.3. Medida del patrón de ^{232}Th

Cuando se mide este patrón, tal y como se observa en la figura 3, aparecen fotopicos en las zonas definidas en los anteriores apartados, que corresponden en la "zona 1" a un fotopico de rayos X de 74 keV del Pb, que se superpone a las emisiones en esta zona de Th-234, y en la "zona 2" a la emisión de 583 keV del Tl-208 y que se superpone con el de Bi-214 ya definido.

Además aparecen dos fotopicos que corresponden a las emisiones del Ac-228 de energías 911 keV y 968 keV entre los canales 421-519. Esta última zona se denomina "zona 3" y es una gaussiana deformada por la superposición de los dos fotopicos citados. Hay que señalar que si la abundancia de U-238 es grande en la muestra, uno de sus descendientes, el Pa-234m, emite un fotopico de 1001 keV (0,59%), en cuyo caso será necesario corregir en la zona 3 calculando la actividad de este radionucleido a partir de otra emisión en 767 keV (0,21%).

A partir de la medida de este patrón, se obtienen las relaciones siguientes:

$$* FT = \frac{AT}{T3}$$

$$* \frac{T1}{T3} \quad (\text{relación entre áreas integradas en zona 1 y zona 3})$$

$$* \frac{T2}{T3} \quad (\text{relación entre áreas integradas en zona 2 y zona 3})$$

siendo:

AT: Actividad del patrón de Th-232 (Bq)

T1: Contaje correspondiente al patrón de Th-232 en la zona 1

T2: " " " " " 2

T3: " " " " " 3

3.4. Determinación de fondo

El fondo se ha determinado con muestras de sondeos iguales a los que se van a medir, que contienen los radionucleidos naturales presentes en este tipo de materiales. Se han realizado las integraciones en cada una de las zonas de interés definidas en el apartado anterior, para cada una de las geometrías utilizadas.

3.5. Establecimiento del Límite Inferior de Detección

La EPA (Environmental Protection Agency, 1983) recomienda que la concentración de Ra-226 (en zonas próximas al emplazamiento a estudiar) promediada en 100m^2 no exceda la concentración de fondo en más de:

- a) 5 pCi/g promediados sobre 15 cm de espesor de suelo.
- b) 15 pCi/g promediados sobre capas de 15 cm de espesor bajo la primera capa referida en a).

El límite inferior de detección del método propuesto se calcula mediante la expresión:

$$LID = \frac{4,65 \quad F}{E \times P \times T}$$

siendo:

F: Fondo en la zona del fotopico de la emisión

E: Eficiencia del detector

P: Peso de muestra

T: Tiempo de medida del fondo, calculado en función de los límites de detección que se desee conseguir.

Para cada uno de los radionucleidos a determinar en la geometría más utilizada (cápsulas Petri), los valores obtenidos aparecen en la tabla 2.

Tabla 2
Límites Inferiores de Detección

Radionucleido	LID (Bq/kg)	LID (pCi/g)
Unat	51,2	1,38
Ra-226	21	0,57
Th-232	18	0,49

4. CALCULO DE LAS ACTIVIDADES

A continuación se describe la realización de los cálculos de las actividades en muestras sólidas, procedentes de sondeos realizados en una fábrica de explotación de minerales de uranio, aunque como ya se ha señalado el método podría ser igualmente aplicado a otros tipos de muestras.

Estas medidas se realizaron con objeto de estudiar la penetración de los contaminantes

a distintas profundidades bajo el suelo, por lo que las muestras de los testigos se cortaron en rodajas del mismo diámetro y espesor que las ya descritas en la preparación de los patrones.

Una vez realizada la calibración del equipo con los tres patrones, se procede a la medida de las muestras. El tipo de los espectros gamma obtenidos estará comprendido en uno de los tres casos siguientes:

- Aparecen únicamente fotopicos en la zona 1.
- Aparecen fotopicos en las zonas 1 y 2.
- Aparecen fotopicos en las zonas 1, 2 y 3.

4.1. Caso 1

Si aparecen emisiones sólo en la "zona 1", se deduce que la muestra contiene únicamente ^{238}U , cuya actividad se obtiene fácilmente a partir de la del ^{234}Th aplicando los correspondientes factores de conversión. Si "M1" es el número de cuentas integradas en la zona 1, la actividad de uranio en dicha muestra se deduce en la expresión siguiente:

$$\text{Actividad U (Bq)} = M1 \times FU$$

4.2. Caso 2

En este caso, de la medida de la muestra se obtienen M1 y M2, en las zonas 1 y 2 respectivamente. La aparición de fotopico del ^{214}Bi en la zona 2 indica que hay ^{226}Ra , cuya actividad se deduce a partir de las relaciones obtenidas con el patrón correspondiente en dicha zona mediante la expresión:

$$\text{Actividad Ra-226 (Bq)} = M2 \times FR$$

Por otra parte, comparando la relación entre las áreas integradas en las zonas 1 y 2 para el patrón de ^{226}Ra y para la muestra, se deduce si ésta contiene también ^{238}U . Esta última se deduce de la actividad de ^{234}Th atribuible a la diferencia entre la relación de áreas de la zona 1 y 2 de la muestra y el patrón. El cálculo se realiza mediante la expresión:

$$\text{Actividad de U (Bq)} = [M1 - (M2 \times \frac{R1}{R2})] \times FU$$

4.3. Caso 3

El último caso corresponde a que la medida de la muestra proporcione un espectro con fotopicos en las tres zonas: 1, 2 y 3. De la integración del área del fotopico del Ac-228 en la zona 3, se deduce la actividad de Th-232 mediante la expresión siguiente:

$$\text{Actividad Th-232 (Bq)} = M3 \times FT$$

De la relación entre las áreas de los fotopicos en las zonas 2 y 3, medidas para la muestra y para el patrón de Th-232, se deduce la actividad de Bi-214 y por tanto de Ra-226. El cálculo se realiza mediante la expresión siguiente:

$$\text{Actividad Ra-226 (Bq)} = [M2 - (M3 \times \frac{T2}{T3})] \times FR$$

De la misma forma, de la comparación entre el cociente de las áreas de los fotopicos en las zonas 1 y 3 para muestra y el patrón de Th-232, y conocida la actividad atribuible al Bi-214, se deduce la actividad del ²³⁴Th. Se aplica la expresión siguiente:

$$\text{Actividad U (Bq)} = (M1 - [(M2 - M3 \times \frac{T2}{T3}) \times \frac{R1}{R2}] - M3 \times \frac{T1}{T3}) \times FU$$

5. CONCLUSIONES

- El método propuesto presenta la ventaja de que la medida se realiza sin separación radioquímica previa, con el consiguiente ahorro de tiempo y manipulaciones.
- Permite la medida conjunta de tres importantes radionucleidos naturales, y no presenta apenas problemas de interferencias; por todo ello, se presenta como idóneo para aplicar en un laboratorio de Protección Radiológica.
- La medida del Ra-226 presenta la ventaja de que se realiza a partir de un fotopico de porcentaje de emisión de 46% de intensidad (correspondiente al Bi-214).
- Los Límites Inferiores de Detección alcanzados son compatibles con los exigidos en las determinaciones a realizar en desmantelamientos y gestión de residuos radiactivos.
- Este método ha sido aplicado a muestras de sondeos de hormigones y soleras, a distintas profundidades, procedentes de una fábrica de explotación de minerales de uranio, comprobándose la utilidad y eficacia de su empleo.

6. BIBLIOGRAFIA

- * Canet A., Jacquemin R., 1990. Methods for measuring radium isotopes: GAMMA SPECTROMETRY. IAEA, Technical Reports Series nº 310 (Chapter 3-4).
- * Godoy J.M., 1990. Methods for measuring radium isotopes: GROSS ALPHA AND BETA COUNTING. IAEA, Technical Reports Series nº 310 (Chapter 3-5).
- * Jiang H., Holtzman R. B., 1989. Simultaneous determination of Ra-226 and Ra-228. Health Physics 57(1), 167-168.
- * Koide M., Bruland K.W., 1975. The electrodeposition and determination of radium by isotopic dilution in sea water and in sediments simultaneously with other natural radionuclides. Analytica Chimica Acta 75, 1-19.
- * Michel, D. R., Moore, W.S., King, P.T., 1981. Gamma-ray spectrometry for determination of radium-228 and radium-226 in natural waters. Anal. Chem. 53: 1885-1889.
- * Powers, R.P., Turnage, N.E., Kanipe, L.G., 1980. "Determination of radium-226 in environmental samples". CONF-780422.
- * Suárez del Rey J.A., González J. A., de Pablo M.A., 1987. Análisis radioquímico de radio total, Ra-226 y Ra-224. Report-Ciemat-603.
- * Tjoe-Pa L., Dave N.K., Cloutier R.N., 1989. High resolution Alpha-particle-spectrometry for radium analysis-the effects of sample thickness and filter pore size. Appl. Radiat. Isot. 40(1) 63-71.
- * U.S., Environmental Protection Agency, 1983, Remedial Action at inactive uranium processing sites. 40 CFR 192, Federal Register.

Figura 1: Espectro gamma patrón U-nat

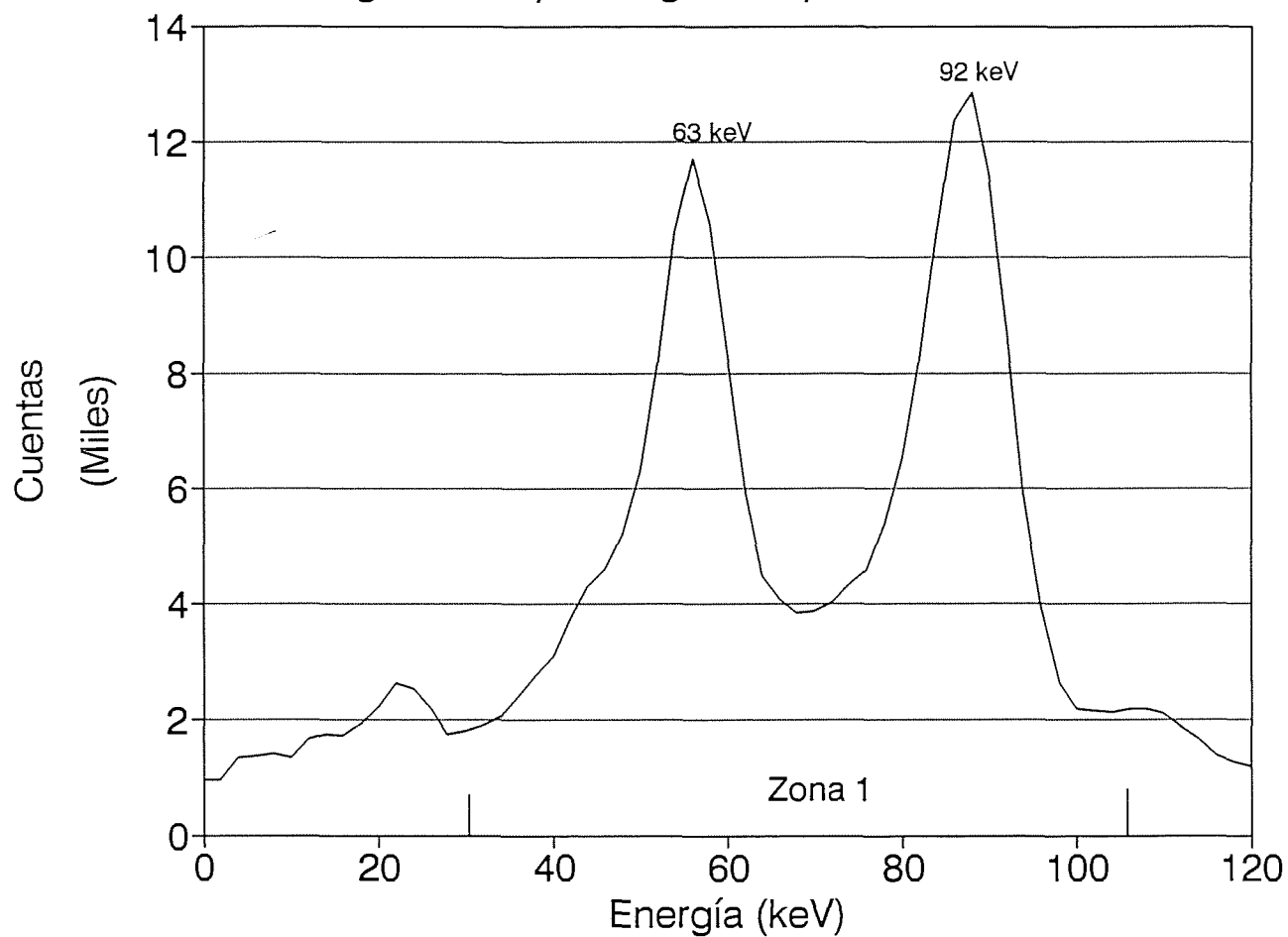


Figura 2: Espectro gamma patrón Ra-226

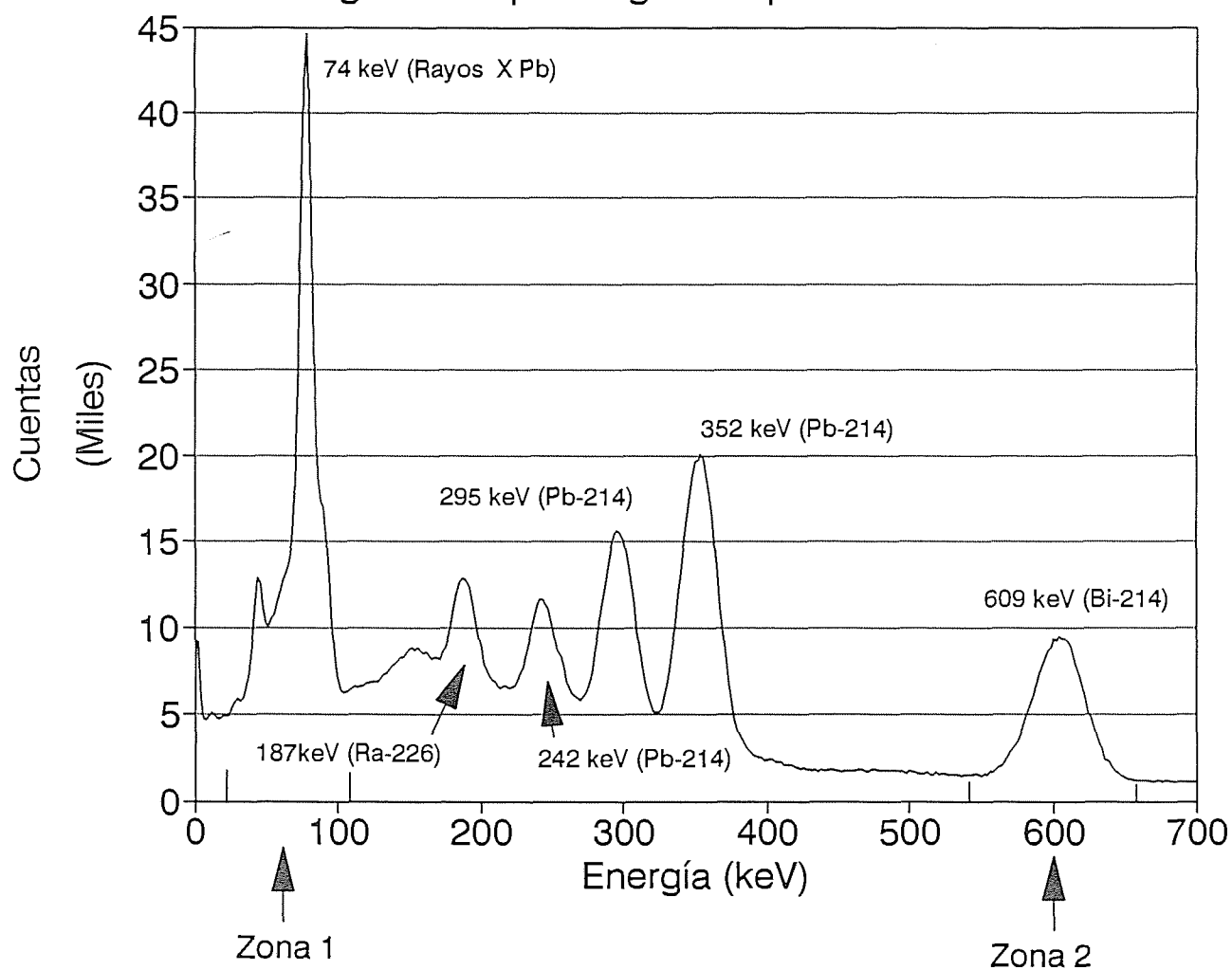
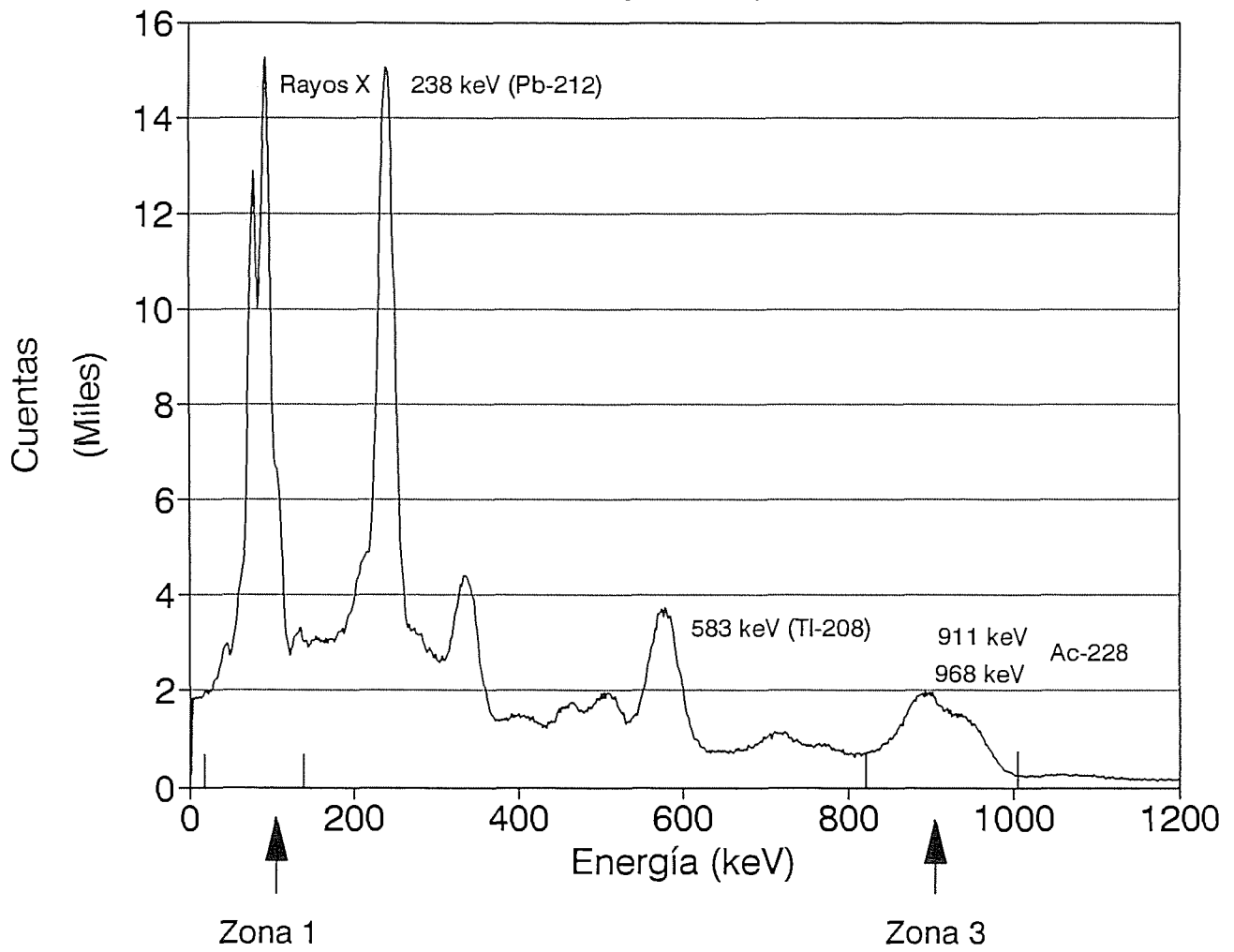


Figura 3: Espectro gamma patrón Th-nat



CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente. Madrid.

"Determinación de U (Natural), Th (Natural) y Ra-226 en diversos materiales, mediante espectrometría con INa (Tl)."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
Se ha desarrollado un método de determinación de Ra-226, uranio natural y torio natural mediante espectrometría gamma.

La calibración del sistema de medidas se realizó utilizando patrones preparados en el laboratorio. Una vez preparadas las muestras es necesario, antes de realizar las medidas, esperar que transcurra el tiempo suficiente para que se establezca el equilibrio radiactivo entre Ra-226, U-238 y Th-232 y sus hijos, ya que la actividad de los padres se determina a partir de las medidas de los fotopicos de los hijos.

El método descrito ha sido utilizado con éxito para la realización de estudios sobre migración de radionucleidos en muestras procedentes de fábricas de uranio.

CLASIFICACION DOE Y DESCRIPTORES: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluation. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente. Madrid.

"Determinación de U (Natural), Th (Natural) y Ra-226 en diversos materiales, mediante espectrometría con INa (Tl)."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
Se ha desarrollado un método de determinación de Ra-226, uranio natural y torio natural mediante espectrometría gamma.

La calibración del sistema de medidas se realizó utilizando patrones preparados en el laboratorio. Una vez preparadas las muestras es necesario, antes de realizar las medidas, esperar que transcurra el tiempo suficiente para que se establezca el equilibrio radiactivo entre Ra-226, U-238 y Th-232 y sus hijos, ya que la actividad de los padres se determina a partir de las medidas de los fotopicos de los hijos.

El método descrito ha sido utilizado con éxito para la realización de estudios sobre migración de radionucleidos en muestras procedentes de fábricas de uranio.

CLASIFICACION DOE Y DESCRIPTORES: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluation. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente. Madrid.

"Determinación de U (Natural), Th (Natural) y Ra-226 en diversos materiales, mediante espectrometría con INa (Tl)."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
Se ha desarrollado un método de determinación de Ra-226, uranio natural y torio natural mediante espectrometría gamma.

La calibración del sistema de medidas se realizó utilizando patrones preparados en el laboratorio. Una vez preparadas las muestras es necesario, antes de realizar las medidas, esperar que transcurra el tiempo suficiente para que se establezca el equilibrio radiactivo entre Ra-226, U-238 y Th-232 y sus hijos, ya que la actividad de los padres se determina a partir de las medidas de los fotopicos de los hijos.

El método descrito ha sido utilizado con éxito para la realización de estudios sobre migración de radionucleidos en muestras procedentes de fábricas de uranio.

CLASIFICACION DOE Y DESCRIPTORES: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluation. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente. Madrid.

"Determinación de U (Natural), Th (Natural) y Ra-226 en diversos materiales, mediante espectrometría con INa (Tl)."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
Se ha desarrollado un método de determinación de Ra-226, uranio natural y torio natural mediante espectrometría gamma.

La calibración del sistema de medidas se realizó utilizando patrones preparados en el laboratorio. Una vez preparadas las muestras es necesario, antes de realizar las medidas, esperar que transcurra el tiempo suficiente para que se establezca el equilibrio radiactivo entre Ra-226, U-238 y Th-232 y sus hijos, ya que la actividad de los padres se determina a partir de las medidas de los fotopicos de los hijos.

El método descrito ha sido utilizado con éxito para la realización de estudios sobre migración de radionucleidos en muestras procedentes de fábricas de uranio.

CLASIFICACION DOE Y DESCRIPTORES: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluation. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente, Madrid.

"Simultaneous determination of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry INa(Tl), in solid samples."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
A method has been developed to determine activities of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry.

The measurement system has been calibrated using standards specially prepared at the laboratory. It is necessary to assume secular equilibrium in the samples, between Ra-226 and Th-232 and its daughters nuclides, and between U-238 and its immediate daughter Th-234, as the photopeaks measured are those of the daughters.

The results obtained indicate that this method can offer replace the radiochemical techniques used to measure activities in this type of sample. The method has been successfully used to determine these natural isotopes in samples from uranium mills.

DOE CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluations. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente, Madrid.

"Simultaneous determination of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry INa(Tl), in solid samples."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
A method has been developed to determine activities of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry.

The measurement system has been calibrated using standards specially prepared at the laboratory. It is necessary to assume secular equilibrium in the samples, between Ra-226 and Th-232 and its daughters nuclides, and between U-238 and its immediate daughter Th-234, as the photopeaks measured are those of the daughters.

The results obtained indicate that this method can offer replace the radiochemical techniques used to measure activities in this type of sample. The method has been successfully used to determine these natural isotopes in samples from uranium mills.

DOE CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluations. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente, Madrid.

"Simultaneous determination of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry INa(Tl), in solid samples."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
A method has been developed to determine activities of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry.

The measurement system has been calibrated using standards specially prepared at the laboratory. It is necessary to assume secular equilibrium in the samples, between Ra-226 and Th-232 and its daughters nuclides, and between U-238 and its immediate daughter Th-234, as the photopeaks measured are those of the daughters.

The results obtained indicate that this method can offer replace the radiochemical techniques used to measure activities in this type of sample. The method has been successfully used to determine these natural isotopes in samples from uranium mills.

DOE CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluations. Quantitative Chemical Analysis.

CIEMAT-664

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto de Protección Radiológica y Medio Ambiente, Madrid.

"Simultaneous determination of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry INa(Tl), in solid samples."

SALVADOR, S.; NAVARRO, T.; ALVAREZ, A. (1991) 21 pp., 3 figs., 9 refs.
A method has been developed to determine activities of Ra-226, natural uranium and natural thorium by gamma-ray spectrometry.

The measurement system has been calibrated using standards specially prepared at the laboratory. It is necessary to assume secular equilibrium in the samples, between Ra-226 and Th-232 and its daughters nuclides, and between U-238 and its immediate daughter Th-234, as the photopeaks measured are those of the daughters.

The results obtained indicate that this method can offer replace the radiochemical techniques used to measure activities in this type of sample. The method has been successfully used to determine these natural isotopes in samples from uranium mills.

DOE CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: 400101. Radon 226. Thorium. Uranium. Daughter Products. Gamma Spectroscopy. Calibration Standards. Natural Radioactivity. Comparative Evaluations. Quantitative Chemical Analysis.

