

**ANALISIS RADIOQUIMICO DE RADIO TOTAL,
RADIO-226 Y RADIO-224**

por

J.A. Suárez González Del Rey

J.A. González González

M.A. De Pablo Sanmartín

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

MADRID, 1987

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES:

B13.00

RADIUM

RADIUM 224

RADIUM 226

RADIOMETRIC ANALYSIS

PRECIPITATION

ALPHA DETECTION

WASTE WATER

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, 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 Thesauró del INIS para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. Para más detalles con sultese el informe IAEA-INIS-12 (INIS: Manual de Indización) y IAEA-INIS-13 (INIS: Thesauró) publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

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

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Noviembre de 1986.

ANALISIS RADIOQUIMICO DEL RADIO TOTAL,

RADIO-226 Y RADIO-224

1. INTRODUCCION

2. CARACTERISTICAS RADIATIVAS

2.1 Radio 226

2.2 Radio 224

2.3 Radio 223

2.4 Radio 228

3. FUNDAMENTO DEL METODO

4. CONDICIONES EXPERIMENTALES

4.1 Material y aparatos

4.2 Reactivos

4.2.1 Disolución patrón

4.2.2 Reactivos generales

4.3 Procedimiento

4.3.1 Preparación de la muestra problema

4.3.2 Preparación de la muestra de calibración

4.3.3 Preparación de la muestra de fondo

4.3.4 Medida de la muestra problema

4.3.5 Medida de la muestra de calibración

4.3.6 Medida de la muestra de fondo

4.4 Cálculos

- 4.4.1 Rendimiento químico
- 4.4.2 Rendimiento de detección
- 4.4.3 Factor de autoabsorción
- 4.4.4 Factor de crecimiento
- 4.4.5 Actividad del radio total
- 4.4.6 Actividad del Ra-226 y del Ra-224
- 4.4.7 Tratamiento estadístico
- 4.4.8 Error de la actividad
- 4.4.9 Límite de detección
- 4.4.10 Expresión de resultados

5. DISCUSION DE RESULTADOS

7. BIBLIOGRAFIA

8. TABLAS Y FIGURAS

ANALISIS RADIOQUIMICO DEL RADIO TOTAL,

RADIO-226 Y RADIO-224

1. INTRODUCCION

En la naturaleza hay cuatro isótopos importantes del radio: Ra-223, Ra-224, Ra-226 y Ra-228. De ellos el Ra-226 es el más conocido y el que acapara el nombre genérico de radio. La actividad de 1 g. de radio corresponde por definición a 1 Curio.

El Ra-226 es un descendiente radiactivo del U-238 y ambos se encuentran en equilibrio secular. El Ra-224 y el Ra-228 son descendientes del Th-232 y están en equilibrio secular con él. El Ra-223 forma parte de la serie radiactiva del U-235.

La abundancia del radio en la naturaleza está relacionada con la presencia del uranio y del torio, que varían en los distintos tipos de rocas, minerales y sedimentos. En estas muestras se mantiene el equilibrio secular del radio en sus cadenas.

El comportamiento químico del uranio y del torio es diferente. El uranio forma complejos carbonatados y bicarbonatados a partir de un pH 8 que facilitan su lixiviación natural. El torio no los forma. El agua puede desplazar el uranio, el torio y el radio a grandes distancias, sin mantener el equilibrio secular de sus cadenas, pues su comportamiento químico y sus formaciones cristalográficas son diferentes. (1), (2).

El presente método permite detectar actividades superiores a 0,01 pCi, realizando una separación radioquímica para el radio y midiendo sus emisiones alfa con detectores de SZn(Ag). (3), (4).

2. CARACTERISTICAS RADIATIVAS

Al aislar el radio en una muestra, se separan simultáneamente el Ra-223, Ra-224, Ra-226 y Ra-228. Estos isótopos se desintegran, iniciando cadenas radiactivas que tienden al equilibrio secular. Los elementos de las cadenas de desintegración son emisores alfa, beta y gamma.

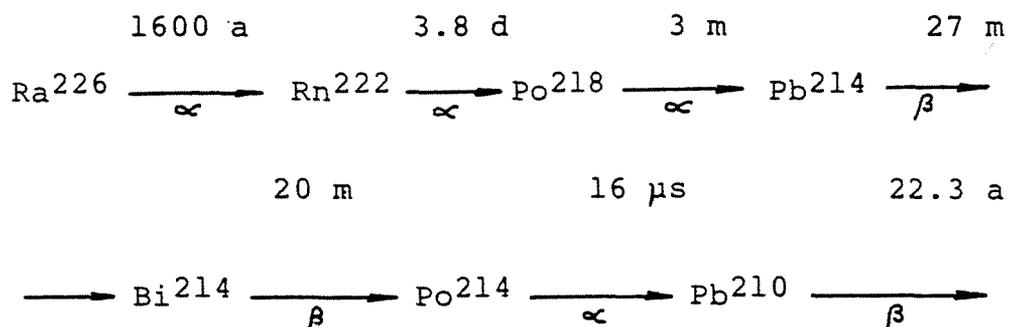
Para medir la actividad del radio se utilizan en este método detectores de SZn(Ag) específicos para emisiones alfa. (5), (6).

Las emisiones alfa de los isótopos de las cadenas de desintegración varían con el tiempo y su fluctuación puede ser calculada con las leyes de desintegración radiactiva.

2.1 Radio 226

El radio-226 es un isótopo radiactivo emisor alfa, de la cadena del uranio natural.

El esquema de sus descendientes radiactivos es



Inicialmente, el Ra-226 es el único emisor alfa de su cadena, pero con el tiempo sus descendientes incrementan estas emisiones. Las emisiones alfa del Rn-222, del Po-218 y del Po-214 se superponen a las emisiones alfa del Ra-226.

Las variaciones de estas emisiones alfa en función del tiempo se calculan con las fórmulas de desintegración

$$A(\text{Ra}^{226}) = A_6(0)$$

$$A(\text{Rn}^{222}) = A_6(0) \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

$$A(\text{Po}^{218}) = A(\text{Rn}^{222}) = A_6(0) \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

$$A(\text{Po}^{214}) \cong A(\text{Po}^{218}) = A_6(0) \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

donde $\lambda = \ln 2 / (3.824 \times 24) \cdot \text{h}^{-1}$

La suma de todas las emisiones alfa es

$$\begin{aligned}
 A_6(t) &= A_6(0) + 3 \cdot A_6(0) \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \\
 &= A_6(0) \cdot (4 - 3 \cdot e^{-\lambda t}) \\
 &= A_6(0) \cdot F_6(t)
 \end{aligned}$$

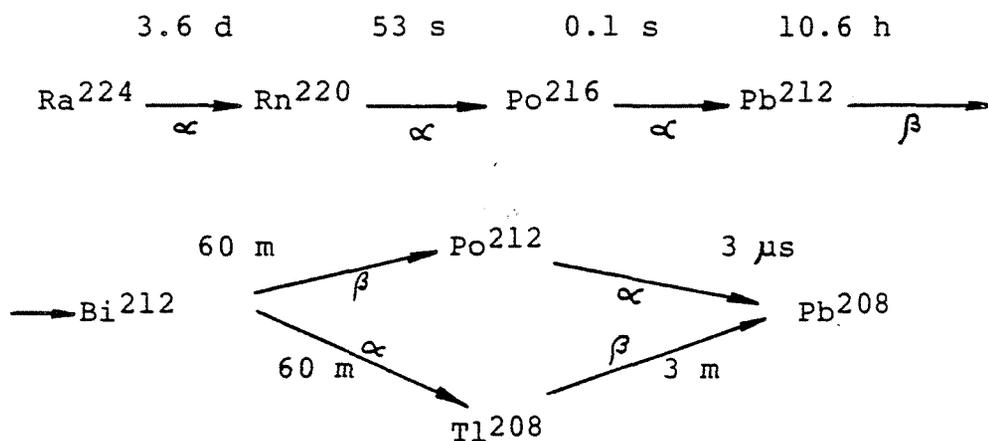
$F_6(t)$ es un factor de crecimiento de la actividad alfa de la cadena del Ra-226. Su valor varía desde 1 hasta 4 en función del tiempo según se deduce de su expresión matemática

$$F_6(t) = 4 - 3 e^{-\lambda t}$$

2.2 Radio 224

El radio-224 es un isótopo radiactivo emisor alfa, de la cadena del torio natural, cuyos descendientes se desintegran mediante emisiones alfa y beta.

Al aislar el Ra-224, sus descendientes van apareciendo y crecen, formando una cadena de desintegración



Las emisiones alfa se superponen. Su variación puede calcularse con la fórmula

$$A(\text{Ra}^{224}) = A_4(0) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$A(\text{Rn}^{220}) = A(\text{Ra}^{224}) = A_4(0) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$A(\text{Po}^{216}) = A(\text{Rn}^{220}) = A_4(0) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$A(\text{Bi}^{212}) = A_4(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 \cdot t} - e^{-\lambda_2 \cdot t})$$

donde

$$\lambda_1 = \ln 2 / (3.6 \times 24) \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \ln 2 / (11.6) \cdot \text{h}^{-1}$$

La suma de todas las emisiones alfa es

$$\begin{aligned} A_4(t) &= 3 A_4(0) e^{-\lambda_1 t} + A_4(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \\ &= A_4(0) \left[3 \cdot e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \right] \\ &= A_4(0) \cdot F_4(t) \end{aligned}$$

$F_4(t)$ es el factor de crecimiento de la actividad alfa de la cadena del Ra-224. Su valor varía desde 3 hasta 0 en función del tiempo, según la expresión matemática

$$F_4(t) = 3 \cdot e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

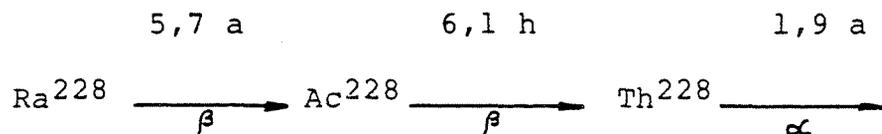
2.3 Radio 223

El radio-223 es un isótopo radiactivo emisor alfa, de la cadena del U-235, que está presente en el uranio natural en una proporción del 0,7%.

En el uranio natural la actividad del U-238 es 20 veces superior a la actividad del U-235. Al estar los componentes de sus series en equilibrio secular la actividad del Ra-226 es también 20 veces superior a la actividad del Ra-223. En una muestra de origen natural que contenga Ra-226, también se encuentra el Ra-223. Las emisiones alfa del Ra-223 y sus descendientes son despreciables frente a las emisiones alfa del Ra-226 y sus descendientes.

2.4 Radio 228

El radio-228 es un isótopo radiactivo emisor beta, de la cadena del torio natural. Al aislarse, sus descendientes forman una cadena de emisores beta



Las emisiones alfa, tardarán en ser apreciables varios años.

3. FUNDAMENTO DEL METODO

El presente método se utiliza para la determinación del radio total, suponiendo que todas las emisiones alfa de la muestra tienen su origen en el Ra-226 y los elementos de su cadena de desintegración. También permite evaluar las actividades del Ra-226 y del Ra-224 separadamente, realizando una medida después de la separación química del radio y otra 10 días más tarde.

La separación radioquímica del radio permite aislar este elemento sin interferencias. En el proceso se añade como portador una cantidad conocida de bario inactivo y como coadyuvante de la precipitación inicial, plomo.

Ambos portadores y los isótopos del radio se precipitan como sulfatos y se someten a un proceso de separación y purificación según se indica en el diagrama bloque adjunto. Finalmente se obtiene un precipitado de sulfato de bario que permite el cálculo del rendimiento químico de todo el proceso.

Para medir la actividad del radio se utilizan en este método detectores de $SZn(Ag)$ en contacto con el precipitado. Las emisiones alfa del radio y sus descendientes, interaccionan con los cristales de $SZn(Ag)$ produciendo destellos luminosos, que son transformados en impulsos eléctricos por un fotomultiplicador y contados por un sistema electrónico. Este tipo de detectores se ha seleccionado porque su límite de detección es muy bajo, las emisiones alfa en los descendientes del radio son muy abundantes y las emisiones beta y gamma no interfieren con las emisiones alfa.

4. CONDICIONES EXPERIMENTALES

4.1 MATERIAL Y APARATOS

- Material de vidrio de uso corriente en el laboratorio.
- Placa calefactora con temperatura regulable.
- Balanza analítica.
- Medidor de pH con electrodo combinado.
- Centrífuga
- Epirradiador
- Contador de centelleo de sulfuro de zinc, $SZn(Ag)$, con un rendimiento de detección para el americio-241 superior a 0.4 en 2π un fondo inferior a 0,010 cuentas por minuto (c.p.m.) y una superficie de detección superior a 10 cm^2 .
- Discos de sulfuro de zinc de un solo uso.
- Planchetas de acero inoxidable (18/8) cuyo fondo sea inferior a 0,010 c.p.m. adaptadas al diámetro útil del detector.

4.2 REACTIVOS

4.2.1 Disoluciones patrón

- Portador de bario (1 ml = 10 mg de BaSO_4). Pesar 10.46 gr de cloruro de bario tipo R.A. ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), disolver y aforar a 1 litro.
- Disolución de radio-226 tipo patrón absoluto con certificado de calibración.

4.2.2 Reactivos generales

- Acido clorhídrico (HCl) concentrado 12 M.
- Acido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 1 Molar. Pesar 210 g. de ácido cítrico, disolver y aforar a 1 litro.
- Acido sulfúrico (H_2SO_4) 1 : 1 v/v. Tomar 500 ml. de ácido sulfúrico 18 M, añadirlos a 400 ml. de agua y aforar a 1.000 ml.
- Acido nítrico (HNO_3) concentrado.
- Acido acético (CH_3COOH) concentrado.
- Acido etilendiamino tetraacético disódico dihidratado ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (complexona III) 0,25 M. Disolver 93 g. de complexona III en 500 ml. de agua hirviente y diluir a 1 litro.
- Hidróxido de amonio (NH_4OH) 15 M.

- Portador de plomo. Disolver 160 gr. de nitrato de plomo $Pb(NO_3)_2$ en 500 ml. de agua.
- Anaranjado de metilo. Disolver 0,1 g. del indicador en 1 litro de agua.
- Fenolftaleína. Disolver 0,1 g. del indicador en 500 ml. de etanol y diluir con agua hasta 1 litro.

4.3 PROCEDIMIENTO

4.3.1 Preparación de la muestra problema

- Tomar una alícuota de 1 litro de la muestra destinada al análisis.
- Añadir 5 ml. de ácido clorhídrico concentrado.
- Añadir 5 ml de ácido cítrico 1 M.
- Añadir 2 ml (con pipeta) de portador de bario.
- Añadir 1 ml de portador de plomo.
- Calentar a ebullición.
- Añadir 1 ml de fenolftaleína.
- Añadir hidróxido de amonio concentrado hasta cambio a rosa y 5 ml en exceso.
- Añadir ácido sulfúrico 1:1 hasta cambio de la fenolftaleína a incoloro.

- Añadir 1 ml de anaranjado de metilo.
- Añadir ácido sulfúrico 1:1 hasta cambio a color rosa y añadir 1 ml en exceso.
- Dejar en reposo una noche.
- Decantar la parte clara, lo más apurado posible y pasar el sólido a tubos de centrifuga.
- Centrifugar (5 minutos) y lavar 2 veces el precipitado con 10 ml de ácido nítrico concentrado, centrifugando después de cada lavado.
- Lavar 2 veces con 10 ml de agua y centrifugar después de cada lavado.
- Añadir 20 ml de complexona III 0,25 M y 3 gotas de fenolftaleína.
- Añadir hidróxido de amonio concentrado hasta color rojo y 1 ml. en exceso.
- Calentar en baño de agua y agitar con una varilla hasta que se disuelva todo el precipitado. (Si quedase algún residuo insoluble se centrifuga y se eliminan los sólidos resultantes, continuando con los líquidos la etapa siguiente).
- Añadir ácido acético concentrado, hasta pH 5,3 - 5,0 y anotar la hora como tiempo cero. En este punto se reprecipitará el BaSO_4 - RaSO_4 .

- Dejar en reposo 10 minutos, enfriar y centrifugar.
- Lavar 3 veces con 25 ml de agua destilada y centrifugar después de cada lavado.
- Pasar los precipitados, con ayuda de un frasco lavador con agua, a sus respectivas planchetas, previamente taradas.
- Evaporar en placa, a baja temperatura y una vez seco el precipitado, calcinar en epirradiador durante 10 minutos. Pesar la plancheta con el precipitado de BaSO_4 - RaSO_4 .
- Colocar un disco de SZn(Ag) sobre la plancheta con el precipitado.

4.3.2 Preparación de las muestras de calibración

- Tomar una alícuota del patrón de Ra-226 en un tubo de centrífuga.
- Añadir 2 ml de portador de bario.
- Añadir 1 ml de portador de plomo.
- Añadir ácido sulfúrico 1:1 en exceso.
- Continuar de la misma forma que en la muestra problema (4.3.1) hasta el final del proceso.

4.3.3 Preparación de las muestras de fondo

Se preparan de la misma forma que la muestra problema (4.1) utilizando en su lugar agua destilada.

4.3.4 Medida de las muestras problema

- . Si se desea calcular la actividad del radio total se realiza una medida después de la separación radioquímica, durante un tiempo de 8 horas.
- . Si se desea calcular la actividad del Ra-226 y del Ra-224 simultáneamente, se realizan dos medidas: la primera dos días después de la separación radioquímica y la segunda a partir del sexto día. Ambas medidas son de 8 horas.

4.3.5 Medida de las muestras de calibración

La medida se realiza de la misma forma que la muestra problema.

4.3.6 Medida de las muestras de fondo

Se realiza la medida dos días después de la separación radioquímica, durante 24 horas.

4.4 CALCULOS

4.4.1 Rendimiento químico

El rendimiento químico del proceso de separación del radio, R_q , se obtiene a partir de la relación

$$R_q = \frac{P_f}{P_i}$$

P_f peso de $BaSO_4$ obtenido en la plancheta.

P_i peso de $BaSO_4$ teórico añadido como portador (20 mg en este proceso).

4.4.2 Rendimiento de detección

El rendimiento del sistema de detección para el radio, se considera igual al obtenido para el Am-241 utilizado en la calibración de la medida alfa total, con espesores másicos prácticamente nulos (inferior a $0,1 \text{ ug/cm}^2$). Con esta técnica el rendimiento de detección para las emisiones alfa es constante y no depende de la energía de las partículas alfa.

$$R_f = \frac{C}{E}$$

C número total de sucesos por minuto registrados por el sistema de detección.

E emisiones alfa por minuto de la muestra patrón en una geometría 4π

4.4.3 Factor de autoabsorción

Las emisiones alfa pueden interaccionar con la propia muestra y, por esta causa, no alcanzar el detector. El factor de autoabsorción es la relación entre las emisiones alfa que no son autoabsorbidas por la muestra y todas las emisiones alfa. Su valor es inferior a 1, y se calcula con una expresión semiempírica, como una función del espesor másico de la muestra, o para depósitos de superficie bien definidos del peso total del depósito (9)

$$F_a(m) = \frac{1 - e^{-\mu \cdot m^a}}{\mu \cdot m^a} = \frac{C(m)}{C(0)}$$

μ y a son parámetros experimentales.

Los valores de μ y a se obtienen ajustando numéricamente las variaciones de los rendimientos de detección en función del peso del depósito.

De esta manera la relación que existe en una muestra de peso m entre las detecciones $C(m)$ y los emisores alfa E , depende del rendimiento de detección para el espesor cero R_f y del factor de autoabsorción para un peso del depósito m $F_a(m)$. Tabla I.

$$R_f \cdot F_a(m) = \frac{C(m)}{E}$$

Estos resultados pueden obtenerse experimentalmente con patrones de Am-241 y depósitos de sulfato de bario.

4.4.4 Factor de crecimiento

Este factor permite calcular la variación con el tiempo de las emisiones alfa en las cadenas que forman el radio. Se deduce a partir de las leyes de la desintegración para cadenas radiactivas. Su valor es diferente para el Ra-226 y el Ra-224.

El factor de crecimiento del Ra-226, $F6(t)$ se obtiene con la expresión

$$F6(t) = 4 - 3e^{-\lambda t}$$

donde

$$\lambda = \ln 2 / (3.824 \times 24) \cdot h^{-1}$$

t en horas

El factor de crecimiento del Ra-224, $F4(t)$ se obtiene con la expresión

$$F4(t) = 3 \cdot e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

donde

$$\lambda_1 = \ln 2 / (3.6 \times 24) \cdot h^{-1}$$

$$\lambda_2 = \ln 2 / (11.6) \cdot h^{-1}$$

Los valores de $F6(t)$ y $F4(t)$ están calculados en la Tabla II y Tabla III.

4.4.5 Actividad del radio total

Si las emisiones alfa de la muestra de radio proceden únicamente del Ra-226 y de los elementos que se forman en su cadena de desintegración, es suficiente una sola medida para evaluar su actividad.

La actividad del radio total permite acotar la actividad del Ra-226 por exceso. Su valor expresado en Bq/L ó Bq/g se calcula con la siguiente expresión

$$A_6(0) = \frac{1}{60} \frac{c(t) - f}{R_f \cdot F_6(t) \cdot F_a(m) \cdot R_q \cdot V}$$

$c(t)$ número total de sucesos por minuto registrados por el sistema, en la muestra problema, transcurridos t minutos después de la separación radioquímica.

f número de sucesos por minuto en la muestra de fondo por el mismo sistema de detección

R_f rendimiento alfa del sistema de detección

$F_6(t)$ factor de crecimiento del Ra-226 en t

$F_a(m)$ factor de autoabsorción alfa para un espesor másico m .

R_q rendimiento de separación radioquímica del Ra.

V volumen ó peso de la muestra en L ó g.

4.4.6 Actividad del Ra-226 y del Ra-224

La presencia de Ra-224. y las emisiones alfa de los elementos de su cadena de desintegración, interfieren con las emisiones alfa producidas en la cadena del Ra-226. En este caso ambas emisiones se suman y varían con el tiempo de forma diferente.

Para calcular la actividad del Ra-226 y del Ra-224 simultáneamente se realizan dos medidas. La primera dos días después de la separación radioquímica del Ra, en t_1 . La segunda, a partir del sexto día de la separación radioquímica en t_2 .

La actividad alfa de la muestra en t , $A(t)$, es la suma de las actividades alfa de los elementos de la cadena del Ra-226, $A_6(t)$, y del Ra-224, $A_4(t)$

$$A(t) = A_6(t) + A_4(t) = \frac{1}{60} \cdot \frac{c(t) - f}{R_f \cdot F_a(m) \cdot R_q \cdot V}$$

$$A(t) = A_6(0) \cdot F_6(t) + A_4(0) \cdot F_4(t)$$

Como se realizan dos medidas se plantean dos ecuaciones que permiten calcular $A_6(0)$ y $A_4(0)$

$$A(t_1) = A_6(0) \cdot F_6(t_1) + A_4(0) \cdot F_4(t_1)$$

$$A(t_2) = A_6(0) \cdot F_6(t_2) + A_4(0) \cdot F_4(t_2)$$

4.4.7 Tratamiento estadístico

Para evaluar la actividad del radio total ó las actividades del Ra-226 y del Ra-224, se pueden efectuar varias medidas sucesivas en t_i . En este caso los cálculos se realizan ajustando por mínimos cuadrados los resultados de las medidas. La actividad alfa de la muestra en t es $A(t)$

$$A(t) = A_6(t) + A_4(t) = \frac{1}{60} \cdot \frac{c(t) - f}{R_f \cdot F_a(m) \cdot R_q \cdot V}$$

La actividad del radio total se calcula con las ecuaciones que se obtienen de las i medidas realizadas en el tiempo t_i

$$A(t_i) = A_6(t_i) = A_6(0) \cdot F_6(t_i)$$

El valor de la actividad del radio total se calcula cuando la desviación cuadrática de la actividad alfa de la muestra, S , es mínima

$$S = \sum \left[A_6(0) \cdot F_6(t_i) - A(t_i) \right]^2$$

$$\frac{\partial S}{\partial A_6(0)} = 0 = \sum F_6(t_i) \cdot \left[A_6(0) \cdot F_6(t_i) - A(t_i) \right]$$

$$A_6(0) = \frac{\sum F_6(t_i) \cdot A(t_i)}{\sum F_6(t_i)^2}$$

La actividad del Ra-226 y del Ra-224 se calcula con las i medidas realizadas en el tiempo t_i resolviendo las ecuaciones

$$A(t_i) = A_6(0) \cdot F_6(t_i) + A_4(0) \cdot F_4(t_i)$$

La desviación cuadrática de la actividad alfa de la muestra, S , es

$$S = \sum \left[A_6(0) \cdot F_6(t_i) + A_4(0) \cdot F_4(t_i) - A(t_i) \right]^2$$

La actividad del Ra-226 y del Ra-224 se calcula para los valores mínimos de la desviación cuadrática

$$\frac{\partial S}{\partial A_6(0)} = \sum F_6(t_i) \left[A_6(0) F_6(t_i) + A_4(0) F_4(t_i) - A(t_i) \right]$$

$$\frac{\partial S}{\partial A_4(0)} = \sum F_4(t_i) \left[A_6(0) F_6(t_i) + A_4(0) F_4(t_i) - A(t_i) \right]$$

Se obtienen dos ecuaciones que permiten calcular $A_6(0)$ y $A_4(0)$

$$A_6(0) \cdot \sum F_6(t_i)^2 + A_4(0) \sum F_6(t_i) F_4(t_i) = \sum F_6(t_i) A(t_i)$$

$$A_6(0) \cdot \sum F_6(t_i) \cdot F_4(t_i) + A_4(0) \sum F_4(t_i)^2 = \sum F_4(t_i) \cdot A(t_i)$$

4.4.8 Error de la actividad

Para un intervalo de confianza del 95% el error se calcula con la expresión

$$\varepsilon = \frac{2}{60} \frac{1}{R_f \cdot F6(t) \cdot Fa(m) \cdot R_q \cdot V} \sqrt{\frac{c}{T_c} + \frac{f}{T_f}}$$

T_c tiempo total de la medida de la muestra

T_f tiempo total de la medida del fondo

No se tienen en cuenta los errores del patrón de calibración y del resto del proceso por considerarse que no son significativos frente a los demás.

4.4.9. Límite de detección

El límite inferior de detección (LID) se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$\text{LID} = \frac{3.32}{60} \frac{1}{R_f \cdot F6(t) \cdot Fa(m) \cdot R_q \cdot V} \sqrt{\frac{f}{T_c} + \frac{f}{T_f}}$$

4.4.10 Expresión de resultados

En el caso de que el error de la actividad (ε) sea superior a la actividad, el resultado se expresa como inferior al límite de detección. En el resto de los casos el resultado se expresa como

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Se ha realizado la separación radioquímica del radio en varias muestras de agua, de 250 a 1.000 ml. Los rendimientos de separación radioquímica alcanzan fácilmente valores superiores al 80%.

Las medidas se realizan acumulando las detecciones alfa de un detector de $SZn(Ag)$ de 10 cm^2 durante 8 horas. El rendimiento de detección es próximo al 46%.

Para estudiar los resultados, las medidas se efectúan después de la separación, durante los primeros días y en días posteriores.

Con los resultados de las medidas se calcula la actividad de las emisiones alfa, la actividad del radio total, y las actividades del Ra-226 y del Ra-224. Estos valores están calculados para nueve muestras diferentes. Tabla V.

En la primera muestra, se observa que los valores de las actividades obtenidas para el radio total y Ra-226 coinciden y que la actividad del Ra-224 es despreciable. Por esta razón los resultados obtenidos con las medidas realizadas después de la separación son las mismas que las obtenidas en días posteriores.

En las últimas siete muestras, la actividad del radio total, es superior a la actividad del Ra-226, y su valor va disminuyendo en medidas sucesivas. Las actividades del radio total y del Ra-226 coinciden cuando han transcurrido 8 ó 10 días desde la separación, ya que la actividad del Ra-224 y sus descendientes es para entonces despreciable.

Las actividades del Ra-226 y del Ra-224 se pueden obtener simultáneamente con dos o más medidas: la primera se tiene que realizar dos días después de la separación y las demás a partir del cuarto día.

La actividad del radio total, no decrece como el Ra-226, debido a la presencia del Ra-224 y sus descendientes. Para confirmar la presencia del Ra-224, se conserva la fracción líquida del precipitado de los sulfatos que queda en el proceso de separación durante uno o dos meses.

Esta espera es imprescindible, ya que si en la muestra problema hay Ra-224, en la fracción líquida del residuo también hay Th-228, que se desintegra nuevamente en Ra-224 y ambos están otra vez en equilibrio secular transcurrido un mes.

Al efectuar una separación del radio en esta fracción líquida, se verifica que está formada mayoritariamente por Ra-224 y su actividad coincide con el obtenido en la muestra inicial. Los resultados obtenidos con la fracción líquida corresponden a la muestra número 2.

7 - BIBLIOGRAFIA

- (1) "Radiochemical Methodology for Drinking Water". "Radium-226 in drinking water". Environmental Protection Agency. EPA-600/4-75-008. 1975.
- (2) "Standard Methodos for the examination of water and Wastewater". 15th Edition. 1980. American Public Health Association. 1015 Fifteenth Street. N.W. Washington D.C. 20005.
- (3) D.E. McCurdy, R.A. Meller. "An alternative Technique for the Determination of Ra-226 and Ra-228 in Drinking Water". Yankee Atomic Electric Company. Environmental Laboratory. Westborough. Massachusetts. 1979.
- (4) "Annual Book of ASTM Standards". Part 23 (1971), American Society for Testing Materials, 1916 Race Street, Philadelphia PA 19103. Method Nº D2460-70.
- (5) H. Duquesne, E. Godfroi, J. Govaerts. "Low-level Radium Content in Water Determined by Alpha Counting". Health Physics 9, 927 (1963).
- (6) H.G. Scheibel, J. Porstendofer, A. Wicke. "A Device for the determination of low natural Rn-222 and Ra-226 concentrations". Nuclear Instruments and Methods 165 (1979) 345-348. North-Holland Publishing Co.
- (7) M. Irfan, J. Fagan. "Measurements of Radon Daughters in air using gamma spectrometry". Nuclear Instruments and Methods 166 (1979) 567-570. North-Holland Publishing Co.
- (8) Low-level activity of Radium-226 in water measured with a 3 x 3 Inch NaI (Tl) Crystal.
- (9) "Influencia de la autoabsorción en la medida de la actividad alfa total en muestras de agua". M.L. Aceña, J.A. González, A. de Pablo, Report J.E.N. 505. 1981.

FIGURA 1.a

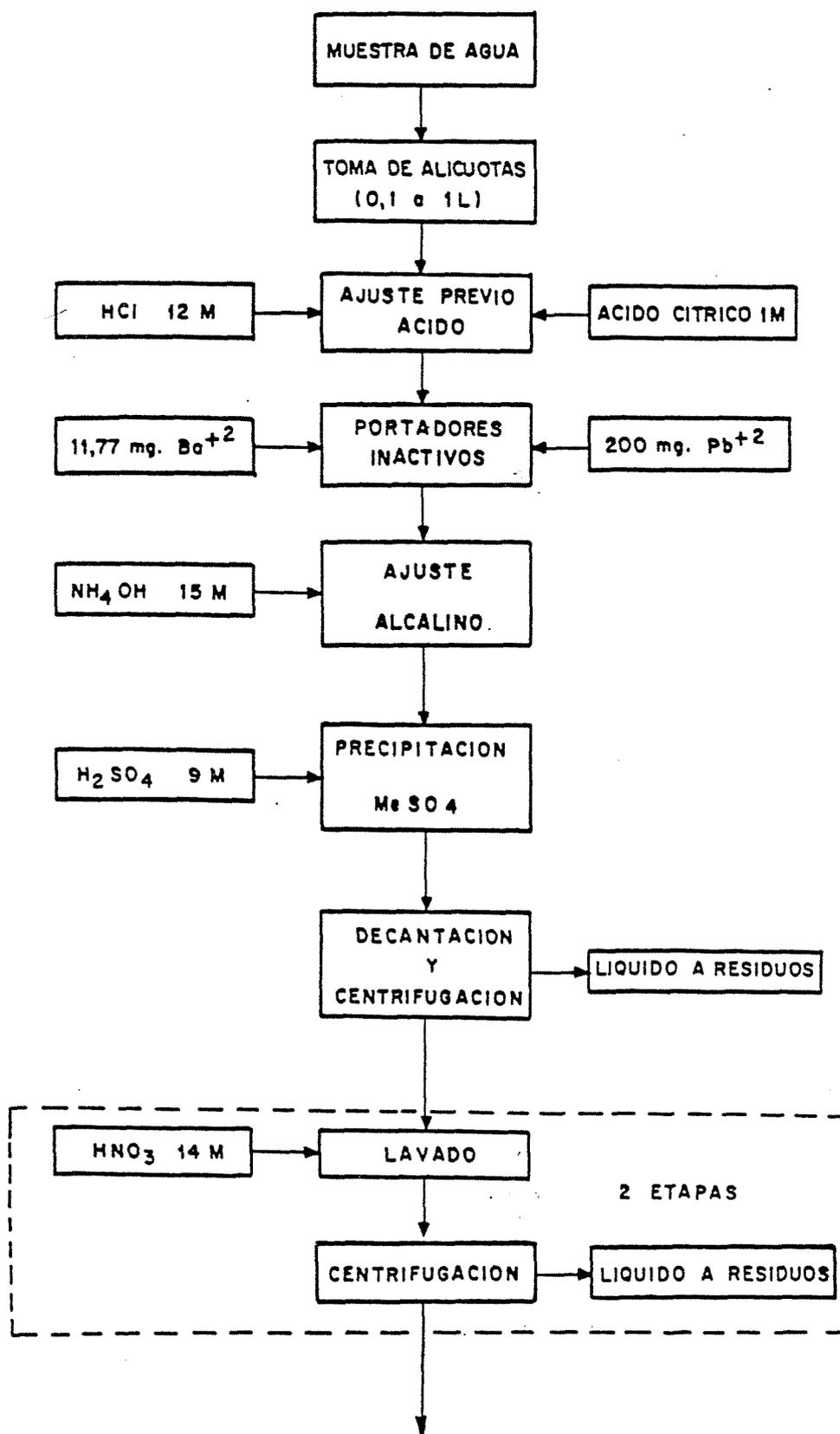
DIAGRAMA BLOQUE DE LA SEPARACION RADIOQUIMICA

FIGURA 1.b

DIAGRAMA BLOQUE DE LA SEPARACION RADIOQUIMICA

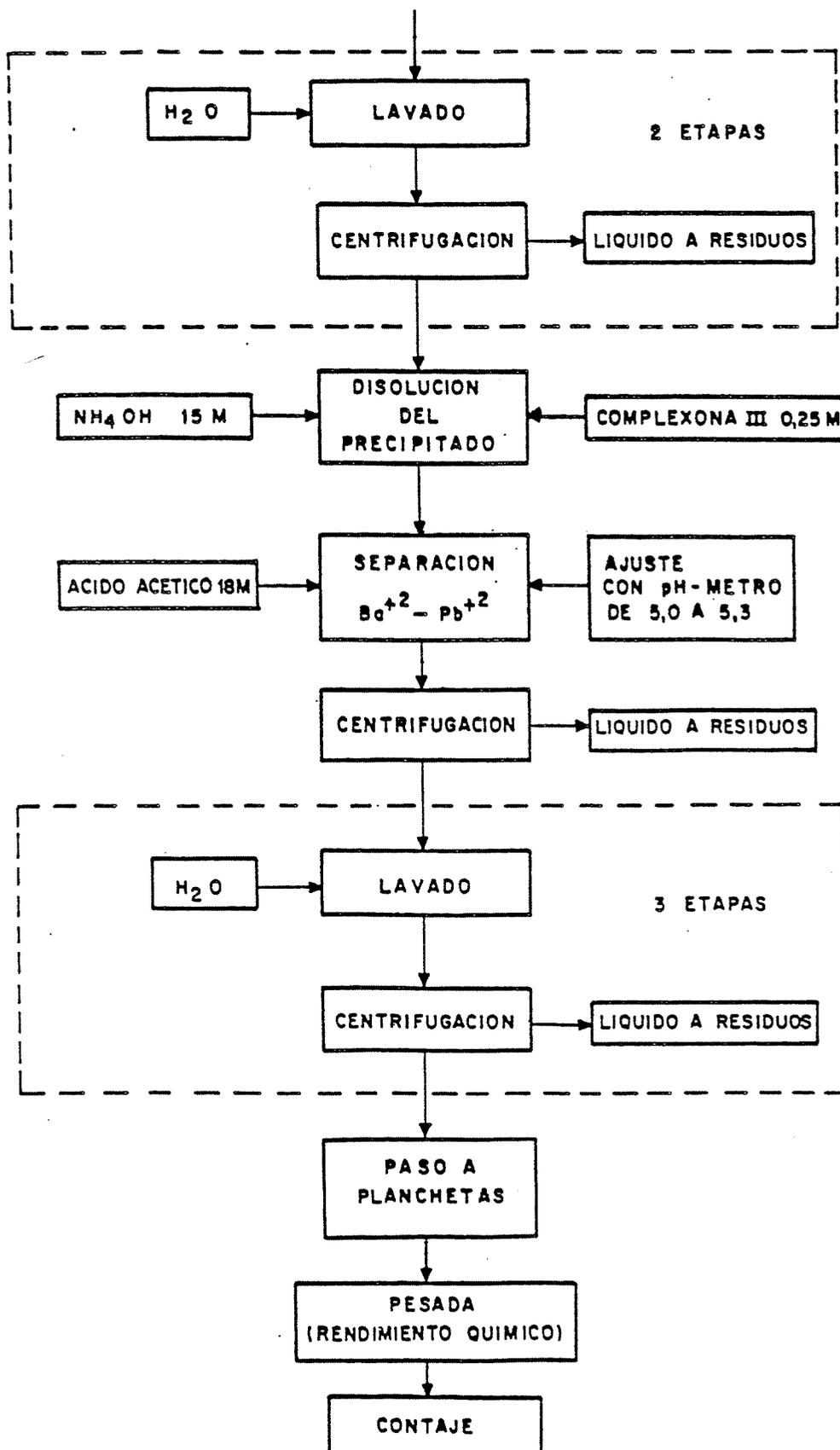
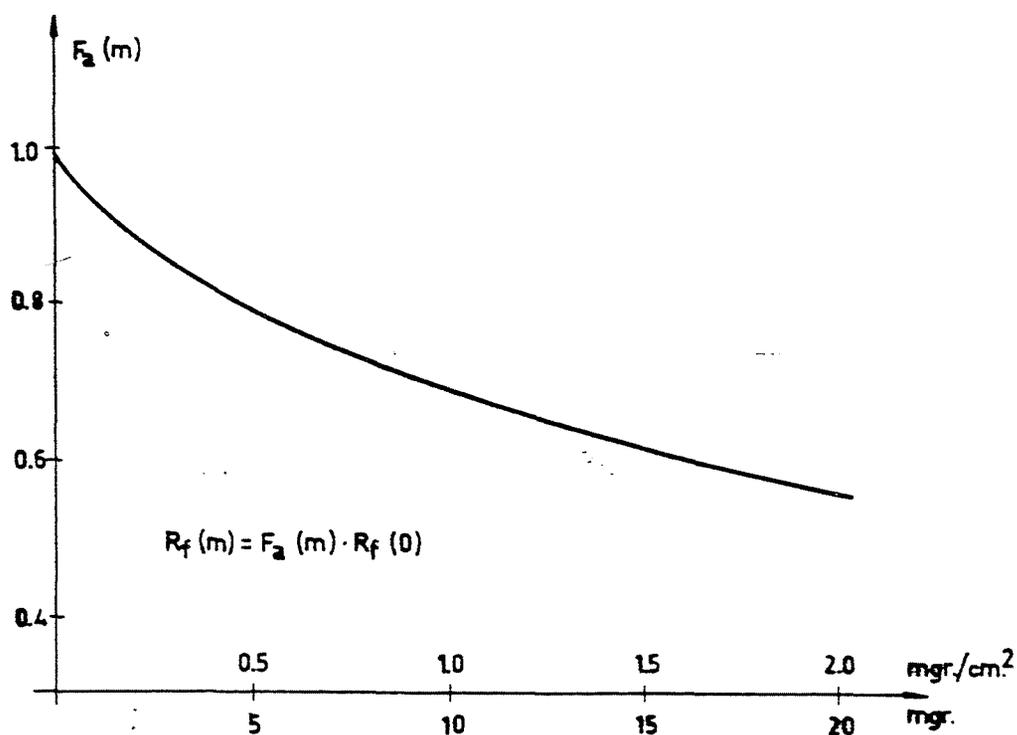
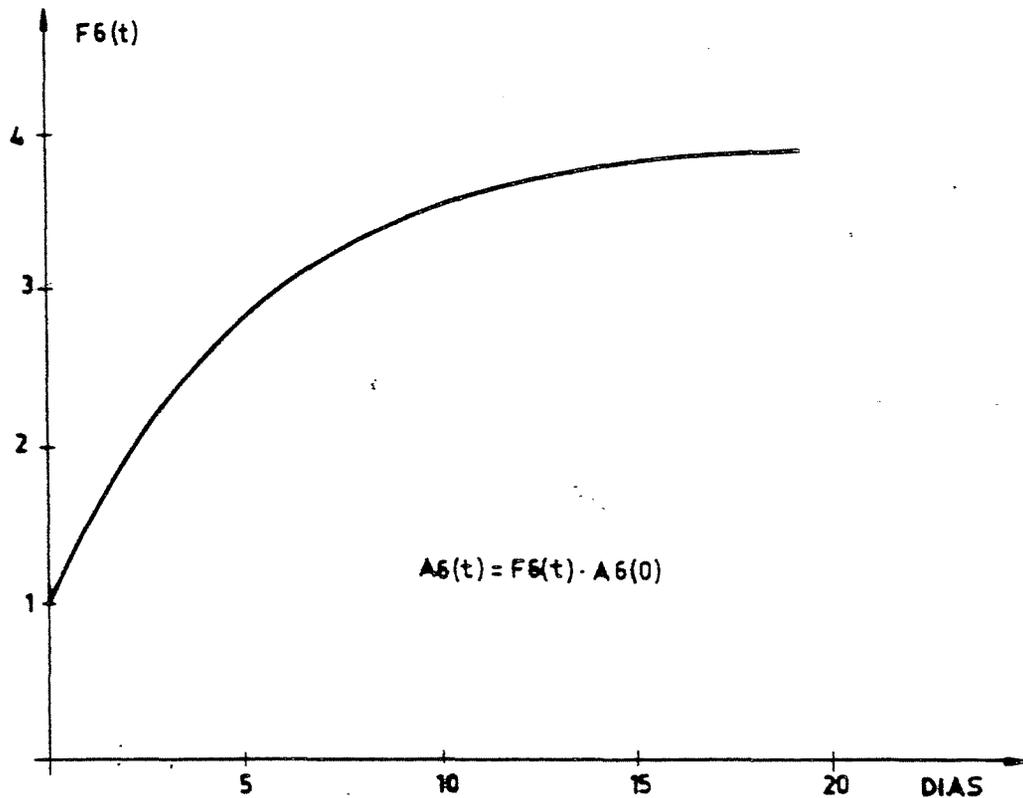


TABLA I

AUTOABSORCION DE LAS EMISIONES ALFA

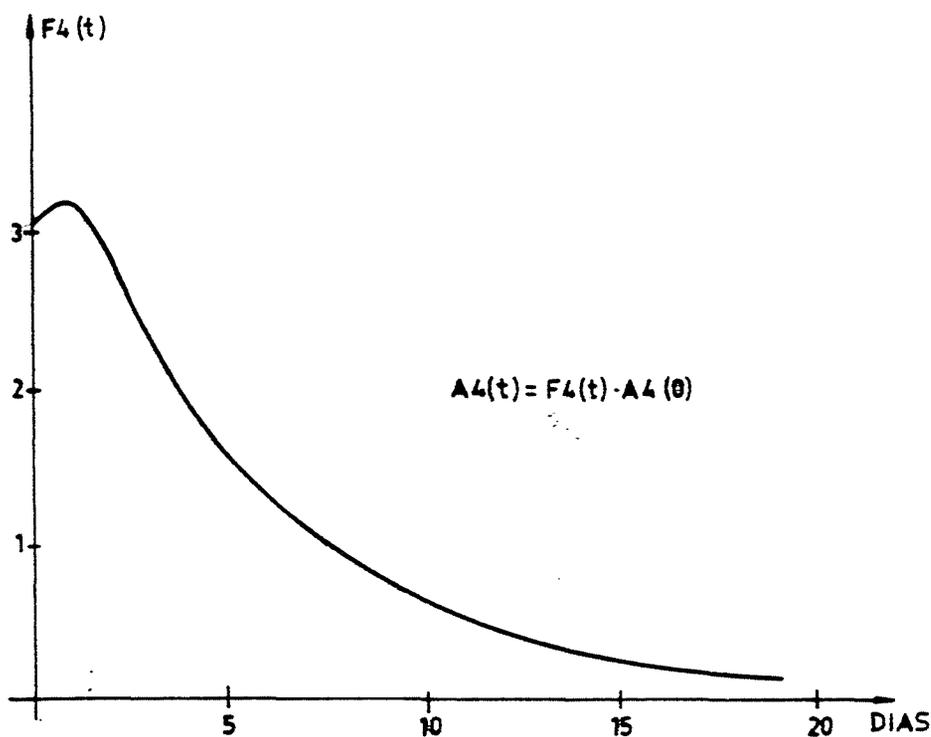
MG/CM	MG	.0	.2	.4	.6	.8
0.0	0.00	1.000	0.975	0.959	0.946	0.935
0.1	1.00	0.924	0.914	0.905	0.897	0.888
0.2	2.00	0.881	0.873	0.866	0.859	0.852
0.3	3.00	0.846	0.839	0.833	0.827	0.821
0.4	4.00	0.816	0.810	0.805	0.799	0.794
0.5	5.00	0.789	0.784	0.779	0.775	0.770
0.6	6.00	0.765	0.761	0.756	0.752	0.748
0.7	7.00	0.744	0.740	0.735	0.731	0.728
0.8	8.00	0.724	0.720	0.716	0.712	0.709
0.9	9.00	0.705	0.702	0.698	0.695	0.691
1.0	10.00	0.688	0.684	0.681	0.678	0.675
1.1	11.00	0.672	0.668	0.665	0.662	0.659
1.2	12.00	0.656	0.653	0.650	0.648	0.645
1.3	13.00	0.642	0.639	0.636	0.634	0.631
1.4	14.00	0.628	0.626	0.623	0.620	0.618
1.5	15.00	0.615	0.613	0.610	0.608	0.605
1.6	16.00	0.603	0.601	0.598	0.596	0.594
1.7	17.00	0.591	0.589	0.587	0.584	0.582
1.8	18.00	0.580	0.578	0.576	0.573	0.571
1.9	19.00	0.569	0.567	0.565	0.563	0.561
2.0	20.00	0.559	0.557	0.555	0.553	0.551

TABLA II

ACTIVIDAD DE LAS EMISIONES ALFA EN LA CADENA DELRa-226

DIA	HORA	0	4	8	12	16	20
1	0	1.000	1.089	1.176	1.260	1.341	1.421
2	24	1.497	1.572	1.644	1.714	1.782	1.848
3	48	1.912	1.974	2.035	2.093	2.150	2.205
4	72	2.258	2.310	2.360	2.409	2.457	2.503
5	96	2.547	2.590	2.632	2.673	2.712	2.751
6	120	2.788	2.824	2.859	2.893	2.926	2.958
7	144	2.989	3.019	3.048	3.076	3.104	3.131
8	168	3.157	3.182	3.206	3.230	3.253	3.275
9	192	3.296	3.317	3.338	3.357	3.376	3.395
10	216	3.413	3.430	3.447	3.464	3.480	3.495
11	240	3.510	3.525	3.539	3.553	3.566	3.579
12	264	3.591	3.604	3.615	3.627	3.638	3.649
13	288	3.659	3.669	3.679	3.689	3.698	3.707
14	312	3.716	3.724	3.732	3.740	3.748	3.756
15	336	3.763	3.770	3.777	3.783	3.790	3.796
16	360	3.802	3.808	3.814	3.819	3.825	3.830
17	384	3.835	3.840	3.845	3.849	3.854	3.858
18	408	3.862	3.866	3.870	3.874	3.878	3.882
19	432	3.885	3.888	3.892	3.895	3.898	3.901
20	456	3.904	3.907	3.910	3.912	3.915	3.918

TABLA III

ACTIVIDAD DE LAS EMISIONES ALFA EN LA CADENA DELRa-224

DIA	HDRA	0	4	8	12	16	20
1	0	3.000	3.115	3.183	3.213	3.215	3.195
2	24	3.158	3.109	3.051	2.987	2.918	2.846
3	48	2.772	2.698	2.623	2.548	2.474	2.402
4	72	2.330	2.260	2.192	2.125	2.060	1.997
5	96	1.935	1.875	1.817	1.761	1.706	1.653
6	120	1.602	1.552	1.504	1.457	1.411	1.367
7	144	1.325	1.283	1.243	1.204	1.167	1.130
8	168	1.095	1.061	1.028	0.996	0.965	0.934
9	192	0.905	0.877	0.850	0.823	0.797	0.772
10	216	0.748	0.725	0.702	0.680	0.659	0.638
11	240	0.619	0.599	0.580	0.562	0.545	0.528
12	264	0.511	0.495	0.480	0.465	0.450	0.436
13	288	0.423	0.409	0.397	0.384	0.372	0.361
14	312	0.349	0.338	0.328	0.318	0.308	0.298
15	336	0.289	0.280	0.271	0.263	0.254	0.246
16	360	0.239	0.231	0.224	0.217	0.210	0.204
17	384	0.197	0.191	0.185	0.179	0.174	0.168
18	408	0.163	0.158	0.153	0.148	0.144	0.139
19	432	0.135	0.131	0.127	0.123	0.119	0.115
20	456	0.111	0.108	0.105	0.101	0.098	0.095

FIGURA 2

ACTIVIDAD RELATIVA DE LAS EMISIONES ALFA DE LAS CADENAS DEL

Ra-226 Y Ra-224

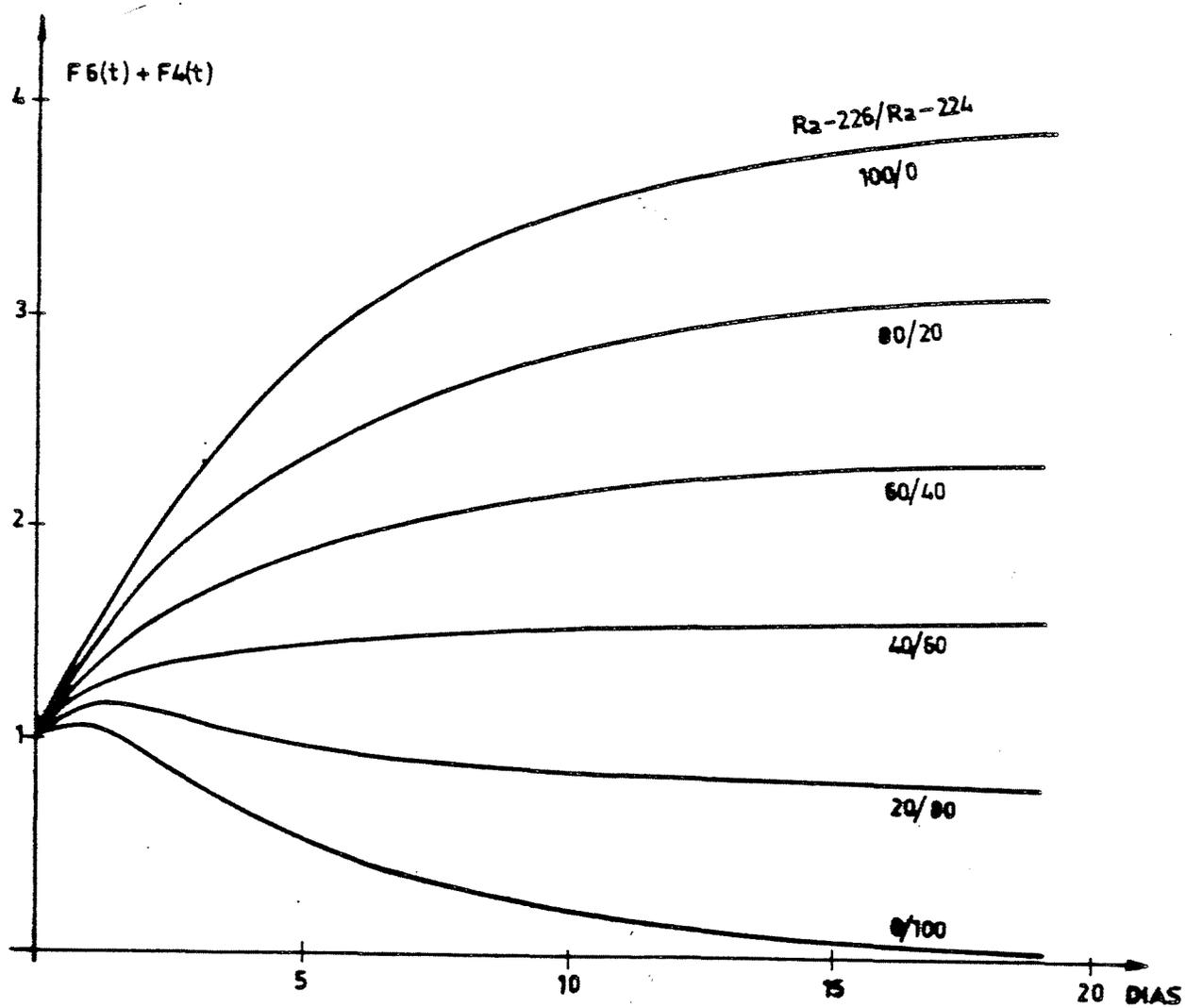


TABLA IV

ACTIVIDAD RELATIVA DE LAS EMISIONES ALFA DE MEZCLAS DERa-226 Y Ra-224

DIA-H	HORA	ACTIVIDAD SUMA DE			RA-226 / RA-224		
		1. / .0	.8 / .2	.6 / .4	.4 / .6	.2 / .8	.0 / 1.
1- 0	0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1- 8	8	1.176	1.153	1.130	1.107	1.084	1.061
1-16	16	1.341	1.287	1.234	1.180	1.126	1.072
2- 0	24	1.497	1.408	1.319	1.231	1.142	1.053
2- 8	32	1.644	1.519	1.393	1.268	1.143	1.017
2-16	40	1.782	1.620	1.458	1.296	1.135	0.973
3- 0	48	1.912	1.715	1.517	1.319	1.122	0.924
3- 8	56	2.035	1.803	1.570	1.338	1.106	0.874
3-16	64	2.150	1.885	1.620	1.355	1.090	0.825
4- 0	72	2.258	1.962	1.666	1.369	1.073	0.777
4- 8	80	2.360	2.034	1.709	1.383	1.057	0.731
4-16	88	2.457	2.103	1.749	1.395	1.041	0.687
5- 0	96	2.547	2.167	1.786	1.406	1.025	0.645
5- 8	104	2.632	2.227	1.822	1.416	1.011	0.606
5-16	112	2.712	2.284	1.855	1.426	0.998	0.569
6- 0	120	2.788	2.337	1.886	1.436	0.985	0.534
6- 8	128	2.859	2.387	1.916	1.444	0.973	0.501
6-16	136	2.926	2.435	1.944	1.453	0.962	0.470
7- 0	144	2.989	2.479	1.970	1.460	0.951	0.442
7- 8	152	3.048	2.521	1.995	1.468	0.941	0.414
7-16	160	3.104	2.561	2.018	1.475	0.932	0.389
8- 0	168	3.157	2.598	2.040	1.482	0.923	0.365
8- 8	176	3.206	2.633	2.061	1.488	0.915	0.343
8-16	184	3.253	2.666	2.080	1.494	0.908	0.322
9- 0	192	3.296	2.697	2.099	1.500	0.901	0.302
9- 8	200	3.338	2.727	2.116	1.505	0.894	0.283
9-16	208	3.376	2.754	2.132	1.510	0.888	0.266
10- 0	216	3.413	2.780	2.148	1.515	0.882	0.249
10- 8	224	3.447	2.805	2.162	1.519	0.877	0.234
10-16	232	3.480	2.828	2.176	1.524	0.872	0.220
11- 0	240	3.510	2.849	2.189	1.528	0.867	0.206
11- 8	248	3.539	2.870	2.201	1.532	0.863	0.193
11-16	256	3.566	2.889	2.212	1.535	0.858	0.182
12- 0	264	3.591	2.907	2.223	1.539	0.855	0.170
12- 8	272	3.615	2.924	2.233	1.542	0.851	0.160
12-16	280	3.638	2.940	2.243	1.545	0.848	0.150
13- 0	288	3.659	2.956	2.252	1.548	0.845	0.141
13- 8	296	3.679	2.970	2.260	1.551	0.842	0.132
13-16	304	3.698	2.983	2.268	1.554	0.839	0.124
14- 0	312	3.716	2.996	2.276	1.556	0.836	0.116
14- 8	320	3.732	3.008	2.283	1.559	0.834	0.109
14-16	328	3.748	3.019	2.290	1.561	0.832	0.103
15- 0	336	3.763	3.029	2.296	1.563	0.830	0.096
15- 8	344	3.777	3.039	2.302	1.565	0.828	0.090
15-16	352	3.790	3.049	2.308	1.567	0.826	0.085
16- 0	360	3.802	3.058	2.313	1.569	0.824	0.080
16- 8	368	3.814	3.066	2.318	1.570	0.822	0.075
16-16	376	3.825	3.074	2.323	1.572	0.821	0.070
17- 0	384	3.835	3.081	2.327	1.573	0.820	0.066
17- 8	392	3.845	3.088	2.331	1.575	0.818	0.062
17-16	400	3.854	3.095	2.335	1.576	0.817	0.058
18- 0	408	3.862	3.101	2.339	1.578	0.816	0.054
18- 8	416	3.870	3.106	2.343	1.579	0.815	0.051
18-16	424	3.878	3.112	2.346	1.580	0.814	0.048
19- 0	432	3.885	3.117	2.349	1.581	0.813	0.045
19- 8	440	3.892	3.122	2.352	1.582	0.812	0.042
19-16	448	3.898	3.126	2.355	1.583	0.811	0.040
20- 0	456	3.904	3.131	2.357	1.584	0.811	0.037
20- 8	464	3.910	3.135	2.360	1.585	0.810	0.035
20-16	472	3.915	3.139	2.362	1.586	0.809	0.033

TABLA V.a

RESULTADO DE LAS MEDIDAS

1 RADIO EN LA MUESTRA 445-1 (FUA) SEPARADA EL 4-DIC-84
 RQ. = 75.50 % RF. = 47.00 % V = 500.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	1226.0	0.3900	0.3580		
2	8	1527.0	0.4859	0.3857	0.6132	-0.0892
3	24	2011.0	0.6402	0.4073	0.5102	-0.0513
4	48	2432.0	0.7744	0.3922	0.4191	-0.0147
5	80	3000.0	0.9554	0.3966	0.4074	-0.0094
6	112	3295.0	1.0495	0.3815	0.3903	-0.0010
7	136	3710.0	1.1817	0.3995	0.3962	-0.0041
8	384	4627.0	1.4740	0.3839	0.3889	0.0008
9	432	4753.0	1.5142	0.3894	0.3891	0.0006
10	1096	4984.0	1.5878	0.3970	0.3914	-0.0010

RA TOTAL = 0.3910 BQ/L (10.5675 PCI/L)
 RA - 226 = 0.3914 BQ/L (10.5793 PCI/L) +- 5.2883 %
 RA - 224 = -0.0010 BQ/L (-0.0279 PCI/L) +- -114.9965 %

2 RADIO EN LA MUESTRA 4085L (FR. L) SEPARADA EL 29-ENE-85
 RQ. = 91.85 % RF. = 36.00 % V = 900.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	344.0	0.0692	0.0635		
2	8	388.0	0.0781	0.0620	0.0494	0.0049
3	24	415.0	0.0836	0.0532	0.0284	0.0127
4	72	378.0	0.0761	0.0329	0.0161	0.0177
5	96	324.0	0.0651	0.0252	0.0126	0.0192
6	120	264.0	0.0530	0.0188	0.0097	0.0207
7	240	220.0	0.0441	0.0125	0.0092	0.0210
8	264	210.0	0.0421	0.0117	0.0091	0.0211
9	288	179.0	0.0358	0.0097	0.0085	0.0214

RA TOTAL = 0.0193 BQ/L (0.5215 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0085 BQ/L (0.2306 PCI/L) +- 10.9818 %
 RA - 224 = 0.0214 BQ/L (0.5797 PCI/L) +- 8.5383 %

3 RADIO EN LA MUESTRA 3720/ (ENUSA) SEPARADA EL 3-JUL-84
 RQ. = 56.35 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	1125.0	0.2253	0.2069		
2	8	1095.0	0.2193	0.1741	-0.0958	0.1058
3	24	1103.0	0.2209	0.1406	-0.0012	0.0710
4	72	1137.0	0.2278	0.0986	0.0462	0.0517
5	96	1310.0	0.2625	0.1013	0.0626	0.0443
6	288	1713.0	0.3434	0.0936	0.0831	0.0326
7	312	1572.0	0.3151	0.0846	0.0824	0.0330
8	336	1698.0	0.3404	0.0903	0.0842	0.0319
9	1056	1512.0	0.3030	0.0758	0.0818	0.0335

RA TOTAL = 0.0936 BQ/L (2.5295 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0818 BQ/L (2.2120 PCI/L) +- 6.0048 %
 RA - 224 = 0.0335 BQ/L (0.9060 PCI/L) +- 6.9024 %

TABLA V.b

RESULTADO DE LAS MEDIDAS

10 RADIO EN LA MUESTRA 38292 (ENUSA) SEPARADA EL 10-JUL-84
 RQ. = 73.15 % RF. = 46.00 % V = 500.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	607.0	0.2013	0.1848		
2	8	708.0	0.2349	0.1864		
3	48	805.0	0.2672	0.1353	0.2001	-0.0053
4	72	786.0	0.2608	0.1129	0.0849	0.0373
5	96	835.0	0.2772	0.1070	0.0747	0.0416
6	312	1300.0	0.4319	0.1160	0.0766	0.0407
7	336	1326.0	0.4406	0.1169	0.1048	0.0230
8	768	957.0	0.3178	0.1169	0.1096	0.0200
				0.0796	0.0990	0.0274

RA TOTAL = 0.1100 BQ/L (2.9734 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0990 BQ/L (2.6762 PCI/L) +- 7.1062 %
 RA - 224 = 0.0274 BQ/L (0.7399 PCI/L) +- 9.2114 %

11 RADIO EN LA MUESTRA 37793 (ENUSA) SEPARADA EL 10-JUL-84
 RQ. = 82.10 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	980.0	0.1503	0.1380		
2	8	981.0	0.1505	0.1194		
3	48	1152.0	0.1768	0.0895	-0.0334	0.0599
4	72	1234.0	0.1894	0.0820	0.0489	0.0295
5	96	1210.0	0.1857	0.0717	0.0540	0.0273
6	312	1323.0	0.2031	0.0717	0.0522	0.0282
7	336	1380.0	0.2118	0.0545	0.0520	0.0283
8	768	1520.0	0.2333	0.0562	0.0530	0.0277
				0.0585	0.0549	0.0264

RA TOTAL = 0.0655 BQ/L (1.7695 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0549 BQ/L (1.4834 PCI/L) +- 6.9061 %
 RA - 224 = 0.0264 BQ/L (0.7122 PCI/L) +- 7.6601 %

12 RADIO EN LA MUESTRA 37794 (ENUSA) SEPARADA EL 10-JUL-84
 RQ. = 64.05 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	910.0	0.1660	0.1523		
2	8	888.0	0.1619	0.1285		
3	48	981.0	0.1789	0.0906	-0.0675	0.0769
4	72	1056.0	0.1926	0.0834	0.0390	0.0374
5	96	1203.0	0.2195	0.0847	0.0483	0.0335
6	321	1532.0	0.2797	0.0847	0.0588	0.0285
7	336	1716.0	0.3133	0.0747	0.0695	0.0218
8	768	1377.0	0.2513	0.0831	0.0750	0.0183
				0.0630	0.0708	0.0213

RA TOTAL = 0.0793 BQ/L (2.1422 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0708 BQ/L (1.9126 PCI/L) +- 5.9244 %
 RA - 224 = 0.0213 BQ/L (0.5746 PCI/L) +- 7.5225 %

TABLA V.c

RESULTADO DE LAS MEDIDAS

13 RADIO EN LA MUESTRA 41543 (ENUSA) SEPARADA EL 14-MAR-85
 RQ. = 81.00 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	1179.0	0.1826	0.1676		
2	24	1412.0	0.2187	0.1392	0.0753	0.0323
3	48	1590.0	0.2464	0.1248	0.0857	0.0280
4	72	1824.0	0.2827	0.1224	0.0977	0.0225
5	96	2019.0	0.3129	0.1208	0.1041	0.0191
6	120	2098.0	0.3252	0.1151	0.1045	0.0189
7	168	2432.0	0.3770	0.1185	0.1091	0.0158
8	216	2517.0	0.3902	0.1137	0.1098	0.0153

RA TOTAL = 0.1203 BQ/L (3.2503 PCI/L)
 RA - 226 = 0.1098 BQ/L (2.9662 PCI/L) +- 6.3054 %
 RA - 224 = 0.0153 BQ/L (0.4141 PCI/L) +- 9.3469 %
 ++++++

14 RADIO EN LA MUESTRA 41544 (ENUSA) SEPARADA EL 14-MAR-85
 RQ. = 87.15 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	1038.0	0.1530	0.1404		
2	24	1186.0	0.1748	0.1112	0.0457	0.0331
3	48	1448.0	0.2136	0.1082	0.0790	0.0195
4	72	1627.0	0.2400	0.1039	0.0865	0.0161
5	96	1798.0	0.2653	0.1024	0.0905	0.0140
6	120	1965.0	0.2899	0.1027	0.0937	0.0121
7	168	2164.0	0.3193	0.1004	0.0953	0.0111
8	216	2139.0	0.3156	0.0920	0.0926	0.0130

RA TOTAL = 0.1015 BQ/L (2.7438 PCI/L)
 RA - 226 = 0.0926 BQ/L (2.5026 PCI/L) +- 6.4023 %
 RA - 224 = 0.0130 BQ/L (0.3516 PCI/L) +- 9.5809 %
 ++++++

15 RADIO EN LA MUESTRA 41091 (ENUSA) SEPARADA EL 14-MAR-85
 RQ. = 84.60 % RF. = 46.00 % V = 1000.00 ML.

NUM	HORA	CONT.	ACT.	RA-TOT	RA-226	RA-224
1	0	3077.0	0.4633	0.4253		
2	24	3233.0	0.4868	0.3097	0.0504	0.1311
3	48	3419.0	0.5148	0.2608	0.1110	0.1064
4	72	3389.0	0.5103	0.2209	0.1185	0.1029
5	96	3688.0	0.5554	0.2144	0.1385	0.0924
6	120	3726.0	0.5611	0.1987	0.1451	0.0886
7	168	3692.0	0.5560	0.1747	0.1452	0.0885
8	216	3637.0	0.5477	0.1597	0.1432	0.0900

RA TOTAL = 0.2049 BQ/L (5.5379 PCI/L)
 RA - 226 = 0.1432 BQ/L (3.8691 PCI/L) +- 6.0706 %
 RA - 224 = 0.0900 BQ/L (2.4330 PCI/L) +- 6.3074 %
 ++++++

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Análisis Radioquímico de Radio total, Radio-
-226 y Radio-224."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A.(1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.
Se ha realizado la separación y purificación radioquímica del radio y se ha estudiado la determinación de radio total, solubilizado en muestras acuosas, suponiendo que todas las emisiones alfa de la muestra tienen su origen en el ^{226}Ra y los elementos de su cadena de desintegración. También se evalúan las actividades del ^{224}Ra y del ^{226}Ra separadamente, realizando una medida después de la separación química del radio y otra 10 días más tarde.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226.
Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Análisis Radioquímico de Radio total, Radio-
-226 y Radio-224."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A.(1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.
Se ha realizado la separación y purificación radioquímica del radio y se ha estudiado la determinación de radio total, solubilizado en muestras acuosas, suponiendo que todas las emisiones alfa de la muestra tienen su origen en el ^{226}Ra y los elementos de su cadena de desintegración. También se evalúan las actividades del ^{224}Ra y del ^{226}Ra separadamente, realizando una medida después de la separación química del radio y otra 10 días más tarde.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226.
Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Análisis Radioquímico de Radio total, Radio-
-226 y Radio-224."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A.(1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.
Se ha realizado la separación y purificación radioquímica del radio y se ha estudiado la determinación de radio total, solubilizado en muestras acuosas, suponiendo que todas las emisiones alfa de la muestra tienen su origen en el ^{226}Ra y los elementos de su cadena de desintegración. También se evalúan las actividades del ^{224}Ra y del ^{226}Ra separadamente, realizando una medida después de la separación química del radio y otra 10 días más tarde.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226.
Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Análisis Radioquímico de Radio total, Radio-
-226 y Radio-224."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A.(1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.
Se ha realizado la separación y purificación radioquímica del radio y se ha estudiado la determinación de radio total, solubilizado en muestras acuosas, suponiendo que todas las emisiones alfa de la muestra tienen su origen en el ^{226}Ra y los elementos de su cadena de desintegración. También se evalúan las actividades del ^{224}Ra y del ^{226}Ra separadamente, realizando una medida después de la separación química del radio y otra 10 días más tarde.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226.
Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Radiochemical determination and separation
of total radium, ^{226}Ra and ^{224}Ra ."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A. (1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.

Radiochemical purification and separation of radium has been carried out and the determination of total radium solubilized in aqueous samples has been studied assuming that all the alpha emitters of the sample have their origin in the ^{226}Ra and elements of its desintegration chain. Also, the activities of ^{224}Ra and ^{226}Ra have been evaluated separately doing a measurement after the chemical separation of the radium and another one 10 days after.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226. Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Radiochemical determination and separation
or total radium, ^{226}Ra and ^{224}Ra ."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A. (1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.

Radiochemical purification and separation of radium has been carried out and the determination of total radium solubilized in aqueous samples has been studied assuming that all the alpha emitters of the sample have their origin in the ^{226}Ra and elements of its desintegration chain. Also, the activities of ^{224}Ra and ^{226}Ra have been evaluated separately doing a measurement after the chemical separation of the radium and another one 10 days after.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226. Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Radiochemical determination and separation
of total radium, ^{226}Ra and ^{224}Ra ."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A. (1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.

Radiochemical purification and separation of radium has been carried out and the determination of total radium solubilized in aqueous samples has been studied assuming that all the alpha emitters of the sample have their origin in the ^{226}Ra and elements of its desintegration chain. Also, the activities of ^{224}Ra and ^{226}Ra have been evaluated separately doing a measurement after the chemical separation of the radium and another one 10 days after.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226. Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

CIEMAT-603

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Area de Tecnología Nuclear. Madrid.

"Radiochemical determination and separation
of total radium, ^{226}Ra and ^{224}Ra ."

SUAREZ, J.A.; GONZALEZ, J.A.; DE PABLO, M.A. (1987) 36 pp. 3 figs. 9 refs.

Radiochemical purification and separation of radium has been carried out and the determination of total radium solubilized in aqueous samples has been studied assuming that all the alpha emitters of the sample have their origin in the ^{226}Ra and elements of its desintegration chain. Also, the activities of ^{224}Ra and ^{226}Ra have been evaluated separately doing a measurement after the chemical separation of the radium and another one 10 days after.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: B13.00. Radium. Radium 224. Radium 226. Radiometric Analysis. Precipitation. Alpha Detection. Waste Water.

