

**J. E. N. 346**

**Sp ISSN 0081 - 3397**

**Determinación de equilibrios en  
minerales de uranio por  
espectrometría alfa.**

por  
**M. J. Tormo Ferrero**

**JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR**

**MADRID, 1976**

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Ciudad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del INIS para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. Para más detalles consúltese el informe IAEA-INIS-12 (INIS: Manual de Indización) y IAEA-INIS-13 (INIS: Thesaurus) 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 Mayo de 1976.

## INDICE

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION .....	1
1.1. Espectrometría alfa .....	2
1.2. Evolución de la relación de actividades con el tiempo .....	4
2. MATERIAL Y REACTIVOS	
2.1. Espectrómetro alfa .....	17
2.2. Celda electrolítica .....	17
2.3. Equipo de medida .....	18
2.4. Reactivos .....	18
3. PARTE EXPERIMENTAL	
3.1. Minerales estudiados .....	21
3.2. Método de ataque .....	21
3.3. Separación del Uranio .....	21
3.4. Electrodeposición del Uranio ....	22
3.5. Espectros realizados .....	23
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1. Análisis de espectros .....	29
4.2. Cálculo de las relaciones de actividades .	29
5. BIBLIOGRAFIA .....	31
AGRADECIMIENTOS .....	33



## 1. INTRODUCCION

Hasta hace relativamente poco tiempo se había supuesto que el U-238 se encontraba en equilibrio radiactivo con su descendiente U-234.

Cherdynnstev (CHERDYNNSTEV, V.V.; 1955) descubrió que en minerales secundarios (\*) de Uranio la concentración de U-234 excedía de la que corresponde al equilibrio con su padre, el U-238. Más recientemente, Rosholt y colaboradores (ROSHOLT, J.N., EMILIANI, C., GEISS J., KOCZY, F.F. y WANGERSKY, P.J.; 1961) informaban de relaciones U-235/U-234 que variaban en, más o menos, un 40% del contenido normal en depósitos sedimentarios del Oeste de los Estados Unidos, y Thurber (THURBER, D.L.; 1962, 1963) encontraba valores en 1962 desde 1,7 a 3,3 para la relación de actividades U-234/U-238 (que en adelante llamaremos R.A.) en Carbonatos de alubión del Lago Bonneville en Utah.

Otros autores (BARNES, J.W., LANG, E.J. y POTRATZ, H.A.; 1956) demostraron igualmente que el U-238 en corales marinos formados recientemente está sistemáticamente fuera de equilibrio con el Th-230 y sugirieron la posibilidad de "datar", gracias a este desequilibrio, edades de carbonatos marinos de unos 300.000 años de antigüedad. Posteriormente otros autores (BLANCHARD, R.L. y POTRATZ, H.A.; 1965), (BROECKER, W.S.; 1963), (DE SOUSA, A.; 1954), (RONA, E.; 1964), (RONA, E., GILPATRICK, L.O. y JEFFREY, L.M.; 1956) han investigado y discutido en detalle la validez de esta proposición.

El desequilibrio que existe entre el U-234 y el U-238 ha sido explicado por Rosholt y colaboradores como debido a una lixiviación preferencial del U-234 sobre el U-238 y el U-235. El U-234 disuelto preferentemente en una localidad puede ser posteriormente depositado en otra, dando así lugar a deficiencias en unos sitios y excesos en otros, con respecto al estado de equilibrio secular.

---

(\*) Consideramos mineral secundario al que, por diversas causas, procede de otro mineral formado con anterioridad.

Thurber examinó la R.A. en aguas marinas y encontró un exceso, prácticamente constante, de un 15% del U-234. Este exceso debe ser tenido en cuenta cuando se trate de calcular edades absolutas de Carbonatos y Sedimentos marinos sobre la base del equilibrio U-234/U-238.

Sin embargo, el problema se presentará cuando se pretendan determinar edades de materiales situados en puntos de cuyo entorno no se conozca la R.A. con el mismo grado de confianza que en las aguas marinas, como, por ejemplo, calcular edades de carbonatos de fósiles marinos desarrollados en aguas costeras o en aguas que no pertenezcan a los Océanos. Blanchard (BLANCHARD, R.L.; 1965) ha considerado el efecto de las aguas continentales y materiales insolubles que llegan a las aguas costeras con una R.A. que puede ser explicada para establecer edades de fósiles marinos y conchas que crecen en estos alrededores costeros.

En este trabajo se ha intentado desarrollar un método que permite medir la R.A. por Espectrometría Alfa con semiconductores, así como deducir las expresiones que nos permiten calcular el tiempo, conocidos la R.A. media del mineral del cual procede.

Con este método se ha medido la R.A. de diferentes minerales secundarios españoles, habiendo podido comprobar que el rendimiento en recuperación del Uranio es muy elevado, cosa importante dado el bajo contenido de Uranio en este tipo de materiales, y que el error en las determinaciones de la R.A. es inferior a un 2%, dependiendo fundamentalmente éste de la estadística de conteo.

### 1.1 Espectrometría alfa

Un espectrómetro alfa a semiconductores está compuesto por un detector de barrera de silicio, un preamplificador sensible a carga, un amplificador de muy bajo nivel de ruido y un analizador de impulsos.

Con un espectrómetro alfa a semiconductores se pueden alcanzar

resoluciones en energía equivalente a unos 10 keV, dependiendo esta resolución de la capacidad del detector, superficie, resistividad, etc. (ACEÑA, M.L., POITIER, R. y MARLIN; 1970), (ACEÑA, M.L.; 1965) cosa que no se logra con las mejores cámaras de ionización con rejilla.

El analizador de impulsos proporciona un espectro, que es una imagen de la distribución energética de las partículas que han llegado al detector. Este espectro es un diagrama cuyas ordenadas representan el número de partículas de cada energía y las abscisas el número de canal en el que se han contado cada una de esas partículas de una energía determinada, lo que lleva consigo el tener que calibrar previamente el espectrómetro con fuentes que emiten partículas de energía conocida para obtener la función  $E=f(n^{\circ} \text{ de canal})$  que, en el caso de los semiconductores, es una recta, al ser el impulso formado proporcional a los portadores de carga recogidos y éstos, a su vez, a la energía de la partícula detectada.

El espectrómetro que se ha empleado en las medidas como se verá más adelante, tiene un detector que solo resuelve 60 keV, suficiente para el problema estudiado, y así, con él, el espectro del Uranio natural analizado presenta tres picos correspondientes al U-238, U-235 y U-234 de energías 4,135, 4,400 y 4,477 MeV, respectivamente, no quedando resuelta la estructura fina de dichos isótopos. En la figura 1 puede comprobarse que la posición de los tres máximos en el espectro es perfectamente proporcional a las energías de los mismos.

Por otra parte como indica Aceña, el área de cada pico es directamente proporcional a la abundancia de cada uno de los isótopos, por lo que la espectrometría alfa permitirá medir dichas abundancias. Así la relación de abundancias isotópicas entre dos isótopos viene dada por:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{A_1}{A_2} \quad [1]$$

en la que  $T_1$  y  $T_2$  son los períodos respectivos de los dos isótopos.

Sin embargo, la fórmula [1] sólo será de aplicación inmediata en

el caso de que no haya interferencias de unas áreas con otras, caso que, prácticamente, no ocurre casi nunca. En efecto, antes de que una partícula llegue a la zona sensible del detector, ha debido atravesar el espesor correspondiente de la muestra, el medio que la separa del detector y la zona muerta de éste; esto hace que, de una manera diferente para cada partícula correspondiente a una misma energía, pierda una parte de esta energía inicial, lo que se añadirá de una forma disimétrica al ensanchamiento del pico debido a la anchura natural, ruido electrónico, etc. Esta fracción de energía degenerada forma unas colas de baja energía que llegan hasta  $E=0$  (PATIGNI, M., LEVOS y TEULIERES; 1965) y que interfieren en los picos de energías inferiores, teniéndose pues:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{A_1 - F_1}{A_2 - F_2} \quad [2]$$

Aceña y Khan (KHAN, A.H. y ACEÑA, M.L.; 1972) han demostrado que estas colas son proporcionales al área de los picos posteriores:  $F_i = \sum K_i A_i$ , y estas constantes de proporcionalidad deben ser determinadas con una serie de patrones de riqueza isotópica conocida preparadas en las mismas condiciones en que se va a trabajar en los espectros problema.

Este método es el que se ha seguido en el presente trabajo para determinar la R.A. de los diferentes minerales analizados.

## 1.2 Evolución de la relación de actividades con el tiempo

La serie natural radiactiva  $4n+2$ , a la que pertenece el U-238 y de la que es cabeza, está representada en la figura 2. En la Tabla I pueden verse los cuatro primeros nucleidos de la serie con sus correspondientes periodos de semidesintegración y partículas que emiten.



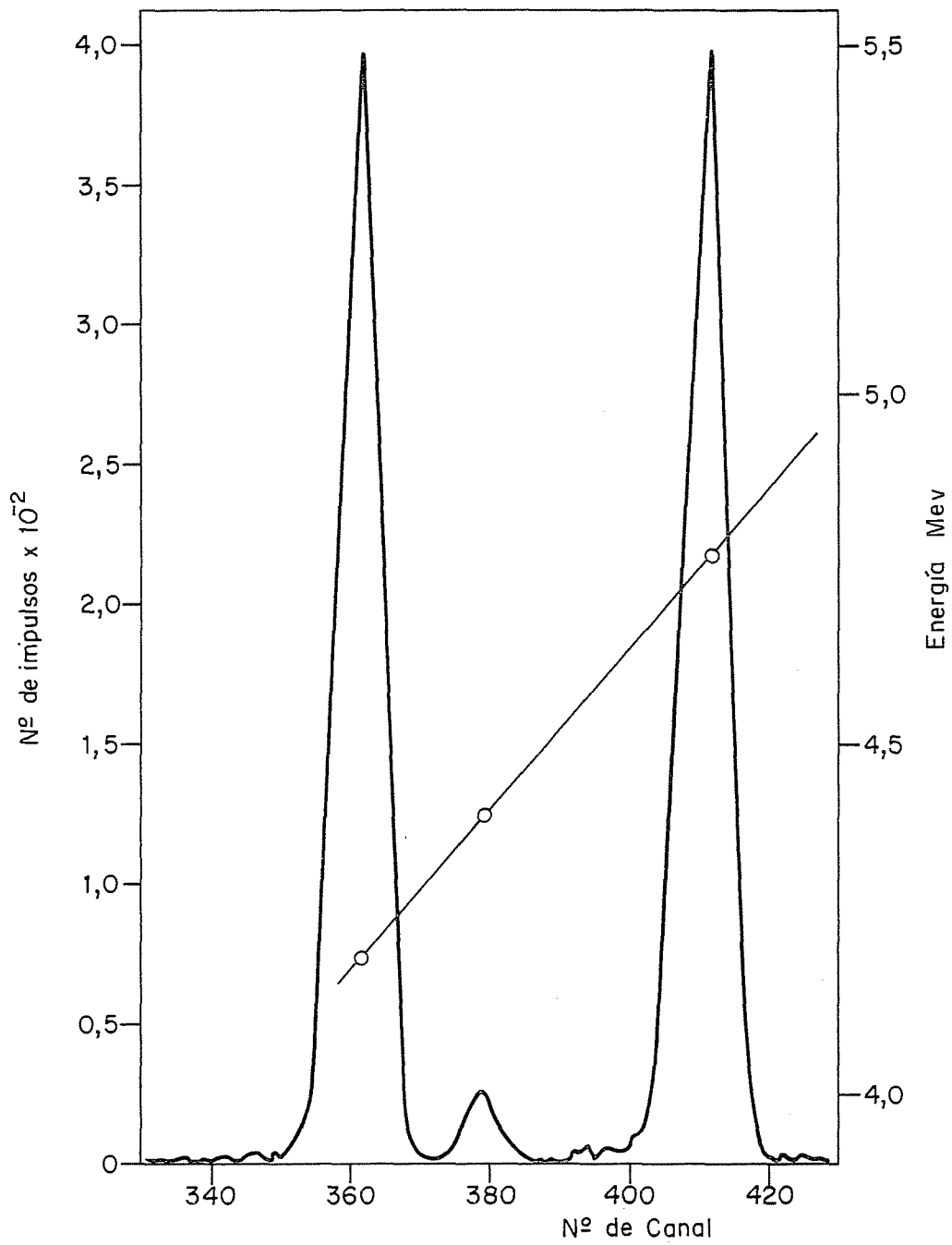


Fig. 1 - Espectro del U natural

TABLA I

NUCLEIDOS DE LA SERIE  $4n+2$  QUE INTERVIENEN EN EL CALCULO

NUCLEIDO	PERIODO	CONSTANTE DE SEMIDESINTEGRACION	MODO DE SEMIDESINTEGRACION
${}_{92}^{238}\text{U}$	$4,51 \cdot 10^9 \text{ a.}$	$1,537 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$	Alfa
${}_{90}^{234}\text{Th}$	24,1d.	$15,2 \text{ a}^{-1}$	Beta
${}_{91}^{234}\text{Pa}$	6,6h.	$908 \text{ a}^{-1}$	Beta
${}_{92}^{234}\text{U}$	$2,48 \cdot 10^5 \text{ a}$	$2,8 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$	Alfa

Vamos a suponer que en el momento de la formación del primer U ( $t=0$ ) el U-238 se encontraba solo, se trata de ver como evolucionan con el tiempo estos cuatro elementos cabezas de la serie. Para abreviar, se llamará al número de átomos del U-238, Th-234, Pa-234 y U-234,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  y  $N_4$ , respectivamente, así como  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  y  $\lambda_4$  a sus respectivas constantes de desintegración. Tendremos que en un instante  $dt$ , la variación de sus respectivos números de átomos  $dN_i$  vendrá dada por:

$$\frac{dN_1}{dt} = - \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3$$

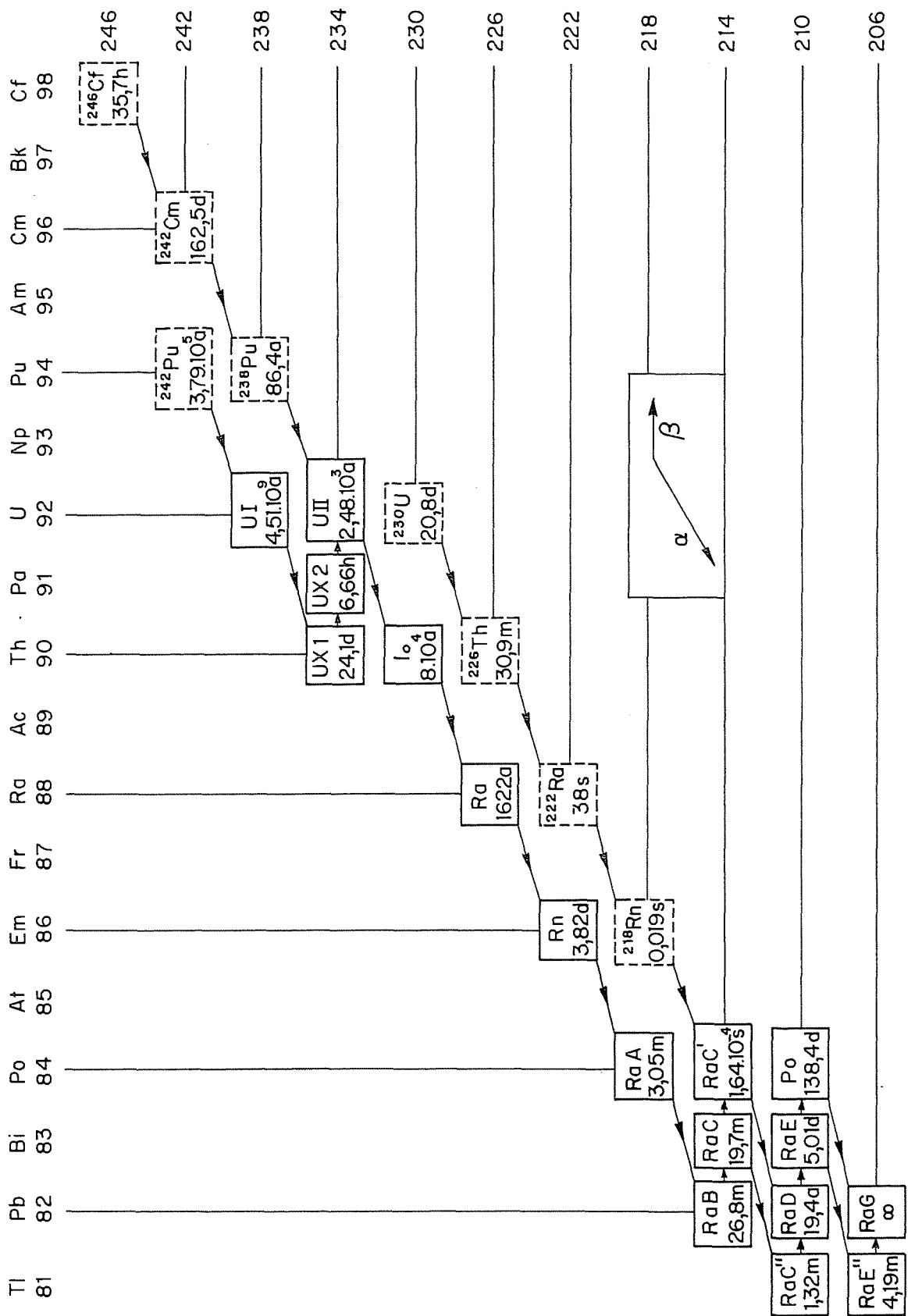


Fig. 2 - Serie del U natural 4n+2

$$\frac{dN_4}{dt} = \lambda_3 N_3 - \lambda_4 N_4$$

La solución a este sistema de ecuaciones diferenciales ha sido dada por Bateman (BATEMAN, H.; 1910) con la misma suposición que se ha dado en este trabajo, esto es, que para  $t=0$ ,  $N_1=N_1^0$  y  $N_2=N_3^0=N_4^0=0$ .

El número de átomos del cuarto término de esta cadena en el tiempo  $t$  viene dado por:

$$N_4(t) = c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t} + c_3 e^{-\lambda_3 t} + c_4 e^{-\lambda_4 t} \quad [3]$$

expresión en la que:

$$c_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_4 - \lambda_1)} N_1^0$$

$$c_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2)} N_1^0$$

$$c_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_4 - \lambda_3)} N_1^0$$

$$c_4 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_4)(\lambda_2 - \lambda_4)(\lambda_3 - \lambda_4)} N_1^0$$

Ahora bien, si tenemos en cuenta que  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  y  $\lambda_1 \ll \lambda_3$  e igualmente  $\lambda_4 \ll \lambda_2$  y  $\lambda_4 \ll \lambda_3$  y que, al mismo tiempo, los exponentes del segundo y tercer sumando de la ecuación [3] se pueden considerar que son igual a  $\infty$  si se compara con los otros dos sumandos, ya que se trata de tiempos muy grandes, caben las siguientes simplificaciones:

$$c_2 e^{-\lambda_2 t} = 0 \quad ; \quad c_3 e^{-\lambda_3 t} = 0$$

$$c_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_4 - \lambda_1} N_0^1 \quad ; \quad c_4 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_4} N_0^1$$

con lo que resulta para  $N_4(t)$

$$N_4(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_4 - \lambda_1} N_0^1 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_4 t}) \quad [4]$$

ecuación análoga a la de la cinética de desintegración de dos nucleí- dos solamente, como cabía esperar a la vista de la gran diferencia - que existe entre las constantes de desintegración.

Por otra parte, también se tiene que  $\lambda_4 \gg \lambda_1$ , luego la aproxi- mación  $\lambda_4 - \lambda_1 = \lambda_4$  será válida igualmente, lo que lleva a:

$$N_4(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_4} N_0^1 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_4 t})$$

$$\frac{N_4(t)}{N_0^1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_4} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_4 t})$$

En el caso del U-238, su periodo de semidesintegración es lo su- ficientemente largo ( $T=4,51 \cdot 10^9$ ) como para suponer que en intervalos de tiempo de varios millones de años se cumple que:

$$N_0^1 = N_1(t) \quad \text{y por lo tanto} \quad e^{-\lambda_1 t} = 1$$

De ahí que:

$$\frac{N_4(t)}{N_1(t)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_4} (1 - e^{-\lambda_4 t}) \quad [5]$$

y tomando los valores para las constantes dadas en la Tabla I se -  
obtiene finalmente:

$$\frac{N_{U-234}}{N_{U-238}} = 5,48 \cdot 10^{-5} (1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} t}) \quad [6]$$

Igualando ahora esta ecuación a la [2] del epígrafe anterior, se -  
obtiene, dado que los periodos de desintegración son inversamente  
proporcionales a las constantes de desintegración:

$$1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} t} = \frac{A_{U-234} - F_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} \quad [7]$$

de donde finalmente se deduce:

$$t = - \frac{L_n \left[ 1 - \frac{A_{U-234} - F_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} \right]}{2,8 \cdot 10^{-6}} \quad [8]$$

Esta igualdad da el tiempo transcurrido desde la formación del  
mineral primario en que solo existen átomos de U-238 (t=0) hasta -  
el momento de la medida. En ella, se ve que cuando  $A_{U-234} - F_{U-234} =$   
 $A_{U-238} - F_{U-238}$ ,  $t = \infty$ , que es el caso del equilibrio secular  
 $N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$ , o lo que es igual:

$$\frac{N_1}{T_1} = \frac{N_2}{T_2}$$

Aceña hace un sucinto cálculo de errores del método de determi-  
nación de riqueza isotópica por medio de semiconductores y señala -  
que de todos los factores que intervienen en la imprecisión de una  
medida de esta clase, el más importante es el estadístico de impul-

sos acumulados en cada pico. Debido a la poca actividad del Uranio natural y a que las fuentes utilizadas en espectrometría alfa deben ser extraordinariamente finas, no se pueden acumular muchos impulsos en el espectro, a no ser con tiempo de contajes prohibitivos, ya que la estabilidad del sistema podría variar en el transcurso de la medida; es por ello que en la geometría que se utiliza en este informe, dos o tres mil impulsos por pico es lo máximo que se podría acumular, lo que dará una desviación standard para la relación  $N_{234}/N_{238}$  de un 2% aproximadamente. Esto equivale a decir que para una R.A. de 1, es decir de equilibrio, tendríamos una probabilidad de un 67% de obtener una medida comprendida entre 0,98 y 1,02 o una probabilidad del 95% de obtenerla entre 0,96 y 1,04 lo que daría el límite de antigüedad de un mineral que con este método se podría determinar.

En efecto, aplicando la fórmula [8] a una R.A. de 0,96 se obtiene  $t=1,8.10^6$  años, valor muy pequeño para cualquier edad de un mineral primario, ya que se remonta tan solo al PLEISTOCENO. Es por ello por lo que, como se indicaba en la introducción, hasta hace relativamente poco tiempo se pensaba que la R.A. entre el U-234 y el U-238 era siempre la unidad.

Sin embargo, también se ha visto que, debido a diferencias de solubilidad, el U-234 puede lixivarse preferencialmente y ser llevado por las aguas, en último extremo, a los mares y Océanos, donde se ha encontrado una R.A. constante de 1,15. Si se supone que este valor se ha mantenido constante a través de los tiempos, siendo el resultado de una especie de equilibrio dinámico entre el Uranio enriquecido en U-234, aportado a los mares por las aguas continentales, y la desintegración radiactiva de éste, será fácil obtener una expresión que permita calcular el tiempo en que se formó un mineral secundario, de origen marino, así como yacimientos coralinos y fósiles.

En efecto, sea R la R.A. del entorno donde se formó el mineral secundario de que se trate; en ese instante, el número de átomos de U-234 no será cero, como se supuso en la discusión anterior, sino  $N_2^0$ , que será igual a:

$$\frac{N_1^0 \lambda_1}{\lambda_2} \cdot R, \text{ donde } R \text{ es, como se ha definido, la relación } N_2^0 \lambda_2 / N_1^0 \lambda_1$$

La ecuación que dá el número de átomos del nucleido hijo en el caso de los dos primeros términos de una cadena de desintegración (que, como se ha visto, dada la gran diferencia de valor entre las constantes de desintegración, es el caso que se debe considerar) - es:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t} \quad [9]$$

que haciendo las mismas aproximaciones que anteriormente, es decir

$$\lambda_2 \gg \lambda_1 \quad e^{-\lambda_1 t} \cong 1 \quad \text{y} \quad N_1^0 = N_1(t)$$

y también, poniendo que

$$N_2^0 = R \frac{N_1^0 \lambda_1}{\lambda_2}$$

se obtendrá:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1(t) (1 - e^{-\lambda_2 t} + R e^{-\lambda_2 t})$$

o sea:

$$\frac{N_2(t)}{N_1(t)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left[ 1 - e^{-\lambda_2 t} (1-R) \right] \quad [10]$$

que sustituyendo el valor de las constantes para el caso del U-238 y U-234, e igualando en la expresión [2] dará:

$$1 + (R-1)e^{-2,8 \cdot 10^{-6} t} = \frac{A_{U-234} - F_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} \quad [11]$$



y finalmente

$$t = \frac{\ln \frac{A_{U-234} - F_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} - 1}{R - 1} \cdot \frac{1}{-2,8 \cdot 10^{-6}} \quad [12]$$

En la figura 6, puede verse que en el espectro del Uranio que se ha obtenido, no se aprecian picos a la derecha del correspondiente al del U-234, lo que indica que la separación química llevada a cabo ha sido buena, pues de lo contrario aparecerían, entre otros, el Th-230 y el Ra-226, términos de la misma serie  $4n+2$  y de energías más próximas al U-234, concretamente 4,682 y 4,777, que interferirían en la determinación del área  $A_{U-234}$ . Como también se ha dicho, los fondos  $F_i$  que interfieren en los picos se deben a las colas de baja energía de los picos correspondientes a nucleidos de mayor energía. Ahora bien, como no hay ninguno de más energía que el U-234, el  $F_{U-234}$  será cero; por lo tanto la expresión [12] quedará, pasando también a logaritmos vulgares:

$$t = - \frac{2,3 \log \frac{A_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} - 1}{R-1} \cdot \frac{1}{2,8 \cdot 10^{-6}} \quad [13]$$

Suponiendo que el error relativo del 95% es de un 4%, el tiempo mayor que se puede determinar en este tipo de minerales secundarios, será aplicando esta expresión [13] a una R.A. de 1,04  $t=4,7 \cdot 10^5$  años, valor adecuado para "datar" fósiles marinos, corales, etc., como han afirmado diferentes autores.

Por último, se va a considerar el caso de un mineral secundario formado en el tiempo  $t=0$  a expensas de un mineral primario de Uranio por parcial lixiviación. Cuando este fenómeno ocurrió se tendrá que,

por término medio, las relaciones de actividad, R.A., de ambos minerales eran:  $(RA)_1^0$  y  $(RA)_2^0$ , respectivamente, para el primario y el secundario, y que en el transcurso del tiempo estas dos relaciones han evolucionado, siguiendo las leyes de desintegración radiactiva, para transformarse en  $(RA)_1^t$  y  $(RA)_2^t$ .

Como ya se vió, la ecuación que rige la cinética de desintegración tanto para el caso del mineral primario como para el secundario, es:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t} \quad [14]$$

que con  $\lambda_1 \ll \lambda_2$  se pueden hacer las aproximaciones

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 e^{-\lambda_2 t} + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 + e^{-\lambda_2 t} (N_2^0 - N_1^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2})$$

teniéndose, en definitiva, para los dos tipos de minerales

$$e^{-\lambda_2 t} = \frac{N_2 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0}{N_2^0 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0} \quad [15]$$

Por otra parte, llamando

$$\frac{p_2^{N_2^0} \lambda_2}{p_1^{N_1^0} \lambda_1} = (RA)_1^0 \quad y \quad \frac{p_2^{N_2^t} \lambda_2}{p_1^{N_1^t} \lambda_1} = (RA)_1^t$$

relaciones de actividad para el mineral primario en el tiempo cero y t, respectivamente; pero como se puede suponer, con muy pequeño error, que  $N_1^0 \cong N_1$ , la última igualdad quedará

$$\frac{p_2^N \lambda_2}{p_1^N \lambda_1} = (RA)_1^t$$

e igualmente, en el mineral secundario

$$\frac{s_2^N \lambda_2}{s_1^N \lambda_1} = (RA)_2^0 \quad \text{y} \quad \frac{s_2^N \lambda_2}{s_1^N \lambda_1} = (RA)_2^t$$

Sustituyendo estas igualdades en la ecuación [15], fácilmente se obtiene:

$$e^{-\lambda_2 t} = \frac{(RA)_1^t - 1}{(RA)_1^0 - 1} = \frac{(RA)_2^t - 1}{(RA)_2^0 - 1} \quad [16]$$

Ahora bien,  $(RA)_1^0 + (RA)_2^0 = 1$  (que equivale a decir que el mineral primario, antes de la formación del secundario, estaba en equilibrio) nos permite eliminar las relaciones  $(RA)_1^0$  y  $(RA)_2^0$ , desconocidas, en las ecuaciones [16], obteniéndose:

$$e^{-\lambda_2 t} = 2 - \left[ (RA)_1^t + (RA)_2^t \right] \quad [17]$$

y de aquí sacar el tiempo transcurrido

$$t = - \frac{\ln \left\{ 2 - \left[ (RA)_1^t + (RA)_2^t \right] \right\}}{\lambda_2} \quad [18]$$

En esta ecuación  $(RA)_1^t$  y  $(RA)_2^t$  se miden en los dos tipos de mineral, primario y secundario, que se suponen coexisten en la actualidad en un entorno próximo y en los que pudiera demostrarse que uno procedía del otro.

Sustituyendo ahora el valor de la constante y con los datos sacados de los dos espectros a realizar, obtenemos en logaritmos vulgares:

$$t = - \frac{2,3 \log \left\{ 2 - \left[ \left( \frac{A_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} \right)_1 + \left( \frac{A_{U-234}}{A_{U-238} - F_{U-238}} \right)_2 \right] \right\}}{2,8 \cdot 10^{-6}}$$

[19]

Haciendo las mismas consideraciones que anteriormente sobre la precisión de la medida, se puede fácilmente observar que el tiempo límite a determinar en este tercer caso es del orden de  $10^6$  años, adecuado para algunos minerales secundarios.

## 2. MATERIAL Y REACTIVOS

### 2.1 Espectrómetro alfa

Se ha utilizado un detector de barrera de silicio ORTEC, recubierto con película de oro, modelo nº SBAN 450 CN, con una superficie activa circular de  $450 \text{ mm}^2$  y una resolución de 65 keV, medida como la anchura de los picos a la mitad de su altura.

El equipo electrónico empleado está compuesto por las siguientes unidades:

Preamplificador ORTEC, modelo 109A.

Amplificador ORTEC, modelo 410, de bajo nivel de ruido.

Fuente de alta tensión ORTEC, modelo 428.

Generador de impulsos ORTEC, modelo 480.

El análisis de impulsos se realiza con un Analizador SPECTROZOOM de la firma SEIN, modelo SZ-402, de 200 canales en memoria y 4.000 en el convertidor.

El equipo está provisto de una salida digital constituida por un teletipo de la firma TELETYPE CORPORATION, provisto asimismo de cinta perforada.

El detector se sitúa en un soporte frente al cual va fijada la muestra (fig. 3). Un mecanismo de revólver permite cambiar de muestra manualmente sin romper el vacío. El conjunto se introduce en una campana de acero inoxidable, en la que por medio de una bomba rotatoria se establece un vacío de 0,1 mm de Mercurio.

### 2.2 Célula electrolítica

La célula electrolítica empleada para la electrodeposición del Uranio consta de un vaso de precipitados de 50 ml, en cuya base se ha soldado un hilo de platino como contacto, el cual va unido a un disco de platino, paralelo al fondo del vaso que actúa de ánodo fijo

(fig. 4). El cátodo es giratorio, solidario a un motor sincrónico - que gira a unas 300 rpm, y está constituido por un vástago de 30 cm de longitud, cuyo extremo va provisto de unas pinzas que ajustan el disco sobre el que se va a depositar el Uranio, gracias a una tuerca aprisionante. El vástago va unido a un juego de poleas desmultiplicador, conectado al del motor sincrónico, siendo utilizado al mismo tiempo de contacto eléctrico y de eje de agitación.

### 2.3 Equipo de medida

El recuento de las partículas alfa se ha realizado con un contador de flujo Argon-Metano (90% y 10%, respectivamente) sin ventana y de geometría 2  $\pi$  de la casa PHILIPS, modelo PW 4141, adaptado a un equipo también PHILIPS con las siguientes características:

Preamplificador modelo PW 4071

Amplificador lineal modelo PW 4072/01

Discriminador de altura de impulsos modelo PW 4082

Escala electrónica modelo PW 4032, provista de cronómetro electrónico modelo PW 4072

Fuentes de alta tensión estabilizada y regulables desde 0 a 3.000 voltios, modelos PW 4029/01 y PW 4021

### 2.4 Reactivos

Se han utilizado productos y reactivos de la casa MERCK calidad P.A. Asimismo, las separaciones Uranio-elementos de parecida energía (Th, Ra, etc.) se han llevado a cabo con resina DOWEX 1x8, cuyo tamaño de grano es de 100-200 mallas.

La firma BOIXAREU suministró la plancha de acero inoxidable, pulido a espejo, a partir de la cual y mediante troquel, se hicieron los discos de 1 mm de espesor y de 24,5 mm de diámetro.

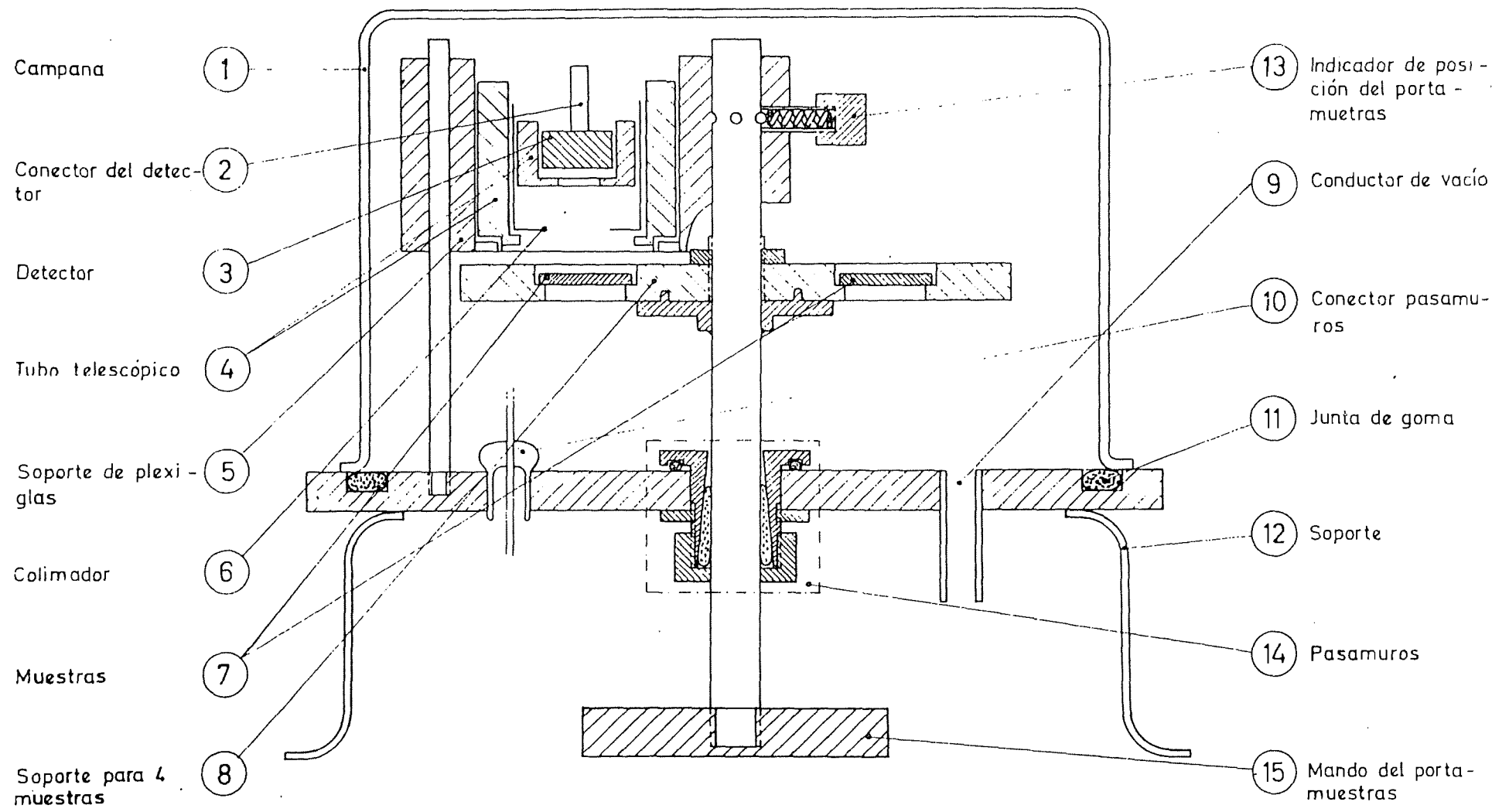


FIG. 3.

CONJUNTO DEL SOPORTE DEL DETECTOR

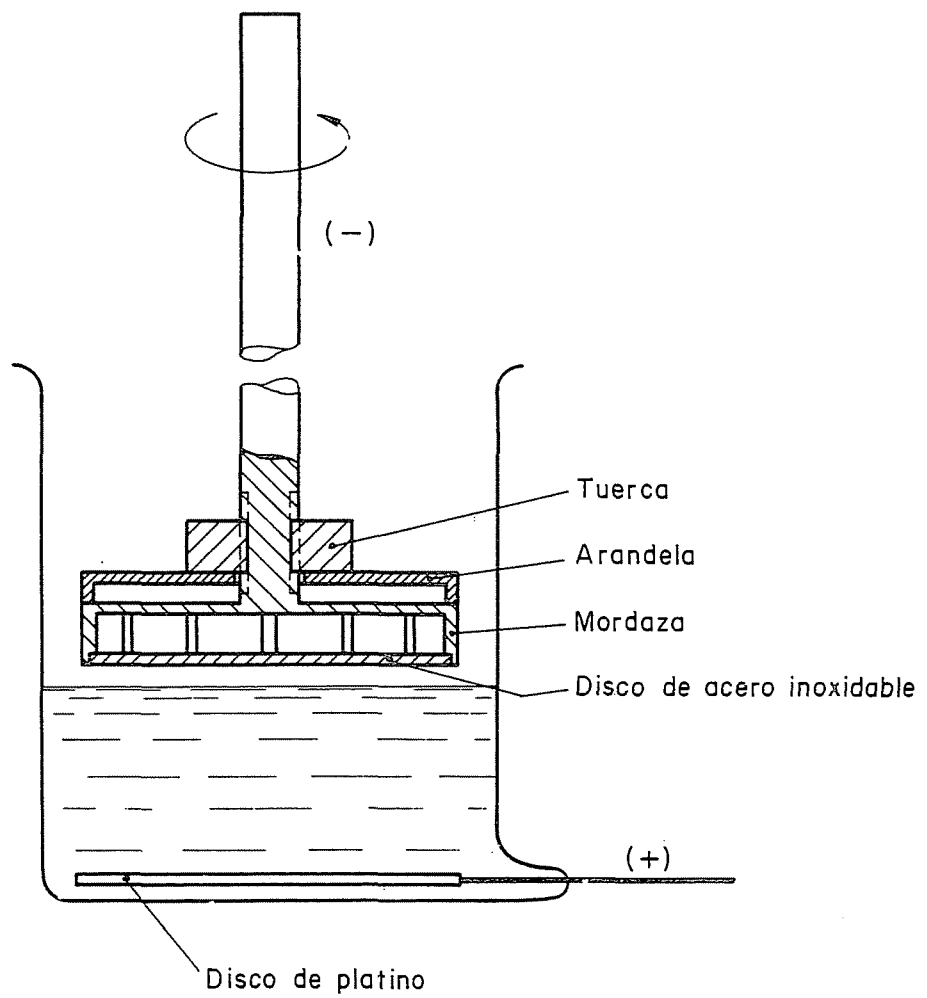


FIG. 4. - CELULA ELECTROLITICA.



### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Minerales estudiados

Los minerales que se han estudiado fueron cedidos por la Sección de Mineralogía de la Junta de Energía Nuclear, pertenecientes a diversas zonas españolas, y de características muy variadas.

#### 3.2 Método de ataque

Muestras diferentes de minerales se atacaron en vasos de 250 ml con 50 ml de  $\text{NO}_3\text{H}$  1:1, sobre placa de calefacción durante 4 horas, reponiendo en el transcurso de las mismas el ácido evaporado. Al término de las cuatro horas se diluyó con un volumen equivalente de agua y se filtró. El residuo se eliminó y la solución resultante se evaporó varias veces con  $\text{ClH}$  conc., tras lo cual se disolvió el residuo con 50 ml de  $\text{ClH}$  6N.

#### 3.3 Separación del Uranio

Tal y como se indicó en la introducción, hay determinados elementos que pueden interferir en el método, dada la parecida energía que tienen respecto del Uranio. Aprovechando el hecho de que el Uranio es fijado por la resina aniónica en medio  $\text{ClH}-\text{CH}_3\text{OH}$  y que, tanto el Th como el Ra son eluidos en dicho medio, ha parecido interesante el empleo de este método (TERA, F. y KORKISCH, J.; 1961) para su separación.

Por la resina previamente tratada con una solución (20-80%)  $\text{ClH}-\text{CH}_3\text{OH}$  se hacen pasar los 50 ml de la solución de Uranio, en los que se disolvieron 2 gr de ácido ascórbico. Después de la fijación del Uranio en la resina, y una vez eliminados el Th, Ra y elementos pesados, se lava la columna con solución  $\text{ClH}-\text{CH}_3\text{OH}$  (aproximadamente 150 ml en porciones). El Uranio se eluye después, pasando por el seno de la columna 100 ml de  $\text{ClH}$  1N.

Con el fin de asegurar la completa eliminación de Ra se añadió a la solución resultante 0,5 gr de  $Ba^{++}$  coprecipitando el Ra como sulfato. El exceso de sulfato se eliminó añadiendo más  $Ba^{++}$ , y este exceso de  $Ba^{++}$  se precipitó con carbonato amónico, eliminando la demasía por calcinación. El residuo obtenido se trató varias veces con  $NO_3H$ , obteniendo finalmente una solución aforada a 10 ml en medio  $NO_3H$  0,5 N.

### 3.4 Electrodeposición del Uranio

Para la determinación de la relación de actividades por Espectrometría Alfa es necesario preparar unas fuentes radiactivas extraordinariamente finas y homogéneas para que posean la mínima autoabsorción posible, debiendo estar, además, perfectamente adherido el depósito a la superficie del disco soporte.

La electrodeposición del Uranio sobre discos de acero inoxidable (HUFFOR, D.L. y SCOOT, B.F.; 1949), (GAETA, R. y MANERO, F. 1963), (ACEÑA, M.L.; 1967) ha proporcionado buenos resultados a juzgar por los espectros obtenidos.

El método consiste en una electrodeposición catódica de Fluoruro de Uranio (IV).

Antes de proceder a la electrolisis, la superficie de acero, bien pulida, se desengrasa con tricloroetileno, recubriendo con laca zapón los bordes del soporte con el fin de que no se deposite sobre los mismos parte del Uranio. Una vez seca la laca, se electroliza el disco con una solución concentrada de carbonato sódico colocando éste como ánodo y empleando como cátodo un electrodo de platino. La electrolisis se mantiene durante 10 minutos, con una densidad de corriente de  $0,5 \text{ Amp/cm}^2$ . Transcurrido ese tiempo se separa el disco de acero inoxidable, se lava con agua destilada e inmediatamente se sumerge en la solución de Uranio para efectuar el depósito.

La célula electrolítica fué descrita en el epígrafe 2.2 del

presente trabajo.

Las condiciones de operación fueron:

Nitrato de Uranilo, aproximadamente 300  $\mu\text{g}$   
Solución de FNa 0,06 M. 6 ml  
Adición de NaOH hasta pH 10  
Densidad de corriente, 1 mA/cm<sup>2</sup>  
Distancia ánodo cátodo, 2 cm  
Anodo de platino  
Cátodo giratorio constituido por el disco de acero inoxidable  
Tiempo de electrolisis, 3 horas  
Temperatura ambiente

Al final de la electrolisis, se interrumpe la misma sacando el soporte, sin suprimir la tensión. Se lava la muestra sucesivamente con agua destilada y etanol y se seca poniéndola bajo un epirradiator. Esto hace que la adherencia del depósito al disco sea buena.

En la figura 5 se representa el esquema de separación selectiva del Uranio.

El contenido en Uranio de las muestras se ha determinado con un contador proporcional de geometría 2  $\pi$ , a flujo de gas Argon-Metano, fabricado por PHILIPS y citado anteriormente.

### 3.5 Espectros realizados

Se realizaron los espectros de cada una de las muestras citadas (uno de ellos queda reflejado en la fig. 6) y todos obtenidos en las siguientes condiciones:

Temperatura ambiente  
Presión dentro del recinto del detector, 0,1 mm de Hg  
Tensión de polarización, 50 V  
Distancia entre la muestra y la superficie sensible del de-

tector, 1 cm

Tiempo de medida, el suficiente para acumular más de 2.000 cuentas en los máximos de cada uno de los picos de U-238 y U-234.

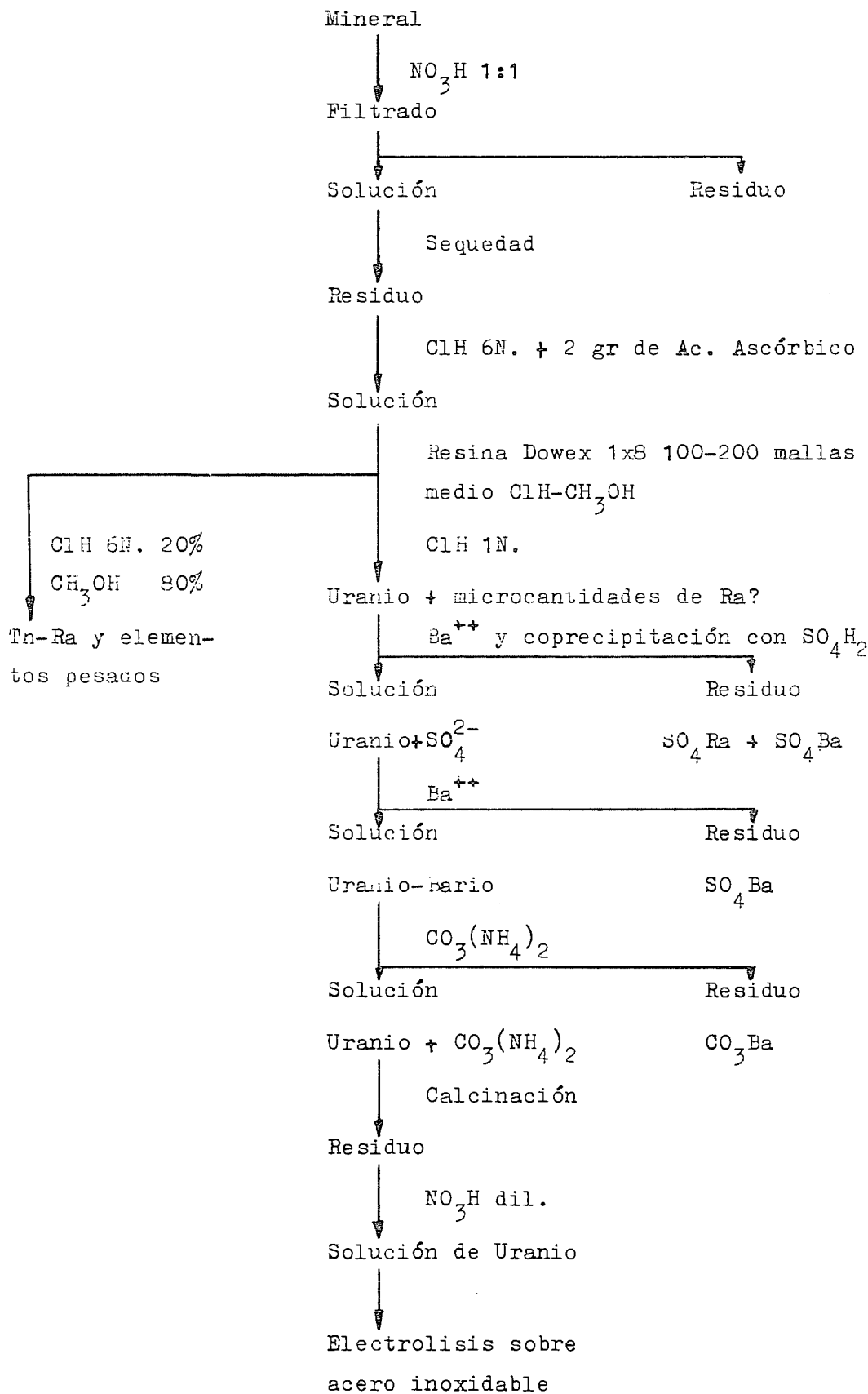


Fig. 5 - Esquema de separación selectiva del Uranio.

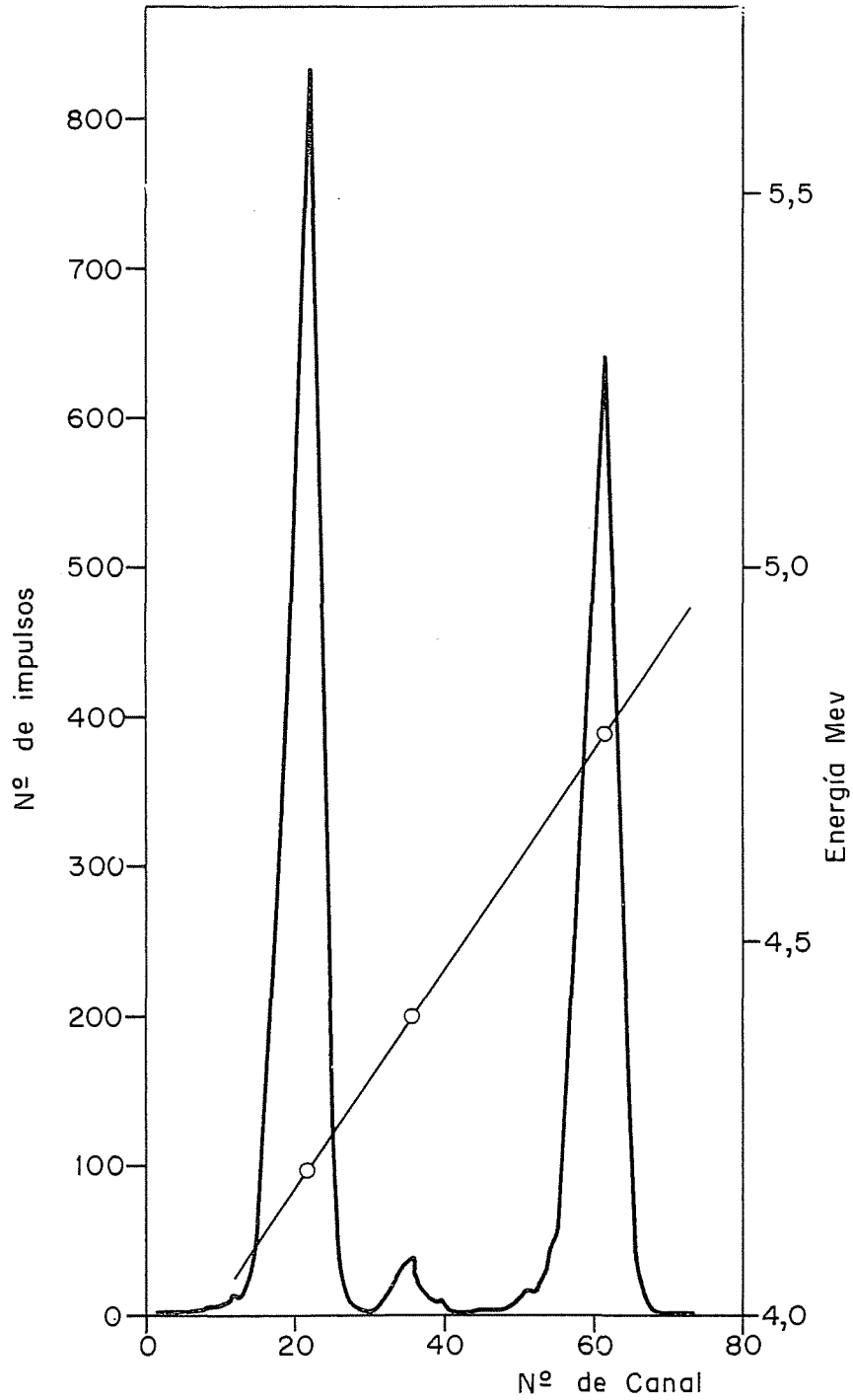


Fig. 6 - Espectro de uno de los minerales estudiados

TABLA II

Ref. Miner.	Pico U-238	Fondo U-238	Pico U-234	Fondo U-234	Pico U-235	Fondo U-235	(1) Area U-238	(2) Area U-234	(3) Area U-235	(4) RA	(5) $\sigma^2_{F_{U-238}}$	(6) $\sigma^2_{RA}$	$2\sigma_{RA}$
SPD-1	4624	21	3844	0	188	14	4603	3844	174	0,835	152	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
SPD-2	7238	37	6772	0	321	24	7201	6772	297	0,94	472	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$
SPD-3	1824	7	1791	0	54	6	1817	1791	48	0,986	17	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
SPD-4	3846	19	3312	0	172	12	3827	3312	160	0,865	124	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$
SPD-5	1559	9	1683	0	76	6	1550	1683	70	1,081	28	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-2}$
SPD-6	3929	19	3504	0	168	12	3910	3509	156	0,90	124	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-2}$
SPD-7	2876	15	2838	0	132	10	2861	2838	122	0,992	77	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
SPD-8	2023	11	1963	0	94	7	2012	1963	87	0,981	125	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
SPD-9	2256	12	2310	0	105	8	2244	2310	97	1,021	42	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$
SPD-10	1520	9	1533	0	79	5	1511	1533	74	1,010	28	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$
SPD-11	1045	6	1096	0	52	4	1039	1096	48	1,054	12	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-2}$

(1)  $A_{U-238} = P_{U-238} - F_{U-238}$

(2)  $A_{U-234} = P_{U-234} - F_{U-234}$

(3)  $A_{U-235} = P_{U-235} - F_{U-235}$

(4)  $RA = A_{U-234} / A_{U-238}$

(5)  $\sigma^2_{F_{U-238}} = F_{U-238} \cdot \frac{141,347}{\bar{F}_8^*}$

(6)  $\sigma^2_{RA} = \frac{RA^4}{A^2_{U-234}} \left( \frac{A_{U-234}}{RA^2} + A_{U-238} - \sigma^2_{F_{U-238}} \right)$

(\*)  $\bar{F}_8 =$  Fondo medio, medido con los patrones





#### 4. DISCUSION DE RESULTADOS

##### 4.1 Análisis de espectros

En el caso tratado, puede apreciarse que tanto la cola del pico de U-235 como la del U-234 influyen en el pico del U-238 así como la del U-234 influye en la del U-235, por lo que para el cálculo de la relación de actividades es necesario restar al pico del U-238 el fondo correspondiente a las colas de baja energía, tal y como se indicó en la introducción.

En la Tabla II, la primera columna indica la referencia de cada uno de los minerales. La segunda, cuarta y sexta son las áreas - obtenidas sumando entre los límites de integración  $X_{1i}$  y  $X_{2i}$  los contenidos de cada uno de los canales que integran los picos ( $X_{1i}$  y  $X_{2i}$  se han elegido arbitrariamente como ocho canales a la izquierda y cinco a la derecha del máximo de cada pico).

##### 4.2 Cálculo de las Relaciones de Actividad (R.A.)

En la Tabla II se indica en las columnas tres, cinco y siete los fondos a restar de cada uno de los picos correspondientes. Puede verse que no existe fondo del U-234, lo cual es lógico ya que a la derecha del pico del U-234 no existe ninguno, por lo que no puede influirle la cola de baja energía debida a algún pico.

El fondo del U-235, proporcional al área del U-234 se ha calculado según la fórmula:

$$F_{U-235} = \epsilon \cdot A_{U-234}$$

El fondo del U-238, que en este caso será proporcional a las áreas de los picos siguientes y que corresponden al U-235 y U-234, se ha calculado con la fórmula:

$$F_{U-238} = \psi \cdot A_{U-234} - \chi \cdot A_{U-235}$$

Los tres símbolos  $\epsilon$ ,  $\psi$  y  $\chi$  representan tres constantes de proporcionalidad obtenidas midiendo en las mismas condiciones de las muestras una serie de patrones de riqueza isotópica perfectamente conocida y que han resultado tener los valores:

$$\epsilon = 0,00356$$

$$\psi = 0,00078$$

$$\chi = 0,09800$$

En las columnas ocho, nueve y diez se presentan las áreas de los picos correspondientes a U-238, U-234 y U-235 corregidas por fondo. En la columna once pueden apreciarse las R.A. de los diferentes minerales, con las que pueden comprobarse que dentro del error que se indica en la columna catorce, los minerales S.P.D.-3, S.P.D.-5, S.P.D.-7, S.P.D.-8, S.P.D.-9, S.P.D.-10 y S.P.D.-11 se encuentran con una probabilidad del 95% en estado de equilibrio, mientras que los minerales S.P.D.-1, S.P.D.-2, S.P.D.-4 y S.P.D.-6 se hallan en desequilibrio, habiendo sufrido una lixiviación preferencial del U-234 sobre el U-238.

BIBLIOGRAFIA

ACEÑA, M.L., An. Real Soc. Esp. Fís. y Quím., A, LXI (A), 13 (1965)

ACEÑA, M.L., Procedimiento de preparación de muestras para espectrometría alfa, desarrollado por el Grupo de Química del Plutonio de la Dirección de Química e Isótopos (1967)

ACEÑA, M.L., POITTIER, R. et MARLIN, Note C.E.A. N-1341, n<sup>o</sup> 8.446 (1970)

BARNES, J.W., LANG, E.J. and POTRATZ, H.A., Science 124 (1956) 175

BATEMAN, H., Proc. Cambridge Phil. Soc., 16 (1910) 423

BLANCHARD, R.L., U-234/U-238 ratios in coastal marine waters and calcium carbonates (1965)

BLANCHARD, R.L. and POTRATZ, H.A., Determination of geologic age of marine calcium carbonates by Uranium series disequilibrium. In preparation (1965)

BROECKER, W.S., J. Geophys. Res., 68 (1963) 2817

CHERDYNTSEV, V.V., Trans. 3rd. Sess. Comm. on Determination of the Absolute Age of Geological Formation, Moscow (1955)

DE SOUSA, A., Anal. Chim. Acta, 11 (1954) 221

GAETA, R. y MANERO, F., Informe JEN MF/1 (1963)

- HUFFOR, D.L. and SCOOT, B.F., Techniques for the preparation of thin films of radioactive materials. Part II, pater 16,1, The transuranium elements (Seaborg, A.C. Katz, J.J. Eds.) MacGraw-Hill, New York (1949)
- KHAN, A.H. and ACEÑA, M.L., Sonderdruck aus Radiochimica Acta, 18 (1972) 30
- PATIGNI, M., LEVOS et TEULIERES, Note Technique H/P/L n<sup>o</sup> 8 C.E.A. (1965)
- RONA, E., Science 144 (1964) 1955
- RONA, E., GILPATRICK, L.O. and JEFFREY, L.M., Trans. am. Geophys. Union, 37 (1956) 697
- ROSHOLT, J.N., EMILIANI, C., GEISS, J., KOCZY, F.F. and WANGERSKY, P.J., J. Geol., 69 (1961) 162
- TERA, F. and KORKISCH, J., Anal. Chim. Acta, 25 (1961) 222
- THURBER, D.L., J. Geophys. Res., 67 (1962) 4518
- THURBER, D.L., Uranium and Thorium disequilibria in continental waters and sediments. Paper presented at Conf. on Geochronology of Marine and Fluvial Sediments, Oak Ridge, Tenn. (1963)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el Laboratorio de Preparación de Patrones Radiactivos, a cuyo jefe Dr. M.L. Aceña, el autor agradece sus acertados consejos y aportaciones. Igualmente desea expresar su reconocimiento al Sr. Peñalba Delgado por la ayuda prestada en las largas y tediosas manipulaciones y medidas que han sido necesarias.

Finalmente agradece al Dr. Mingarro Sanz, jefe de la Sección de Mineralogía, la selección y suministro de los minerales estudados.



J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid

"Determinación de equilibrios en minerales de uranio por espectrometría alfa"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

Se estudia un método para la medida de la relación de actividades U-234/U-238 en minerales uraníferos por espectrometría alfa con semiconductores.

La separación del Uranio de los elementos que interfieren se lleva a cabo por cambio iónico con resina aniónica en medio Clorhídrico-Metanol-Acido Ascórbico.

El método ha sido aplicado a diferentes minerales españoles, de los que se ha determinado su estado de equilibrio.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid.

"Determinación de equilibrios en minerales de uranio por espectrometría de alfa"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

Se estudia un método para la medida de la relación de actividades U-234/U-238 en minerales uraníferos por espectrometría alfa con semiconductores.

La separación del Uranio de los elementos que interfieren se lleva a cabo por cambio iónico con resina aniónica en medio Clorhídrico-Metanol-Acido Ascórbico.

El método ha sido aplicado a diferentes minerales españoles, de los que se ha determinado su estado de equilibrio.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid.

"Determinación de equilibrios en minerales de uranio por espectrometría alfa"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

Se estudia un método para la medida de la relación de actividades U-234/U-238 en minerales uraníferos por espectrometría alfa con semiconductores.

La separación del Uranio de los elementos que interfieren se lleva a cabo por cambio iónico con resina aniónica en medio Clorhídrico-Metanol-Acido Ascórbico.

El método ha sido aplicado a diferentes minerales españoles, de los que se ha determinado su estado de equilibrio.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid.

"Determinación de equilibrios en minerales de uranio por espectrometría alfa"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

Se estudia un método para la medida de la relación de actividades U-234/U-238 en minerales uraníferos por espectrometría alfa con semiconductores.

La separación del Uranio de los elementos que interfieren se lleva a cabo por cambio iónico con resina aniónica en medio Clorhídrico-Metanol-Acido Ascórbico.

El método ha sido aplicado a diferentes minerales españoles, de los que se ha determinado su estado de equilibrio.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES.-B-13; Radioactivity; Uranium Minerals;  
Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition;  
Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materils;  
Radioassay.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals;  
Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition;  
Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materils  
Radioassay.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals;  
Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition;  
Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materils;  
Radioassay.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals;  
Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition;  
Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materils  
Radioassay.



J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid.

"Equilibria determination in uranium ores by alpha spectrometry"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

A method for the measurement of the U-234/U-238 activities described.

The separation of the Uranium from the elements interfering is carried out by ionic change with anionic resins, in Chlorhidric-Metanol-Ascorbic acid medium.

The method has been applied to different Spanish ores in which the equilibrium state has been determined.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid

"Equilibria determination in uranium ores by alpha spectrometry"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

A method for the measurement of the U-234/U-238 activities described.

The separation of the Uranium from the elements interfering is carried out by ionic change with anionic resins, in Chlorhidric-Metanol-Ascorbic acid medium.

The method has been applied to different Spanish ores in which the equilibrium state has been determined.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid

"Equilibria determination in uranium ores by alpha spectrometry"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

A method for the measurement of the U-234/U-238 activities described.

The separation of the Uranium from the elements interfering is carried out by ionic change with anionic resins, in Chlorhidric-Metanol-Ascorbic acid medium.

The method has been applied to different Spanish ores in which the equilibrium state has been determined.

J. E. N. 346

Junta de Energía Nuclear, Unidad de Metrología, Madrid.

"Equilibria determination in uranium ores by alpha spectrometry"

TORMO FERRERO, M.J. (1976) 33 pp. 6 figs. 20 refs.

A method for the measurement of the U-234/U-238 activities described.

The separation of the Uranium from the elements interfering is carried out by ionic change with anionic resins, in Chlorhidric-Metanol-Ascorbic acid medium.

The method has been applied to different Spanish ores in which the equilibrium state has been determined.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals; Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition; Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materials; Radioassay.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals; Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition; Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materials; Radioassay.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals; Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition; Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materials; Radioassay.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS.- B-13; Radioactivity; Uranium Minerals; Uranium 234; Uranium 238; Alpha Spectroscopy; Ion Exchange; Electrodeposition; Radium; Thorium; Semiconductor Detectors; Geologic Deposit; Radioactive Materials; Radioassay.