

Acerca del método de análisis de activación neutrónica en régimen de capas saturadas

P.A. Mariño Castellanos y L. Pérez Tamayo, Facultad de Física Matemática.
Universidad de Oriente

RESUMEN

En el presente trabajo se deduce un conjunto de ecuaciones que permiten fundamentar el uso del AAN en la determinación del flujo de neutrones rápidos y térmicos y de concentraciones de elementos en diferentes muestras por medio de su identificación por el período de semidesintegración y midiendo la actividad beta inducida en capas saturadas.

Se definen los coeficientes de probabilidad de activación y detección relativa de dos isótopos en la misma muestra. La validez de las ecuaciones deducida se corrobora experimentalmente con patrones de Cu y muestras de concentrados minerales del Cu, siendo el error en la determinación del Cu en el rango de concentración de 5 a 35 % menor que 8,5 %.

INTRODUCCIÓN

En muchos países /1/ el AAN se ha aplicado exitosamente en la industria, la minería, la agricultura y la geología. En nuestro país se reportan trabajos en /1/, empleándose cuatro fuentes isotópicas y el análisis instrumental por espectrometría gamma. Una variante de análisis instrumental menos sofisticada es la de identificar los elementos por el semiperíodo de

desintegración de la emisión beta medida en capas saturadas, usando un método semiabsoluto que no necesita de los espectrómetros gamma. Para el empleo de esta variante es necesario, por no reportarse en la literatura, un conjunto de ecuaciones que relacionen la concentración del elemento con la velocidad de conteo medida.

Para resolver esta situación en el presente trabajo, se describe la obtención de estas ecuaciones para la determinación de concentración, de flujos de neutrones rápidos y térmicos y de la sección eficaz de activación. Se corroboran experimentalmente en la determinación de concentraciones en patrones y en muestras minerales que se discute también en el presente trabajo.

DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES

Partiendo de la expresión para la intensidad de la radiación beta, emitida por una muestra en capa saturada /2/ y teniendo en cuenta la efectividad, K , del detector; se obtiene una ecuación para la velocidad de conteo, que sustituida en la fórmula para la actividad de una muestra irradiada un tiempo t_a , luego de transcurrir un tiempo t' , después de cesada la irradiación /3/ nos permite obtener la siguiente expresión, para la concentración, C , del elemento x en la muestra:

$$C = \frac{V \cdot \mu/\rho \cdot A \cdot e^{\lambda t'}}{k \cdot \phi \cdot \sigma \cdot N \cdot \theta (1 - e^{-\lambda t_a})} \quad \dots (1)$$

Donde: μ/ρ es el coeficiente másico de absorción; θ la abundancia isotópica del elemento (A, Z); A el índice de masa; N el número de Avogadro; ϕ el flujo de neutrones que incide sobre la muestra y σ la sección eficaz para la reacción (n, γ).

De (1) y activando un compuesto "S" de concentración conocida, obtendríamos una expresión más general del método relativo, para nuestra metodología, que sería:

$$C_x = \frac{(\mu/\rho)_x \cdot A_x \cdot e^{\lambda_x t'_x}}{K_x \cdot \sigma_x \cdot \theta_x (1 - e^{-\lambda_x t_{ax}})} \cdot \frac{K_s \cdot \sigma_s \cdot \theta_s \cdot (1 - e^{-\lambda_s t_{as}})}{(\mu/\rho)_s \cdot A_s \cdot e^{\lambda_s t'_s}} \cdot \frac{V_x}{V_s} C_s \quad \dots (2)$$

De (2) es evidente que si tanto la muestra como el standard son irradiados hasta la saturación y se toma la velocidad de conteo en el instante que cesa la irradiación, desaparecen los términos exponenciales, y además si despejamos las secciones eficaces conocidos los restantes parámetros, obtendremos una relación entre secciones eficaces, que es muy útil al determinar la justeza del método propuesto.

Ahora, utilizando como sustancia patrón un elemento radioactivo de larga vida y desarrollando la misma línea de razonamiento descrita en el párrafo 1, pero despejando el flujo, se obtendrá:

$$\phi = I C_p \frac{V_s}{V_p} \frac{K_p}{(\mu/\rho)_p \cdot N} \frac{(\mu/\rho)_s \cdot A_s \cdot e^{\lambda_s t'_s}}{K_s \cdot C_s \cdot \sigma_s \cdot (1 - e^{-\lambda_s t_{as}})} \quad \dots (3)$$

Donde I es la actividad específica del isótopo radiactivo.

De (3) se aprecia que si el flujo es determinado por otro método, es posible determinar, por este, la sección eficaz para la activación de la sustancia standard.

Los parámetros k y μ/ρ se determinan a partir de resultados experimentales, lo cual aparece discutido en /2,4/.

El error que se comete en la determinación del ϕ , σ_s ; o C_x por este método no es mayor de un 25 %.

En la deducción de (2) y (3) se ha supuesto que no existen ni isótopos ni reacciones perturbadoras en la determinación del elemento investigado, lo cual no es cierto. Por ello, veamos el caso más sencillo, al estudiar la influencia del isótopo ② en la determinación de ① :

Utilizando la expresión para la actividad que aparece en /7/ y la razón entre la actividad del isótopo ① respecto al ② , tendremos:

$$\frac{I_{u1}}{I_{u2}} = \frac{\sigma_1 \cdot \theta_1 \cdot A_2 \cdot (1 - e^{-\lambda_1 t_a}) \cdot e^{-\lambda_1 t'} \cdot C_1}{\sigma_2 \cdot \theta_2 \cdot A_1 \cdot (1 - e^{-\lambda_2 t_a}) \cdot e^{-\lambda_2 t'} \cdot C_2} \quad \dots (4)$$

Definamos la probabilidad de activación relativa del isótopo ① respecto al isótopo ② como:

$$P_{AR_{1,2}} = \frac{\sigma_1 \cdot \theta_1 \cdot A_2}{\sigma_2 \cdot \theta_2 \cdot A_1} \frac{(1 - e^{-\lambda_1 t_a})}{(1 - e^{-\lambda_2 t_a})} \frac{e^{-\lambda_1 t'}}{e^{-\lambda_2 t'}} \quad \dots (5)$$

Si en lugar de relacionar las actividades, hallamos la razón entre la velocidad de conteo del isótopo ① respecto al isótopo 2, tendremos:

$$\frac{V_1}{V_2} = P_{AR_{1,2}} \cdot \frac{(\mu/\rho)_2 \cdot K_1}{(\mu/\rho)_1 \cdot K_2} \frac{C_1}{C_2} \quad \dots (6)$$

Definamos ahora la posibilidad de detección del isótopo ① respecto al ② en función de la energía de la partícula emitida; como:

$$P_{ER_{1,2}} = \frac{(\mu/\rho)_2 \cdot K_1}{(\mu/\rho)_1 \cdot K_2} \dots (7)$$

Por lo que (6) nos queda:

$$\frac{V_1}{V_2} = P_{AR_{1,2}} \cdot P_{ER_{1,2}} \cdot \frac{C_1}{C_2} = W_{R_{1,2}} \cdot \frac{C_1}{C_2} \dots (8)$$

De (5) y (7) se evidencia que: :

$$P_{ER_{1,2}} = (P_{ER_{2,1}})^{-1} \quad P_{AR_{1,2}} = (P_{AR_{2,1}})^{-1}$$

Estos coeficientes ($P_{AR_{1,2}}$ y $P_{ER_{1,2}}$) nos dan la posibilidad de hacer un análisis preciso de los elementos que se activarán en la muestra, por lo cual resultan de gran utilidad. Debe tenerse en cuenta que estos coeficientes suponen igual flujo e iguales concentraciones y de esta forma aparecerán tabulados para los elementos de interés, en la tabla 1.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SU DISCUSIÓN.

En la tabla 1 se presentan algunos coeficientes ($P_{AR(I,K)}$ y $P_{ER(I,K)}$) así como su producto. Al utilizarse estos coeficientes es importante notar que $W(I,K)$ nos da la probabilidad relativa de activación del elemento i-ésimo respecto al k-ésimo en función de σ , θ , A y $E_{\beta\text{máx}}$ por lo que tiene en cuenta tanto la probabilidad de activación como la probabilidad de detección.

Se ha tomado en los cálculos $t' = 0$ y 3 valores de t_a . Los datos necesarios para la determinación de los coeficientes fueron tomados de /5,6,7/.

TABLA N.º I

ELEM.A DET. INTERFERENCIA	$P_{ER}(I,K)$	$t_a=30 \text{ min}$		$t_a=60 \text{ min}$		$t_a=1560 \text{ min.}$	
		$P_{AR}(I,K)$	$W_R(I,K)$	$P_{AR}(I,K)$	$W_R(I,K)$	$P_{AR}(I,K)$	$W_R(I,K)$
Al - 27	2.44	52.4	$1.27 \cdot 10^2$	58.2	$1.41 \cdot 10^2$	58.8	$1.43 \cdot 10^2$
Al - 27*							
Al - 27	1.00	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6
Si - 28*							
Cu - 65	0.71	24.5	16.3	2.4	15.9	22.4	15.9
Si - 28*							
Cu - 65	22.2	6.83	$1.51 \cdot 10^2$	4.18	92.0	0.28	6.09

* Elementos que se activan con neutrones rápidos.

Se prepararon patrones de Cu a concentraciones desde 5 a 35 % y se determinó experimentalmente su concentración a partir de (2), tomando Al-27 como patrón, los que no difieren prácticamente de los cálculos a partir del método relativo, usando como patrón óxido cúprico. Esto implica que la reacción Al-27 (n,p)Mg-27, no interfiere prácticamente en la determinación, a pesar de que el flujo de neutrones rápidos es 2-3 veces mayor que el térmico, lo cual se explica si acudimos a la tabla N° 1, donde se tiene un valor $W_R(Al-27/Al-27^*) = 127$.

Se irradiaron, además, muestras de mineral de cobre de diferentes partes del proceso minero y cuyo contenido de Si y Cu es conocido. La concentración del Si apenas varía en dichas etapas (~ 25 %), pero las de Cu varían bruscamente (~ 1 % en la entrada y la cola y ~ 20 % en los concentrados).

La comparación de los resultados experimentales expresados en la tabla 2 muestran cómo con ayuda de los coeficientes que aparecen en la tabla 1 pueden corregirse los resultados experimentales teniendo en cuenta la reacción perturbadora, en este caso Si-28 (n,p) Al-28.

TABLA N° 2

Muestra	% Cu (Análisis Químico)	% Cu AAN Sin corrección por Si)	% Cu AAN Con la corrección por Si)
Entrada a la mina	1.31	11.2 ± 1.1	1.6 ± 0.2
Compósito de cola	0.47	7.5 ± 1.0	0.8 ± 0.1
Concentrado filtro	19.77	21.7 ± 1.3	16.8 ± 0.8
Concentrado Intermedio	22.73	28.3 ± 1.7	23.7 ± 2.4

CONCLUSIONES

Se han deducido las ecuaciones que permiten fundamentar el uso del AAN en régimen de conteo beta con capas saturadas y se han tabulado a partir de ellos, los valores numéricos de las probabilidades relativas de detección y registro de diferentes elementos de interés.

Las mediciones realizadas con patrones sintéticos y muestras de mineral cuprífero de contenido conocido de Cu y Si demuestran la utilidad de los coeficientes y la validez de las expresiones deducidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, R.A.; V. Sierra y A. Vera
Determinación de Macrocomponentes en suelos por activación con fuentes isotópicas de neutrones. Revista Cubana de Física. Vol. 1 No. 2, 1981 Pág. 29-46.

2. Hovinov y Kapnov

Métodos Exploración Radioactiva. Cap. Edit. "Nedra" (1965) pp. 83-85.

3. Apzubachev, B.A.

Yaderna-Geofuzicheckeya Razbegka. Atomisdat. 1972. Cap. 9.
Pág. 243-245.

4. Pérez Tamayo, L.; B. Rodríguez, P.A. Mariño y J. Marizy

Análisis por activación neutrónica de A_g en muestras minerales en régimen de capas saturadas (enviada para su publicación).

5. Mugnabgnab, S.F. and D.I. Gerber

Neutron Cross Sections Volume I, Resonance Parameters June 1973.

6. Michel Lederer, C.; J.M. Hallander and J. Perlman

Table of Osotopos.