

Evaluación y caracterización de una fuente de Am-241 usada como generador de partículas alfa para el análisis por emisión de rayos-X característicos

Eduardo Cunya*, Marco Munive, Paula Olivera

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Casilla Postal 1687, Lima 41, Lima, Perú

Resumen

Se presentan los resultados de una evaluación experimental sobre el uso de una fuente del radionucleído Am-241, como generador de partículas- α en el análisis de muestras por fluorescencia de rayos X a partir de un flujo de partículas cargadas (PIXE-alfa). Se muestra el uso de un material monitor que registra el flujo de radiación provocado por las partículas optimizando así la geometría muestra-fuente-detector y la sensibilidad de detección de sistema analítico.

Abstract

Results of an experimental evaluation on the use of an Am-241 source as generator of particles - α , in X-rays fluorescence analysis of samples from a flow of charged particles (PIXE-alpha) are presented. Furthermore, the use of a material monitor (CR-39) that registered the flow of radiation due to particles alpha is shown. It last optimizes the geometry sample - source -detector and the sensitivity of detection of the analytical system.

1. Introducción

La espectroscopia de emisión de rayos-X característicos inducida por partículas cargadas, es una novedosa técnica de análisis elemental de tipo superficial no destructiva, que teóricamente incrementa la sensibilidad para la detección de todos los elementos que constituyen un material; en particular, de la cerámica arqueológica considerada patrimonio cultural. Esta característica está muy relacionada con el tipo de partícula cargada presente en el flujo irradiado y la alta energía que posee [1], en este caso se emplea un flujo de partículas con carga positiva (alfa) de 5.49 MeV provenientes de una fuente radiactiva abierta de Am-241, 0,8 mCi de actividad aproximadamente y un período de semidesintegración de 432 años (Tabla 1), otra opción es el uso del radio-isótopo Po-210 [2] también, emisor de partículas alfa cuya energía es de 5.304 MeV con un tiempo de semidesintegración de 138 días. Debido a la elevada energía de las cargas que impactan en el blanco, es posible excitar capas electrónicas más internas produciendo incluso líneas L [8] distinguibles en el espectro obtenido por el análisis. Otro aspecto considerado es disponer de una herramienta analítica confiable, de fácil uso y transportable. El sistema está basado en el

uso seguro de una fuente de radiación en condiciones que no representa riesgo alguno para el operador. Algunas dificultades de aspecto tecnológico en la configuración de la fuente, cuya disposición geométrica sea la más óptima y la interferencia de los picos de energía de rayos-X debido al sustrato o soporte usado en la fabricación de la fuente [3] como la plata (Ag), el oro (Au), el paladium (Pd) que solapan estos picos de energía presentes en una muestra hacen necesario un análisis complementario usando FRX, por ejemplo.

2. Procedimiento Experimental

2.1 Estimación de la tasa de emisión alfa de fuente Am-241

Las partículas alfa al poseer un camino libre medio corto son de difícil detección, para este fin se puede usar detectores plásticos como los polímeros, que en presencia de la radiación alfa dejan un rastro, al que se denomina huella nuclear, según sea la trayectoria de la partícula alfa emitida la huella nuclear registrada en el polímero,

* Correspondencia autor: ecunya@ipen.gob.pe

tendría formas muy variadas, las cuales podrían ir desde círculos si la interacción es perpendicular, hasta elipses si la incidencia es oblicua (Figuras 1 y 2).

El polímero empleado para este estudio es el CR 39 que tiene una densidad de 1.3 g/cm^3 , cuyas dimensiones son $1,6 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ de superficie y 1 mm de espesor. La huella nuclear generada en estos detectores está en función de la energía de las partículas a detectar o del poder de frenado (dE/dx), mediante una relación como $V = V_t/V_b = f(dE/dx)$, de donde V_t y V_b son la velocidad de la huella y de ataque químico, respectivamente [4].



Figura 1. Huellas alfa registradas por detectores plásticos (cortesía, www.erilresearch.com/).

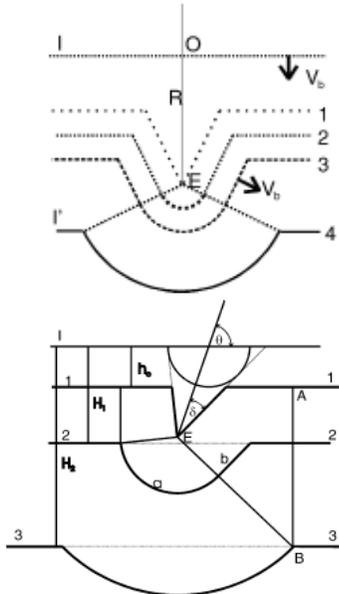


Figura 2. Formación de la huella nuclear por incidencia perpendicular y oblicua para varios tiempos y a la velocidad de ataque V_b .

Para determinar la tasa de emisión de partículas alfa, el detector es colocado sobre la fuente diseñada para la técnica PIXE alfa objeto de la evaluación y luego de 1 hora de irradiación se procede a realizar el proceso de revelado de imagen, tal como se describe más adelante, obteniendo huellas nucleares como las que se presenta en la Figura 3.

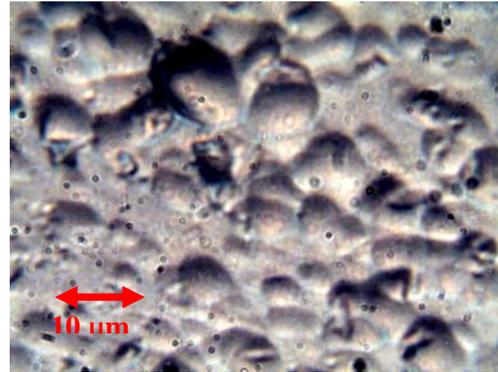


Figura 3. Fotografía de huellas nucleares logradas.

2.2 Proceso de obtención de imagen o huellas nucleares

La obtención de imagen en el detector plástico se logra mediante un ataque químico del plástico, con el cual se busca retirar una capa muy delgada de polímero (micras de espesor) la cual está en función del tiempo de ataque, para luego hacerla visible con la ayuda del microscopio.

El ataque químico del plástico CR 39, se realiza en una solución de NaOH, 6,4 M a temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, por un período de 120 minutos, la velocidad de ataque químico V_b , a esta temperatura es de $1.59 \text{ } \mu\text{m/h}$ [5] posteriormente se enjuaga y deja secar.

El polímero detector es observado bajo microscopio óptico con un aumento de 20×100 ; entonces, se hace un registro fotográfico mediante una cámara digital (figura 3) y un microscopio de fuerza atómica (Nanosurf Easyscan 2) (Figura 4), de esta imagen se pudo estimar que mayoritariamente las huellas alfa generan elipses de $8,1 \text{ } \mu\text{m}$ de lado mayor por $6 \text{ } \mu\text{m}$ de lado menor y $1 \text{ } \mu\text{m}$ de profundidad. Además las imágenes de la superficie del CR 39, muestran diversas huellas de distintas profundidades y tamaños debido a que la fuente emite partículas alfa de diferentes valores de energía (Tabla 1).

Tabla 1. Energía de las emisiones gamma y alfa, para la fuente Am 241 [6].

Energía alfa (keV)	Intensidad relativa %	Energía gamma (keV)	Intensidad relativa %
5485,5	84,5	59,54	35
5442,2	13,0	26,3	2,4
5388	1.6	33,19	0,126
5544	0.34	98	< 0.1

2.3 Arreglo fuente-detector utilizado

La fuente Am-241 proporcionada por la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos del Centro Nuclear RACSO, está compuesta por seis pequeños discos metálicos colocados en forma circular sobre un anillo de baquelita al cual se le practicó un agujero central de 10 mm de diámetro. Sobre esta construcción se coloca la muestra por analizar quedando separado de la fuente unos 5 mm luego el conjunto es puesto sobre el tope del detector a semiconductor de Ge-Planar [7] (Figura 5).

La electrónica de soporte consta de un analizador multi-canal, Eagle Plus EC 5004 de Canberra, un módulo de alto voltaje para polarizar el semiconductor, 459 de Ortec, un amplificador de conformación de pulsos nucleares Gaussianos, 2026 de Canberra, un portamódulos 4001A de Ortec y el software de colección de espectros Genie 2000 versión 3.0b instalado en un PC corriendo Windows™ 2000. Posteriormente, los espectros fueron procesados con la ayuda del software QXAS (Quantitative X-ray Analysis System) versión 3.6 desarrollado y distribuido por el IAEA, libre de costos.

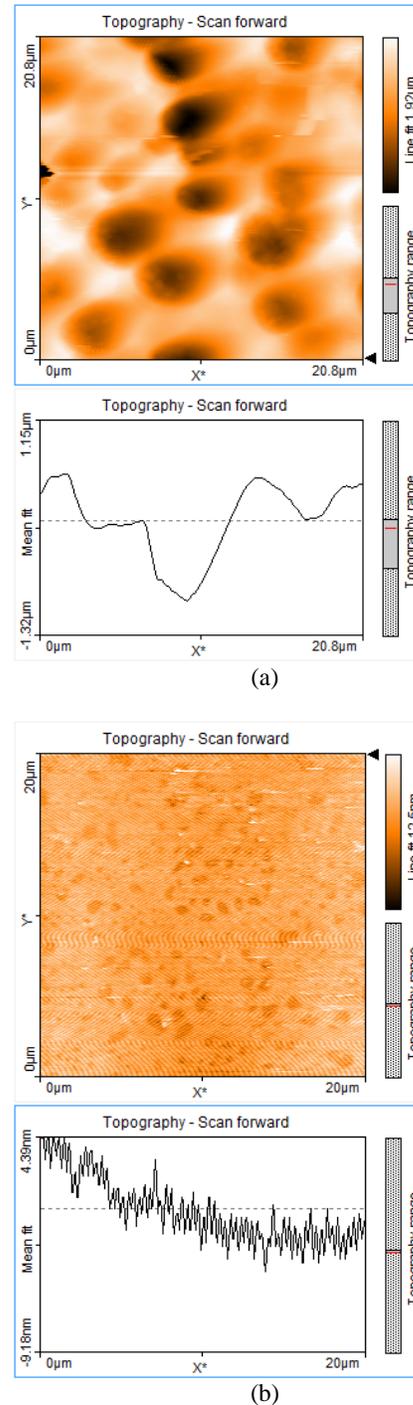


Figura 4. Scanner de superficie del CR 39: área de 20 μm x 20 μm, (a): plástico irradiado 1 hora, (b): sin irradiar.



Figura 5. Arreglo Fuente-Detector.

3. Resultados y Discusión

La fluencia de partículas alfa medida en la posición de muestra, mediante el detector plástico CR39, es de $0.035 \text{ huellas} \cdot \mu\text{m}^{-2}$, con huellas de diámetro comprendido entre $5,1 \mu\text{m}$ a $8,0 \mu\text{m}$ y profundidad de $1,25 \mu\text{m}$ a $1,47 \mu\text{m}$. Valores que corresponden a partículas alfa con energías comprendidas entre $5,0$ a $5,5 \text{ MeV}$ [5], lo que corrobora el método.

Se presenta los espectros obtenidos de una muestra de Aluminio al 99 % de pureza y de la pasta de un fragmento cerámico de origen arqueológico. En ellos se evidencia la sensibilidad de la técnica al reconocer las líneas de los elementos Al y Si presentes en cada muestra, respectivamente, como los más característicos. Se apreció también un incremento de la sección eficaz en la interacción de las partículas y la radiación gamma con elementos ligeros como el C y el O [3] que contribuyen a los niveles de ruido espectral observados. Los espectros observados fueron obtenidos luego de suprimir la señal de ruido producida por el efecto balístico de la radiación alfa. La resolución de las líneas espectrales mejoraría significativamente si empleamos una fuente alfa como Po-210 o Cm-244 (ambas de geometría anular [2,7]), debido a que no tienen contribución de fotones gamma como es el caso del Am-241.

4. Conclusiones

Al término de este proceso se puede observar a través de la superficie plástica, la fluencia de partículas alfa que llegan a la superficie del blanco ubicado a unos pocos milímetros de la fuente emisora, configurando de este modo para efectos prácticos un campo de irradiación de partículas cargadas (alfa). Esta aproximación experimental permite el

empleo de la metodología analítica aplicable a PIXE, en el posterior análisis cuantitativo de la muestra en estudio.

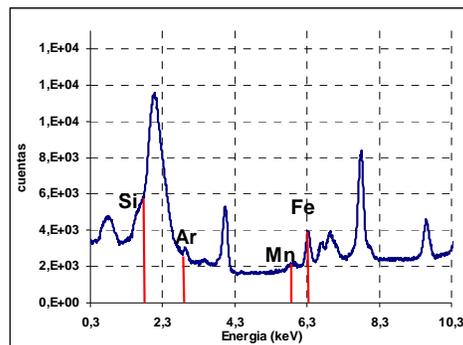


Figura 6. Espectro de R-X de una matriz de arcilla.

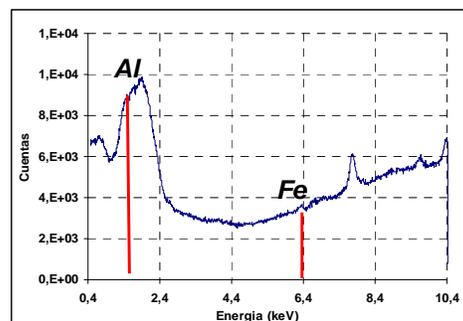


Figura 7. Espectro de R-X de una muestra de aluminio (99.9% de pureza).

El sistema puede ser empleado en la caracterización elemental de las muestras cerámicas a nivel superficial, tiene muchas limitaciones en el análisis cuantitativo a causa de las bajas tasas de conteo en los picos espectrales, así como por la superposición de líneas de otros elementos ligeros, este inconveniente podría superarse incrementando la actividad de la fuente [8] u optimizando el detector semiconductor del arreglo instrumental ajustándolo para operar en el rango de bajas energías (1 KeV-10 KeV).

Otro inconveniente es la presencia de señales de interferencia en los espectros de R-X que puede atribuirse a la elevada energía de las partículas alfa que interactúan con elementos como O, H, C presentes en la atmósfera a causas del efecto retrodispersivo de Rutherford (efecto alfa).

5. Agradecimientos

Nuestro reconocimiento al oficial de Radioprotección Walter Cruz de la Planta de

Gestión de Residuos Radiactivos quien nos facilitó la fuente de Am-241; a la Lic. Susana Gonzáles del Laboratorio de Radioquímica por cedernos su analizador MCA; a los Ings. Bruno Mendoza y Ricardo Ruiz, de la División de Mantenimiento por todo el soporte desplegado en la instalación y operación de la instrumentación nuclear utilizada en este trabajo; al grupo de Soporte Mecánico de INDE. Finalmente, agradecer a nuestra Dirección por la confianza y el apoyo administrativo recibidos.

6. Bibliografía

- [1] Ivanova J, Djingova R, Kuleff I. Determination of some heavy and toxic elements in plants and soils with ED-XRF using americium-241 excitation source. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1998 Dic; 238(1-2):29-32.
- [2] Pappalardo L, Romano FP, Garrafo S. The improved LNS Pixe-Alfa portable system. *Archaeometric Applications*. *Archaeometry*. 2003; 45(2):333-339.
- [3] Rieder R, Wänke H, Economou T, Turkevich A. Determination of the chemical composition of Martian soil and rocks: The alpha proton X ray spectrometer. *J. Geophys. Res.* 1997; 102(E2):4027-4044.
- [4] Roussetski AS. CR-39 track detectors in cold fusion experiments review and perspectives. P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences.
- [5] Nikezic D, Yu KN. Formation and growth of tracks in nuclear track material. *Materials Science and Engineering*. 2004; R26:51-123.
- [6] Korea Atomic Energy Research. Nuclear data Evaluation Lab. Table of Nuclides. [serie en Internet]. 2000. Disponible en: <http://atom.kaeri.re.kr/>
- [7] Economou T E, *et al.* The chemical composition of Martian rocks and soil: preliminary analyses. Enrico Fermi Institute, University of Chicago, Chicago, IL. *Lunar and Planetary Science XXIX*.
- [8] Economou T E, Turkevich A, Rieder R, Wänke H. Chemical Composition of Martian Surface and Rocks on Pathfinder Mission. *Lunar and Planetary Science Conference XXVII (1996)* p. 1111-1112.