



MODERACIÓN DE NEUTRONES CON POLIETILENO Y PARAFINA

Claudia Aparicio O.^{a*}, Héctor Miranda C.^a, Javier Gómez B.^a, Melchor Llosa D.^b

^aDepartamento de Cálculo, Análisis y Seguridad, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú.

^bFacultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ap. Postal 14-0149, Lima, Perú.

Resumen

En este trabajo se presenta el uso de uno de los detectores de huellas nucleares de estado sólido, CR-39, para la determinación de distribuciones de flujos neutrónicos térmicos de fuentes de neutrones, mediante la reacción nuclear (n,p). Se realizaron mediciones de flujo térmico en una fuente de Am-Be con moderadores de polietileno y parafina; las huellas nucleares latentes producidas en el CR-39 fueron reveladas en una solución NaOH 6,25 N a 71 °C por 6 horas. Para la observación de estas huellas se utilizó un microscopio óptico de 160 aumentos. Se obtuvo como resultado los perfiles de flujo y que el polietileno es un mejor moderador que la parafina para esta fuente de neutrones.

PACS: 28.20.-v; 28.29.Gd; 29.25.-t; 29.25.Dz; 29.40.-n; 29.40.Wk

Palabras Claves: Fuente de neutrones, moderador, SSNTD, CR-39, huellas nucleares.

Abstract

In this work it is presented the use of one solid state nuclear track detector, CR-39, for the determination of thermal neutron flux distribution from neutron sources, by means of the (n,p) nuclear reaction. Measurements of the thermal flux from an Am-Be neutron source with polyethylene and paraffin moderators were chemically etched in NaOH 6,25 N at 71 °C during 6 hours. An optical microscope 160X was used to observe the etched tracks. The flux profiles were obtained. It was found that polyethylene is a better moderator than paraffin for this neutron source.

Keywords: Neutron source, moderator, SSNTD, CR-39, nuclear tracks.

1. Introducción

En la actualidad, los detectores de huellas nucleares (CR-39, Makrofol) son usados para la detección de neutrones, con configuraciones y material convertidor diferente, en el rango de energía desde térmicos hasta rápidos¹, y recientemente se aplica para la detección de radón en minas y hogares. En reactores y fuentes de neutrones portátiles, para la medición de flujos neutrónicos se cuenta con la técnica de monitores activables (indio, oro) por activación neutrónica. Esta técnica es bastante eficiente para altos flujos neutrónicos, pero al disminuir éstos es muy difícil obtener valores confiables; dada esta dificultad, se utiliza la técnica de huellas nucleares con CR-39 para la medición de flujo neutrónico en la posición en la que éste es bajo.

El principio de detección de neutrones utilizando el CR-39 es una reacción nuclear, en este caso $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ ². Las trazas producidas en el detector se forman debido a la ruptura de los enlaces del polímero por acción de los protones. El daño producido depende de la energía del protón incidente³.

2. Materiales y Métodos

La fuente de neutrones Am-Be (intensidad $1,1 \times 10^7$ neutrones. s^{-1} , actividad 5 Ci) se moderó según dos configuraciones, una con parafina de espesor constante y la otra con polietileno de espesor variable. En cada una de ellas se midió el flujo de neutrones térmicos con los detectores polímeros

* Corresponding author. e-mail: caparicio@scientist.com

CR-39 (Fig. 1).

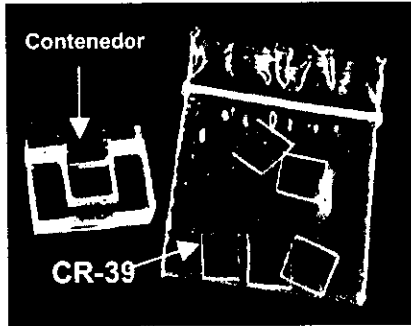


Fig.1. Fotografía del detector CR-39 y su contenedor de acrílico.

2.1 El Polímero CR-39

El CR-39 o poli alil diglicol carbonato (PADC) es un plástico del tipo "thermoset" hecho por polimerización del dietilenglicol bi alil carbonato (ADC). El monómero es una resina alilíca que contiene el grupo funcional $[CH=CH-CH_2-]$. Algunas de sus características es que es transparente, resistente a abrasivos, golpes, presión, ralladuras y a la radiación gamma; además mantiene sus propiedades ópticas luego de la exposición a solventes químicos, ácidos oxidantes y bases fuertes. El CR-39 (TASTRAK™) empleado en este trabajo fue manufacturado por TASL (Bristol) ⁴.

2.2 Configuración del Detector CR-39

La configuración del detector CR-39 (espesor 500 μm , área 1 cm^2), es como se muestra en la Fig. 2. El espesor de aire es donde se llevan a cabo las reacciones (n,p), y la envoltura de aluminio es para evitar huellas procedentes de partículas alfa del ambiente o excesivo ruido de fondo.

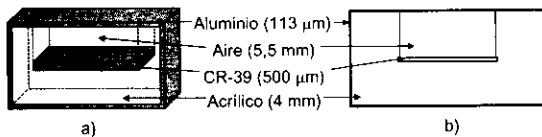


Fig.2. Esquema de la configuración del detector. a) Vista en 3D, b) Vista a escala.

2.3 Medición del Flujo de Neutrones Térmicos con Espesor de Parafina Constante

La fuente de neutrones fue puesta dentro de un blindaje cilíndrico de parafina (moderador); los

detectores CR-39 se dispusieron tal como se aprecia en la figura 3, a diferentes distancias desde la superficie de la fuente de neutrones (32 cm, 52 cm, 72 cm, 92 cm y 112 cm), de tal manera que su cara frontal este perpendicular a la superficie del moderador. El tiempo de irradiación fue de 117 horas.

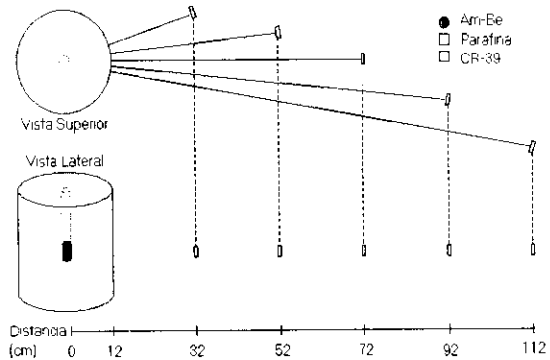


Fig.3. Ubicación de los detectores CR-39 alrededor de la fuente de neutrones moderada con parafina.

2.4 Medición de Flujo de Neutrones Térmicos con Espesor de Polietileno Variable

Se utilizaron bloques de polietileno de alta densidad, de altura 12 cm, ancho 8 cm y espesor variable: 6, 8, 10, 12, 14 y 16 centímetros. El arreglo experimental empleado se muestra en la Fig. 4. El tiempo de irradiación fue de 2 horas.

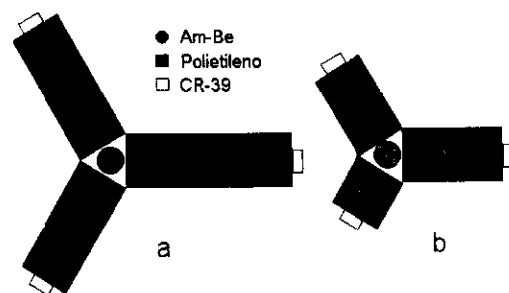


Fig.4. Ubicación del CR-39 y los bloques de polietileno alrededor de la fuente de neutrones. a) 1: 16 cm, 2: 14 cm, 3: 12 cm, 4: 10 cm, 5: 8 cm, 6: 6 cm.

2.5 Tratamiento Post-irradiación de los Detectores CR-39

El revelado de los detectores CR-39 se llevó a cabo utilizando un procedimiento químico, para ello se utilizó una solución de NaOH 6,25 N a una

temperatura de 71 °C, en ésta se introdujeron los detectores CR-39 por espacio de 6 h. Al terminar el revelado químico se procedió al conteo de las huellas (~10,8 µm de diámetro), se utilizó para ello un microscopio óptico Carl Zeiss a 160 aumentos (Fig. 5).

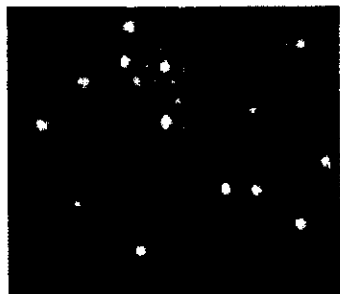


Fig.5. Vista de las huellas nucleares producidas por protones a 400 aumentos.

2.6 Cálculo del Flujo de Neutrones

Los valores de densidad superficial de huellas neta (huellas/cm²), obtenidos al restar el fondo (125 ± 2 huellas/cm²) de la lectura directa en el microscopio, se convierten en fluencia de neutrones térmicos utilizando la función respuesta del detector CR-39 (1) para ésta energía. La fluencia al dividirse por el tiempo da como resultado el flujo de neutrones.

$$R = (0,57 \pm 0,06) \times 10^{-6} \text{ huellas / neutrón} \quad (1)$$

No se toma en cuenta los neutrones de energías mayores a los térmicos, porque ellos representan entre 12% a 20% del flujo térmico hasta 16 cm de distancia de la fuente de Am-Be; además porque la

sección eficaz del nitrógeno para la producción de protones a esas energías neutrónicas representa menos del 10% del valor para la energía térmica (1,78 barn).

3. Resultados y Discusión

Los resultados de la medición de flujos térmicos para las dos configuraciones de moderador se muestran en la Tabla 1. Se observa que los errores porcentuales para ambas configuraciones son alrededor de 12% y 15% en promedio, esto se debe a los diferentes tiempos de irradiación para cada configuración de moderador (parafina: 117h, polietileno: 2h). La diferencia de estos tiempos es porque los detectores están a diferentes distancias, mientras más lejos esté de la fuente el tiempo de irradiación debe ser mayor para compensar la cantidad de huellas nucleares producidas, de otro modo las huellas para distancias mayores a 50 cm podrían confundirse con radiación de fondo.

En la Fig. 6 se observa las distribuciones de flujos térmicos para ambas configuraciones en función de la distancia, y el ajuste y extrapolación de los datos experimentales. El gráfico realizado en escala logarítmica muestra dos rectas, lo que indica que existe decrecimiento exponencial; las rectas de diferentes pendientes indican el grado de moderación de neutrones. En este caso al extrapolar ambas rectas de ajuste se nota claramente que para distancias mayores a 40 cm el polietileno presenta flujos neutrónicos térmicos menores que la parafina, lo que lo hace un mejor moderador. El mayor poder de moderación del polietileno se debe a que presenta un mayor porcentaje de hidrógeno que la parafina (polietileno: C₂H₄, parafina: CH₂); otra ventaja es su fácil maquinabilidad y mayor resistencia.

Tabla 1. Flujo neutrónico térmico para diferentes moderadores.

Material Atenuador	Distancia (cm)	Flujo de Neutrones Térmicos (cm ⁻² s ⁻¹)		Error Porcentual (%)
Parafina	32	5,07E+04	± 7,02E+03	13,84
	52	2,82E+04	± 4,03E+03	14,29
	72	1,57E+04	± 2,05E+03	13,06
	92	7,81E+03	± 1,41E+03	18,05
	112	5,73E+03	± 7,47E+02	13,04
Polietileno	6	9,20E+05	± 1,31E+05	14,24
	8	6,76E+05	± 8,08E+04	11,95
	10	4,57E+05	± 7,46E+04	16,32
	12	3,35E+05	± 5,54E+04	16,54
	14	2,31E+05	± 1,09E+05	47,19
	16	2,13E+05	± 5,54E+04	26,01

4. Conclusiones

El método de huellas nucleares ofrece una alternativa a las mediciones tradicionales con monitores activables (Ej. Au), puesto que no se requiere de instrumentación complicada y queda como registro para posteriores comparaciones.

La mayor pendiente de la recta obtenida por el ajuste lineal para polietileno permite concluir que el polietileno es un moderador más eficiente que la parafina, puesto que su decrecimiento exponencial es mayor, para fuentes de neutrones como el Am-Be.

Referencias

- [1] A. Fietchner, C. Wernli. *Radiat. Prot. Dosim.* **85(1-4)**, 35 (1999).
- [2] T. Bouassoule. "Contribución a la dosimetría de neutrones por detectores sólidos de trazas". Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona (1998).
- [3] S. Durrani, R. Bull. "Solid State Nuclear Track Detection: Principles, Methods and Applications". Ed. Pergamon Press. Oxford. (1987).
- [4] Track Analysis Systems Ltd. (TASL). United Kingdom. <http://www.tasl.co.uk/>

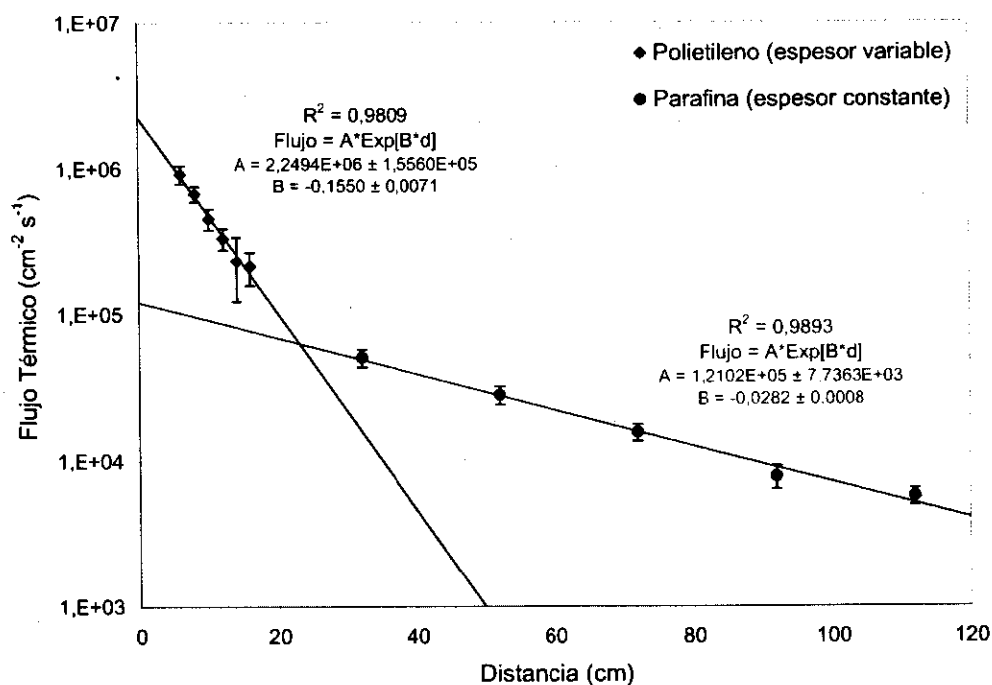


Fig.6. Comparación de perfiles de flujos térmicos con polietileno y parafina.