

VARIACIÓN DE RAZÓN DE CADMIO Y FLUJO NEUTRÓNICO EN PRESENCIA DE ESPEORES DE BISMUTO EN LA FACILIDAD DE NEUTROGRAFÍA DEL REACTOR RP-10

Munive M. ⁽¹⁾ mmunive@ipen.gob.pe; Ticllacuri M. ⁽¹⁾ mticllacuri@ipen.gob.pe

(1) *Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú*
(2) *Departamento de Física – IPEN / Lima, Perú*

Resumen

La presencia de la radiación gamma, como acompañante del haz neutrónico en los conductos de radiación del reactor RP-10, es inevitable e influye siempre que un sistema de registro sea sensible a dicha radiación. El uso de bismuto como atenuador y blindaje de la radiación gamma es el más común, pero su presencia alterará al haz neutrónico. Esta alteración se midió colocando filtros de bismuto en uno de los conductos de radiación del reactor nuclear RP-10 y se realizó la medición del flujo de neutrones térmicos y epitérmicos por medio de activación de hojuelas. Las experiencias se realizaron en el conducto de irradiación No. 4 usando filtros de 2.5 cm de espesor, siendo la depresión de flujo registrada de $6.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1 cm de bismuto para neutrones térmicos y $9.18 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1 cm de bismuto para neutrones epitérmicos.

1. Introducción

Los neutrones al no poseer carga no sensibilizan las películas fotográficas y es por ello que la obtención de una radiografía con neutrones, llamada neutrografía, requiere un medio convertidor capaz de transformar la radiación neutrónica en una radiación que sensibilice a la película fotográfica. Existen dos métodos de obtener neutrografía, el método directo y el indirecto, en el método directo se irradia simultáneamente la muestra, la película y el convertidor que hace el papel de un centellador de radiación que sensibiliza a la película, al exponer la películas al haz de neutrones la película será afectada por la radiación gamma que acompaña al haz neutrónico, lo que nos lleva a mejorar el filtrado para esta radiación. Pero los filtros gamma no solo atenuarán a los fotones si también alterarán el flujo de neutrones, en la medida que se logre bajar la tasa de fotones gamma sin alterar al flujo de neutrones, se logrará una buena condición de trabajo para la neutrografía de método directo.

2. Consideraciones Teóricas

El método utilizado para la determinación del flujo neutrónico consiste en la activación de monitores usando la reacción (n, γ) , tales monitores se les conoce como hojuelas que son de un material que posea sección eficaz de captura neutrónica alta.

Generalmente, en un haz de neutrones provenientes de un reactor, poseen un amplio rango energético, entre los que se puede clasificar según su energía en neutrones térmicos, epitérmicos y rápidos y solo los dos primeros de la clasificación contribuyen a la reacción de captura usada en activación por neutrones.

La técnica para medir flujo de neutrones por medio de activación de hojuelas usa un artificio en la que se usa dos hojuelas del mismo material y de masa muy similares, una de estas hojuelas se coloca en un cobertor de cadmio, esto hará activa a la hojuela solo por neutrones epitérmicos, mientras la otra será activada por los dos contribuyentes energéticos. Luego por medio de una cadena de medición gamma se registrará la actividad de ambas hojuelas y usando ciertos convenios se logra obtener el flujo de neutrones térmico y epitérmico que activaron las hojuelas. Entre tales convenios tenemos dos tipos.

Convenio Usual. - La actividad se encuentra una relación directa con flujo neutrónico, pero las dos hojuelas no reciben flujo de neutrones con rangos energéticos iguales así el flujo térmico y epitérmico se detalla como

$$\phi_{th} = \frac{A_{sinCd}(1 - 1/R_{Cd})}{\sigma_{th} \cdot N_1 \cdot I_o}$$

$$\phi_{epi} = \frac{A_{conCd}}{S \cdot N_2 \cdot I_o}$$

Donde ϕ_{th} flujo térmico, ϕ_{epi} flujo epitérmico, S factor de saturación (depende del tiempo de irradiación, tiempo de espera y

de medida), N_1, N_2 numero de átomos en cada hojuela, σ_{th} sección eficaz de captura para neutrones térmicos, I_0 Sección eficaz de captura para neutrones epitérmicos (Integral de resonancia) [1].

Convenio Westcott.- en este convenio se define sección eficaz efectiva que poseerá una definición dependiendo del rango energético de haz de neutrones incidente $\sigma = \sigma_0(g + rs)$, donde σ_0 es la sección eficaz para neutrones de velocidad del orden de 2200 ms^{-1} , g , s y r son parámetros que definen si el detector sigue o no la ley de $1/v$, la corrección de esta sección eficaz en regiones epitérmicas y relación de las condiciones de experimentación [2]. Con esta consideración el flujo térmico y epitérmico quedara detallada como.

$$\phi = \frac{A_i}{S \cdot N_i G \sigma}$$

$$F_{th} = \left(\frac{4T}{\pi \cdot T_0} \right)^{1/2} \left(1 - \frac{4r}{(\pi\mu)^{1/2}} \right) \phi$$

$$F_{epi} = \left(\frac{4T}{\pi \cdot T_0} \right)^{1/2} (\ln(E_f / \mu \cdot E_T)) \cdot r \cdot \phi$$

Donde F_{th} , F_{epi} , Φ flujo de neutrones, flujo térmico y flujo epitérmico respectivamente, A_i actividad de la hojuela irradiada sea libre o con cubierta de cadmio, S factor de saturación, G factor de Corrección de depresión de flujo, $\sigma(v)$ sección eficaz de captura, T temperatura de trabajo del reactor, T_0 temperatura ambiente, μ constante intersolapamiento típico de reactores ($\mu = 4.5$), E_f energía de corte de cadmio, depende del espesor de la cubierta de cadmio, E_T Energía mas probable para neutrones térmicos.[3]

Tabla 1. Resultados del cálculo de flujo neutrónico en función de espesor de bismuto, realizados para cada tipo de hojuela usada.

| No. Discos de Bismuto | Hojuela de Oro | | | | Hojuela de Indio | | | |
|-----------------------|---|--|---|-----------------|---|--|---|-----------------|
| | Flujo Térmico ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^6$ | Flujo epitérmico ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^4$ | Flujo Total ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^6$ | Razón de Cadmio | Flujo Térmico ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^6$ | Flujo epitérmico ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^4$ | Flujo Total ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) $\times 10^6$ | Razón de Cadmio |
| 0 | 5.13 | 8.22 | 5.21 | 4.99 | 7.33 | 7.95 | 7.41 | 8.16 |
| 1 | 3.13 | 4.91 | 3.18 | 5.08 | 4.67 | 4.78 | 4.75 | 8.59 |
| 2 | 2.19 | 3.10 | 2.22 | 5.47 | 3.19 | 3.09 | 3.22 | 9.01 |
| 3 | 1.55 | 2.10 | 1.54 | 5.73 | 2.19 | 2.00 | 2.21 | 9.52 |
| 4 | 1.12 | 1.75 | 1.14 | 5.16 | 1.62 | 1.77 | 1.64 | 8.11 |

3. Proceso Experimental

Las hojuelas usadas para medir flujo de neutrones por la técnica de activación fueron oro e indio (^{198}Au , ^{116}In), que al interactuar con los neutrones emiten fotones gamma de 411.9 keV y 416.9 keV respectivamente, siendo registrados dichos espectros gamma mediante una cadena de medición gamma con un detector de germanio hiperpuro y el sistema de registro S100.

En cuanto a los filtros de bismuto estos son discos de 22.9cm de diámetro y 2.54 cm de espesor llegando a usar cuatro de estos discos, por experiencias anteriores se sabe que por cada 2.5 cm de espesor de bismuto la dosis gamma decrece aun cuarto de su valor precedente. La potencia térmica del reactor en esta experiencia fue de 7.0 MW, con irradiaciones de dos horas para cada conjunto de hojuelas. Por cada espesor de bismuto se irradia cuatro hojuelas dos de oro y dos de indio, de cada par una esta en cubierta de cadmio.

Los resultados de este trabajo se presentan en la Tabla 1, resultados se lograron mediante el cálculo de convenio usual. De los resultados tabulados podemos detallar que la depresión de flujo de neutrones debido a filtros de bismuto esta por el orden de $6.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1cm de bismuto en flujo total y que distribuyen en $6.7 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1cm de bismuto para neutrones térmicos y $9.18 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1cm de bismuto para neutrones epitérmicos, resultados promediados de los datos obtenidos para cada tipo de hojuela irradiada.

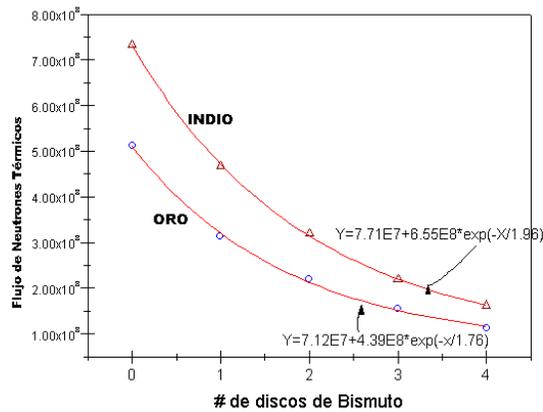


Figura 1. Variación de flujo neutrónico térmico en razón a discos de bismuto.

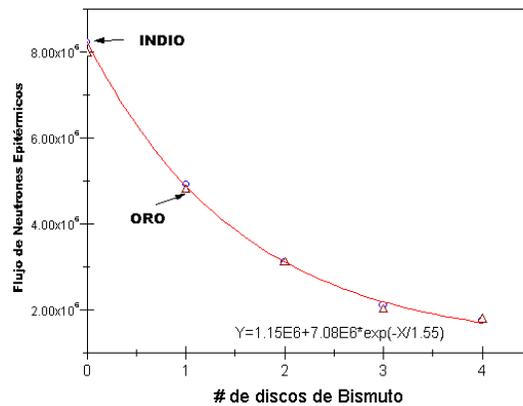


Figura 2. Variación de flujo neutrónico epitérmico en razón a discos de bismuto.

4. Conclusiones

- Los resultados nos dan la certeza de que el flujo neutrónico se ve alterada o disminuido por la presencia de los espesores de bismuto, no solo se logra disminuir los fotones gammas con eficiencia sino que también el bismuto hace descender el flujo de neutrones en $6.8 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ por 1cm de bismuto en flujo total de neutrones.
- En cuanto a la razón de cadmio, en la Tabla 1 se aprecia que en la hojuela de oro es menor que en la del indio esto debido a la eficiencia de cada monitor, pero además se aprecia el mismo comportamiento en cada uno de ellos, tomando un valor máximo en 3 discos de bismuto, siendo estos resultados fuente para nuevos trabajos de investigación.
- Estos registros ayudaron a establecer que la mejor condición de trabajo para obtener películas con contraste aceptable por la

técnica de Neurografía es trabajar con tres discos de bismuto para así disminuir la influencia de los fotones gammas al mínimo y teniendo una depresión de flujo neutrónico de $5.18 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

5. Referencias

- [1] Alcalá Ruiz. Notas Sobre Medidas de Flujo Neutrónico, Junta de Energía Nuclear. Madrid, 1984.
- [2] K. Beckurtz-Wirtz, Neutrón Physics, Springer-Verlag 1964.
- [3] Westcott; W. Walker: Effective cross sections and Cadmiun, Ratios for the Nuetron Spectra of Thermal Reactors. Geneva 1958, vol.16.