

Estudio del haz de neutrones del reactor RP-10 aplicados a la neutrografía

Manuel Zegarra*, Alcides López

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se estudió el haz de neutrones del conducto radial No. 3 del reactor RP-10 que es usado para la obtención de neutrografías, mediante la comparación de registros neutrográficos con y sin el ducto interno, así como la determinación del flujo neutrónico a 2 grupos mediante hojuelas de In a lo largo del conducto exterior, encontrándose la presencia de fotones que crean señales en niveles comparables a los efectos de los neutrones que disminuyen la calidad del análisis. Se obtuvieron valores de alrededor de 10^6 y 10^4 n/cm²s para el flujo térmico y epitérmico, respectivamente. Finalmente, se recomienda evaluar el diseño del conducto interno el cual presenta una fuente de emisión de fotones y el diseño del sistema de obtención de imágenes por un método indirecto o mediante un sistema digital para evitar la componente de fotones del haz.

Palabras clave: Neutrografia, neutrones térmicos, gammas instantáneos

Study of the RP-10 reactor neutron beam applied to the neutron radiography

Abstract

Was studied the RP-10 reactor radial neutron beam No. 3, which is used for neutron radiographies, by comparing radiographies with and without the inner duct, and neutron flux determination with *in* flakes along the external duct, being the presence of photons creating signals at comparable levels of neutron effects, which reduce the quality of the analysis, values around 10^6 and 10^4 n/cm²s for thermal and epithermal flux were obtained respectively. It is recommended evaluate the design of the internal duct which presents strong photon emission.

Keywords: Neutron radiography, thermal neutrons, prompt gamma

1. Introducción

La radiografía con neutrones es una técnica no destructiva de análisis cualitativo, basado en la interacción de un haz de neutrones colimados que inciden y son absorbidos o dispersados por la muestra analizada, los neutrones que no interaccionan o interaccionan parcialmente con la muestra se recolectan en una placa centelladora acoplada a una placa fotográfica, donde se transfiere la imagen de la neutrografía. Es necesario que el haz se encuentre compuesto principalmente por neutrones térmicos ya que los neutrones epitérmicos poseen una sección eficaz distinta. Esta técnica es complementaria a la radiografía de rayos X y rayos gamma. En la Figura 1 se aprecian las diferencias de los coeficientes de atenuación másico de distintos elementos tanto para rayos X y neutrones. Se destaca el comportamiento que presentan los rayos X y de neutrones, se puede distinguir que los

elementos más absorbentes de neutrones corresponden a H, B, Cd, Gd, etc. [1].

La implementación de esta técnica en un reactor de investigación hace necesario un sistema mecánico de operación que permita la colocación de las muestras en un lugar seguro contra la radiación de neutrones y que pueda ser transportado hasta el eje del haz neutrónico; asimismo, un sistema de filtros en el haz para eliminar componentes no deseados del haz y un sistema de blindajes para confinar la radiación dispersada y lograr un ambiente de trabajo seguro durante la irradiación de la muestra.

2. Experimental

El reactor de investigación RP-10 cuenta con una facilidad de neutrografía, parcialmente implementada en el conducto radial 3 de diseño cónico divergente.

* Correspondencia autor: zegarra.valverde@gmail.com

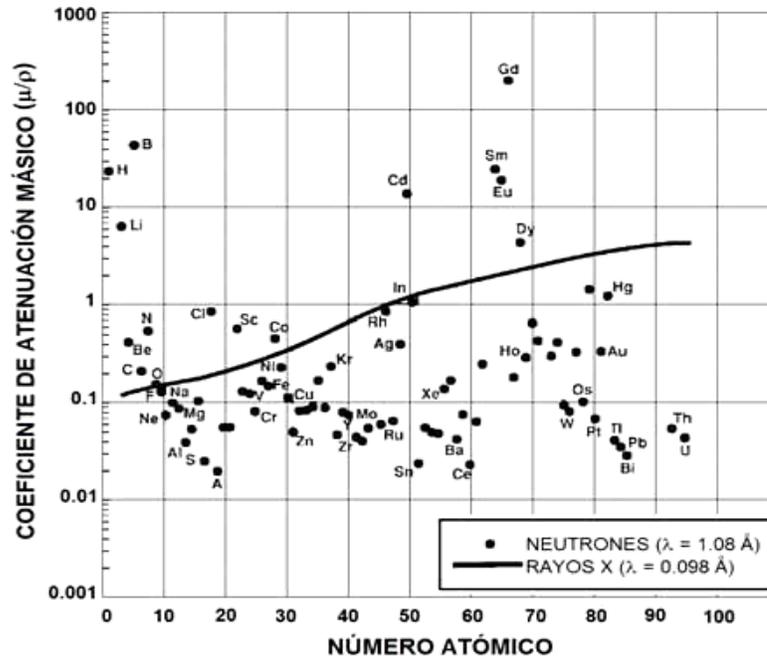


Figura 1. Comparación de los coeficientes de atenuación másico elemental para neutrones térmicos y rayos X.

Años atrás se han realizado diversos trabajos con esta facilidad durante el cual se tenía optimizado el funcionamiento [2]; sin embargo, debido al desuso, en los últimos años la facilidad perdió la configuración y parámetros óptimos, por lo que el presente trabajo busca optimizar nuevamente la facilidad actual.

Para ello se evalúa el estado original, se caracteriza y luego se proponen mejoras a la facilidad. Para el desarrollo experimental se

ha tomado en cuenta el corte vertical radial mostrado en la Figura 2, en donde se observan las partes básicas del ducto radial N° 3 y 4 posiciones en el eje que servirán para la caracterización del haz. El sistema de detección se basa en una placa centelladora acoplada a una lámina fotográfica que registra los centelleos, montada en un chasis de aluminio.

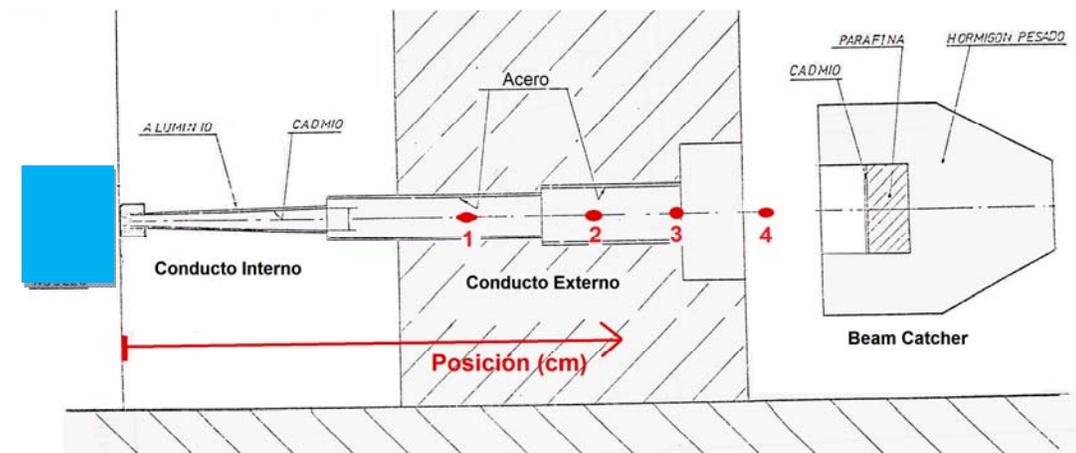


Figura 2. Corte vertical radial de la facilidad de neutrografía. Los puntos rojos 1, 2, 3 y 4; situados a 270, 340, 380 y 417cm respectivamente indican los puntos de irradiación para la determinación de flujo neutrónico en la facilidad.

2.1 Resultados preliminares

Para la operación de la facilidad de neutrografía se elaboró un sistema mecánico, un procedimiento general de operación y una lista de parámetros que deben ser controlados, optimizando el tiempo de exposición de los operadores acorde con los principios de la protección radiológica.

Se realizaron pruebas preliminares para verificar el funcionamiento de la facilidad de muestras conteniendo plástico y metal para contrastar sus efectos. En las Figuras 3 y 4 se observan imágenes neutrográficas de una pistola lanza agua de plástico y una matriz de hierro de dos piezas usada para el embutido de vasos de compuestos poliméricos, respectivamente.

Los resultados preliminares distinguen partes metálicas de las plásticas, pero con un comportamiento adicional no deseado, (Figura 3), en donde se muestra un par de imágenes real y neutrografía, respectivamente, en las imágenes el alto contenido de hidrógeno en las partes plásticas debería presentar una fuerte atenuación del

haz neutrónico mientras que las partes metálicas debería verse poco atenuado; por el contrario, se observa una débil atenuación en las partes plásticas y una fuerte atenuación y dispersión del haz en las partes metálicas. Este comportamiento no deseado puede deberse a que la componente de fotones del haz apantalla los efectos de los neutrones y/o a los efectos de las resonancias de los elementos pesados, debido a que el haz no se encuentra adecuadamente termalizado.

Para verificar estas hipótesis se plantea una evaluación cualitativa del haz, para diferenciar la componente de neutrones y la componente de fotones, y la determinación del flujo neutrónico a dos grupos energéticos, térmico y epitérmico.

En estas neutrografías se observan, adicionalmente, que las zonas externas al objeto no se muestran uniformes se ven manchas diversas y un ruido de fondo bastante marcado, esto se debe principalmente al bajo flujo neutrónico que posee la facilidad ($\sim 10^6$ n/cm²s).

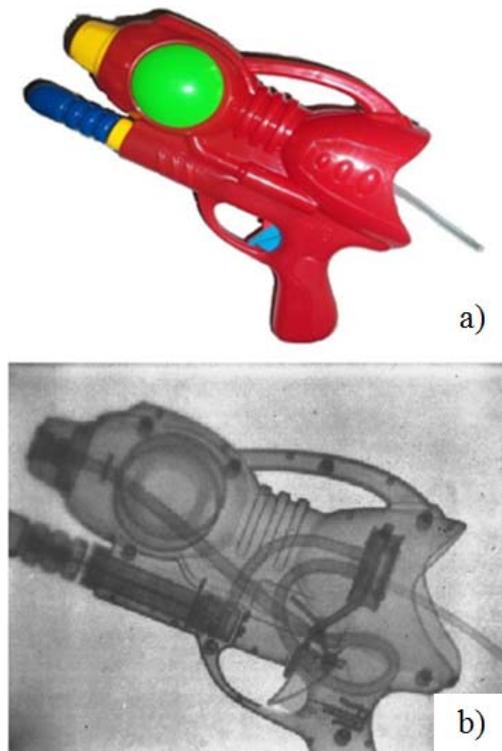


Figura 3. a) Imagen y b) neutrografía de una pistola plástica usada para lanzar agua.

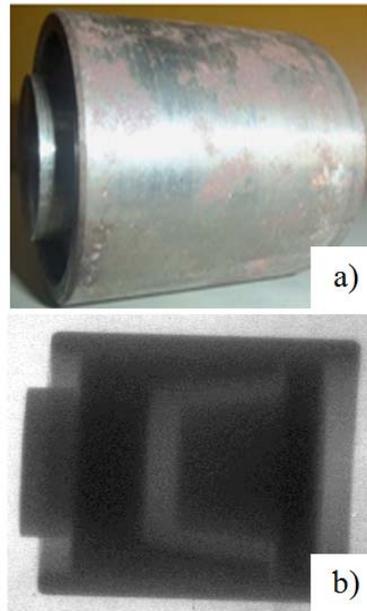


Figura 4. a) Imagen y b) neutrografía de una matriz metálica empleada para la extrusión de material compuesto.

2.2 Evaluación cualitativa del contenido del haz

Para evaluar el fondo de radiaciones se realizó una prueba, con el conducto interno en posición de descanso (fuera del eje óptico), con muestras de parafina, plomo y polietileno de 200 mm de espesor; el tiempo de exposición fue de 6 min, período necesario para alcanzar una imagen visible. Para evaluar el contenido de radiaciones del haz se utiliza las mismas muestras y el conducto interno en posición de trabajo (alineado con el eje óptico), el tiempo de exposición fue de 2 min. En la Figura 5 se observa las muestras utilizadas y el estuche que contiene el centellador y la placa fotográfica montadas en el banco portamuestras.

En la Figura 6 se observan las dos neutrografías obtenidas en los casos mencionados. En la primera neutrografía (6a) solamente se distingue el cuadrado de plomo con bordes difusos, mientras que la parafina y el polietileno prácticamente son transparentes, esto confirma que el haz se compone principalmente de fotones debido a la posición de descanso del conducto interno. En la segunda neutrografía (6b) se distinguen los 3 elementos con distintas intensidades, siendo la más atenuada el Pb confirmando que los efectos de los fotones apantallan a los efectos de los neutrones.

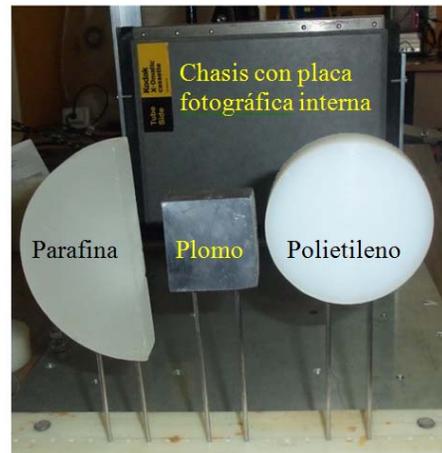


Figura 5. Muestras de parafina, plomo y polietileno dispuestas para la prueba neutrográfica.

La componente de fotones del haz se debe a fotones generados en el núcleo y fotones por activación neutrónica en la facilidad. Al poseer Cadmio (Figura 2), se generan fotones instantáneos (*gamma-prompt*) [3] los que contribuyen al fondo de radiación por fotones. También se debe a que el sistema de detección se basa en una placa centelladora que es sensible tanto a fotones como a neutrones, una forma de evitar a los fotones es utilizando métodos indirectos con

detectores de adecuada vida media en la activación neutrónica.

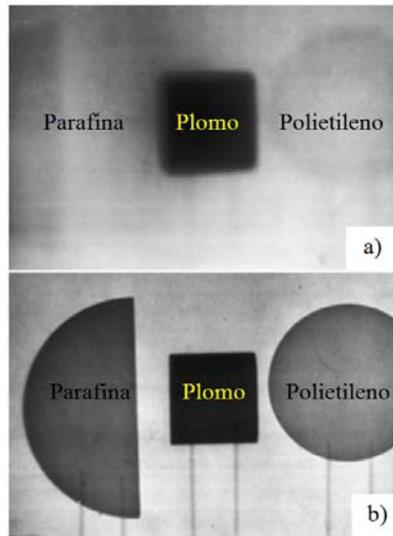


Figura 6. Neutrografías para muestras de parafina plomo y polietileno, a) con el conducto en posición de descanso y b) con el conducto en posición de trabajo.

2.3 Caracterización del perfil de flujo neutrónico

Se realizó la determinación de flujo neutrónico a dos grupos energéticos (térmico y epitérmico) en el conducto externo de la facilidad, midiendo en las posiciones 1, 2, 3 y 4 tal como se observan en la Figura 2, donde las posiciones se han determinado a partir

del inicio del colimador interno en contacto con el núcleo del reactor.

Por la disponibilidad de materiales y del reactor, se eligió la técnica de análisis por activación neutrónica de hojuelas de In cubiertas con 1 mm de Cd [4]. Se prepararon las hojuelas en una matriz de aluminio y se colocaron al interior del conducto externo de la facilidad montados en una barra de aluminio, el tiempo de irradiación fue de 1 h a 10 MW de potencia y el tiempo de medición fue entre 5 y 10 min para cada hojuela. Las mediciones se realizaron en una cadena de adquisición con un detector de Ge(HP).

Los resultados se muestran en la Figura 7, se obtuvieron valores alrededor de 10^6 n/cm²s con una incerteza del 6 % para el flujo térmico y valores alrededor de 10^4 n/cm²s con una incerteza del 6% para el flujo epitérmico. El nivel de flujo epitérmico se encuentra 2 órdenes de magnitud por debajo del flujo térmico, el haz se encuentra adecuadamente termalizado y la presencia de flujo epitérmico no supone problemas en la facilidad.

Finalmente se traza un ajuste lineal entre flujo térmico y la posición² (Figura 8) con una precisión del 99 % que determina que el comportamiento con respecto a la posición² es una buena aproximación para el perfil de flujo térmico a lo largo de la facilidad. Con este perfil se puede interpolar y extrapolar el flujo en las posiciones de irradiación.

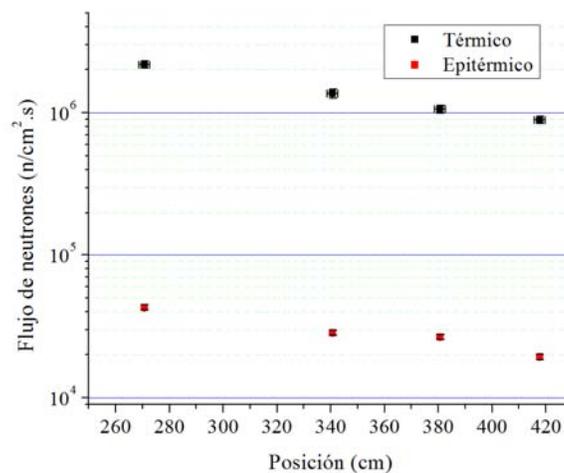


Figura 7. Flujo térmico y epitérmico en las posiciones de irradiación. Las barras de error de la posición y el flujo no son apreciables a esta escala.

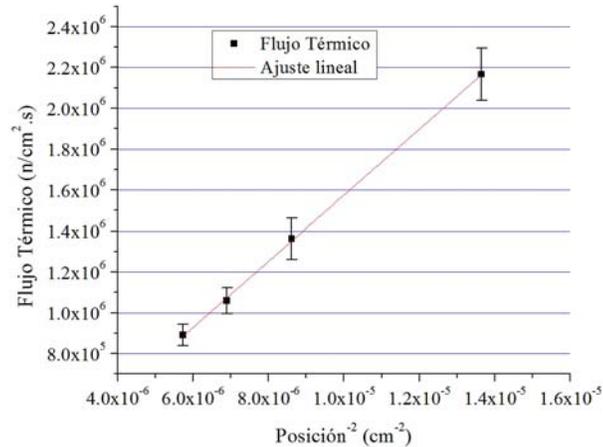


Figura 8. Ajuste lineal de flujo térmico vs $1/\text{posición}^2$.

3. Conclusiones

El estudio del haz de neutrones del ducto radial No. 3 del reactor RP-10 ha mostrado la presencia de fotones que crean señales en niveles comparables a los efectos de los neutrones en la técnica neutrográfica, por lo que se recomienda evaluar el sistema de obtención de imágenes. El sistema de detección, basado en una placa centelladora de gadolinio, es sensible tanto a fotones como neutrones por lo que se puede evaluar la utilización de métodos indirectos en la obtención de imágenes. Otra alternativa es reemplazar el sistema de obtención de imágenes con sistemas digitales como es el uso de una cámara CCD, un sistema de espejos y un software adecuado para obtención y procesamiento de imágenes en tiempo real [6].

Por otro lado, también se debe evaluar el diseño de la facilidad que presenta un alto contenido de fotones en el haz. Se pueden implementar filtros de fotones basados en materiales como el plomo o el bismuto, para ello se debe caracterizar el nivel de dosis gamma en la facilidad utilizando dispositivos como los TLD [5], estos resultados proporcionan los requerimientos de diseño para los filtros. Los resultados de 10^6 y 10^4 n/cm²s para el flujo térmico y epitérmico, respectivamente, a lo largo del ducto externo facilitarán el cálculo de flujo a diferentes distancias de trabajo, y explican el ruido que se observa en las imágenes debido al bajo flujo.

4. Agradecimientos

A Alejandro Rengifo por la operación de la facilidad y revelado de fotografías. A Yuri Hernández por su ayuda en la construcción de blindaje de parafina. A Rubén Bruna y Pablo Mendoza por la determinación y medición del flujo neutrónico, respectivamente. A Mariano Vela y Santiago Ticona por su apoyo como oficiales de radioprotección en la operación de la facilidad de neutrografía.

5. Bibliografía

- [1] American Society for Testing Materials (ASTM). ASTM E748-02(2008). Standard practices for thermal neutron radiography of Materials. p. 7 Fig. X1.1
- [2] Ravello Yuri. Caracterización y puesta a punto de la facilidad de neutrografía del reactor Nuclear RP-10. [Tesis Licenciado en Ciencias, mención Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2001.
- [3] IAEA. Database of prompt gamma rays from slow neutron capture for elemental analysis. 2006.
- [4] Travesi A. Análisis por activación neutrónica. Publicaciones científicas de la Junta de Energía Nuclear. España, 1975.
- [5] Javier Gómez, Héctor Miranda, *et al.* Evaluación de la dosis gamma y de neutrones en la facilidad térmica del reactor peruano de investigación RP-10. En: International Nuclear Atlantic Conference. Brazil, 2005.
- [6] Azali Muhammad. Development of new neutron radiography facility at MINT TRIGA MARK II tangential beam port using CCD camera imaging system. IAEA TECDOC 1604. September 2008.