

# **NEUTROGRAFIA EN EL REACTOR PERUANO RP - 10\***

**H. Hinostrosa, Y. Ravello, N. Cornejo,  
M. Mendoza, M. Montoya,**

**S.G. Física Nuclear y del Estado Sólido,**

**A. Zuñiga, I. Huapaya,**

**S.G. Cálculo y Análisis**

**Centro Nuclear RACSO de Huarangal  
Apartado 1687, Lima - Perú.**

---

**(\*) Proyecto subvencionado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC).**



## RESUMEN

*En este trabajo se describe brevemente la facilidad de neutrografía del reactor peruano de investigación RP-10. El factor de colimación L/D es 149; la razón de Cadmio para el oro en el área de inspección fue de 4,5, y el flujo para neutrones térmicos de  $3,14 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>s.*

## INTRODUCCION

La neutrografía o radiografía con neutrones es un método de ensayo no destructivo, similar al método con rayos X, o rayos gamma. Se expone el objeto a examinar a un flujo de neutrones que, al atravesarlo, forma una imagen permanente sobre una película radiográfica [1].

El Centro Nuclear de Huarangal Oscar Miro Quesada de la Guerra (RACSO), ubicado en el distrito de Carabaylo, Lima, Perú, cuenta con un reactor nuclear de investigación de 10 MW de potencia térmica. El CNH fue construido gracias a la cooperación tecnológica de los países de Perú y Argentina. Es en este marco, que se toma la decisión de que el reactor RP-10 cuente entre sus múltiples facilidades con una para neutrografía. En el presente trabajo se expone a continuación las características físicas de la facilidad de neutrografía con que cuenta el reactor RP-10, así, como, la primera medición de flujos neutrónicos a 7 MW en el área de inspección.

## EL REACTOR RP-10

El reactor RP-10 del tipo piscina, moderado con agua liviana usa como combustible uranio-235 enriquecido al 20%. El flujo máximo de neutrones térmicos en el centro de núcleo es de  $1,4 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s a 7 MW de potencia térmica. Llegó a crítico por primera vez en diciembre de 1988.

El reactor RP-10 cuenta con las siguientes facilidades: ocho posiciones de irradiación en el núcleo, un sistema neumático para irradiación en el núcleo y otra en la columna térmica, y cuatro haces de neutrones radiales y dos tangenciales (ver fig. 1). El conducto radial número 4 es usado para la facilidad de neutrografía.

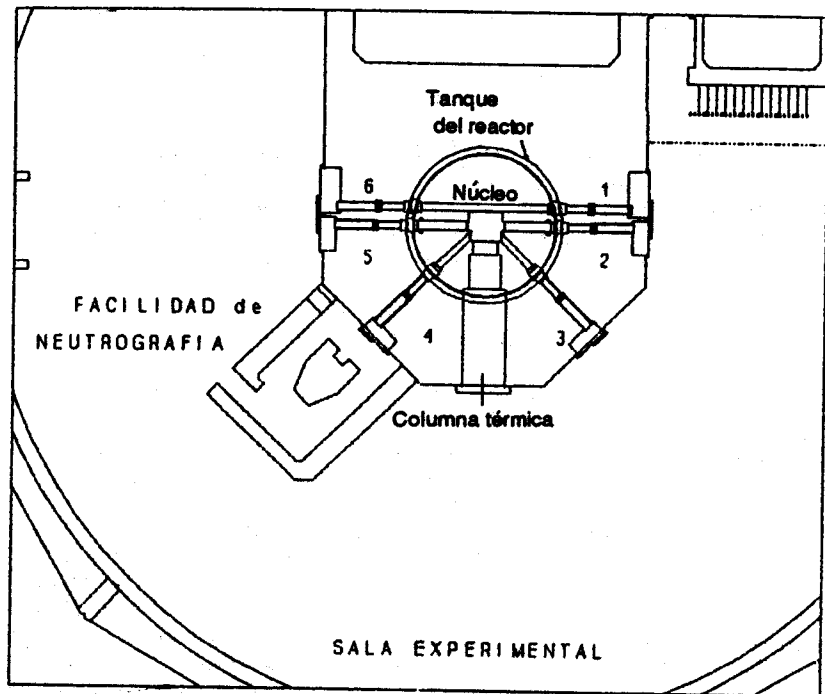
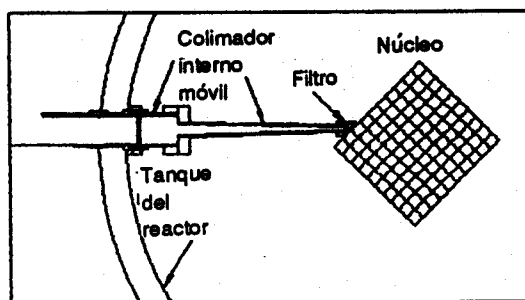


Fig. 1. Esquema del Reactor RP-10

## DESCRIPCION FISICA DE LA FACILIDAD DE NEUTROGRAFIA

La facilidad de neutrografía del RP-10 consta de un conducto de irradiación de neutrones (radial 4), un recinto de irradiación y un laboratorio de revelado.

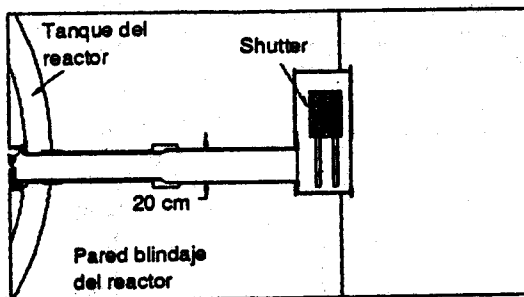
El conducto para neutrografía está dividido físicamente en dos partes: una interna móvil (dentro del tanque del reactor) y otra externa fija (en el blindaje del tanque del reactor). Ver figuras 2 y 3. En la entrada del colimador interno se ubica un tapón de plomo para filtrar el flujo gamma. El colimador interno es divergente (cónico) de aproximadamente 1,3 m de longitud, el cual tiene un diámetro inicial de 3 cm y uno final de 8,8 cm. Internamente está cubierto con cadmio y el cuerpo está hecho de aluminio [4, 5].



**Fig. 2.** Esquema del colimador interno.

El conducto externo está formado por tres partes: un tubo de 1,25 m de longitud y 16 cm de diámetro, otro de 88 cm de longitud y 20 cm de diámetro. Los conductos externos del reactor RP-10 permanecen llenos de agua con fines de blindaje, mientras no se les utiliza. El conducto de neutrografía usa una camisa de cadmio para colimar y proteger el tubo.

Al final del conducto externo (caja externa del conducto), se ubica un obturador de haz, el cual es un bloque de plomo y cadmio.



**Fig. 3.** Conducto externo

El factor de divergencia del colimador del RP-10 es  $L/D=149$ , el cual está dentro de lo establecido por normas como un buen colimador [2]. El flujo a la salida del haz se calcula [3] con la siguiente relación:

$$\Phi = \Phi(0) \times (D/L)^2 / 16,$$

donde  $\phi(0)$  es el flujo a la entrada del sistema de colimación. Con un valor estimado de un flujo inicial de

$$\Phi(0) = 10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ s},$$

se tiene el flujo a la salida de

$$\Phi = 10^7 \text{ n/cm}^2 \text{ s}.$$

Se realizaron mediciones con hojuelas de oro y de indio en la posición de irradiación, a 7 MW, dando como resultado los siguientes datos:

Hojuela	Flujo $n_{th}$ ( $n \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Razón de cadmio
oro	$3,14 \times 10^6$	4,5
indio	$2,90 \times 10^6$	6,9

El recinto de irradiación de 2,6 m por 4 m está encerrado por 6 bloques de concreto armado con espesores entre 40-60 cm. Este a su vez, está parcialmente techado con 7 vigas de parafina. Dentro del recinto se encuentra ubicado un captador de haz, el cual frena los neutrones y gammas que hayan atravesado al objeto y detector. Este tiene una longitud de 1,6 m y está hecho de concreto, parafina y cadmio.

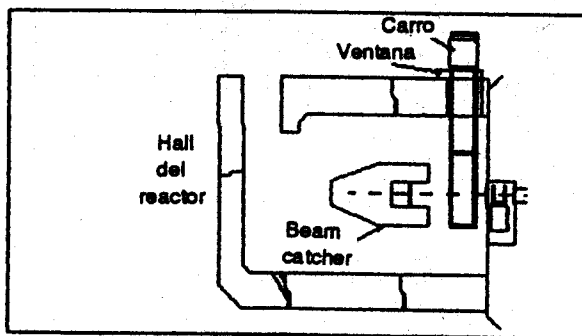


Fig. 4. Recinto de irradiación

Para posicionar las muestras se cuenta con un sistema mecánico manual. Las dimensiones del carrito portamuestras es de 30 cm por 40 cm de superficie. Este posicionador pasa a través de uno de los bloques de blindaje, donde se ubica una ventana de 40 cm de alto por 62 cm de largo, y se cierra mediante una puerta deslizante hecha de plomo.

Se cuenta con un laboratorio de revelado equipado con una mesada con instalación de agua y desagüe, iluminación con luz rojo-naranja (darksafe) y sistema de ventilación. El equipo que se tiene disponible esta compuesta de: una ampliadora, una marginadora, una guillotina, un negatoscopio y utensilios para revelado.

## PROCEDIMIENTO DE EXPOSICION

El procedimiento de exposición (neurográfico) que se utilizó en las pruebas iniciales es el indirecto (o por transferencia). Este consiste en exponer inicialmente el objeto a examinar y el convertidor, posteriormente se pone en contacto el convertidor activado con la película radiográfica, donde finalmente se formará la imagen visible (fig. 5). Para realizar las primeras pruebas neurográficas contamos con dos convertidores: indio y disprosio.

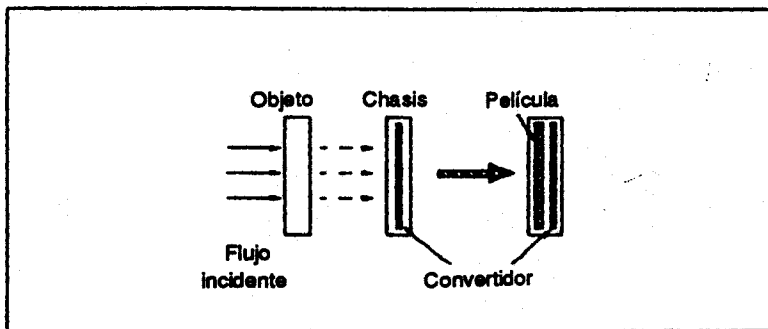


Fig. 5. Método indirecto o de transferencia

En las primeras pruebas con los convertidores mencionados, se recogieron los siguientes datos experimentales:

- **Convertidor de disprosio:**

- a) tiempo de irradiación : 10 min
- b) densidad óptica : 2, film KODAK AA-5
- c) tiempo de contacto : 110 min
- d) dosis beta en contacto : 900 mrad/h

- **Convertidor de indio:**

- a) tiempo de irradiación : 15 min
- b) densidad óptica : 2, film KODAK AA-5
- c) tiempo de contacto : 100 min
- d) dosis beta en contacto : 1 rad/h

La densidad óptica crece a medida que se incrementa la exposición de los convertidores, pero esto trae consigo problemas radiológicos en su manipulación por las dosis altas de radiación beta y gamma.

## **APLICACIONES DE LA NEUTROGRAFIA**

La neutrografía no sustituye a la radiografía X ni a la gammagrafía, sino que las complementa. Sin embargo, existen áreas específicas donde no es posible usar la radiografía X o, la gammagrafía /1, 3/. Estas son las siguientes:

- i) observación de los materiales combustibles de un reactor nuclear, así como de fuentes radiactivas,
- ii) observación de materiales metálicos que son opacos a los rayos-X o a la radiación gamma, como el plomo por ejemplo, el cual absorbe los fotones y, sin embargo, es fácilmente atravesado por los neutrones,
- iii) detección de trazas de humedad, dado que los neutrones son fácilmente dispersados por las moléculas de hidrógeno,
- iv) observación de objetos orgánicos ricos en hidrógeno (gomas, plásticos, pólvora, etc.) encerrados en estructuras metálicas.



De lo expuesto, este método de ensayo no destructivo tiene una amplia aplicación en la industria, y también en la ciencia, pues sirve como un primer escalón para la óptica neutrónica.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento al Dr. Vicente Alcober por habernos proporcionado materiales radiográficos y dispositivos esenciales para la neutrografía; y, nuestro agradecimiento a todo el personal de operación del Reactor RP-10, por su valiosa cooperación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Notas sobre la Realización Practica de la Neutrografía, por Vicente Alcober. Curso de Aplicaciones, Colombia. 1988.
- [2] Standard Practices for Thermal Neutron Radiography of Materials, norma ASTM, E 748 - 80. 1980.
- [3] Neutron Radiography Handbook, editado por P. Von Der Hardt y H. Röttger. 1981.
- [4] Planos de la Facilidad de Neutrografía del RP-10.
- [5] Información técnica de diseño básico. CNEA, Argentina, 1981.