

# DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA TÉRMICA DEL REACTOR NUCLEAR RP-0 POR LAS TÉCNICAS DE RUIDO NEUTRÓNICO Y ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

Zapata M. <sup>(1)</sup> [magalybalcazar@yahoo.com](mailto:magalybalcazar@yahoo.com); Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe);  
Parreño F. <sup>(1)</sup> [fparreno@ipen.gob.pe](mailto:fparreno@ipen.gob.pe)

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se presentan los resultados de las mediciones de potencia térmica, realizadas por dos técnicas: Ruido Neutrónico y Activación Neutrónica en la configuración 7A5 del reactor RP-0, para la corriente de cámara de marcha  $ICM 4 = 0.1 \times 10^{-6}$  Amperios. Estas mediciones se realizaron utilizando dos cámaras de ionización compensada (CIC) ubicadas en las posiciones D9 y H4 del núcleo para la primera técnica, e irradiando hojuelas de indio como monitores de flujo, para la segunda técnica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del valor de la potencia del reactor resulta imprescindible para su operación (entre otros el cumplimiento de los límites de seguridad).

En los reactores de investigación de baja potencia el método más empleado para la determinación de la potencia y a veces el único es el de activación neutrónica. Este método como es sabido conlleva a altos costos (tiempo empleado en el mapeo de toda la configuración) y una reducida confiabilidad si es que se realiza en menor tiempo.

En el RP-0 se ha enfrentado esta dificultad mediante la incorporación de una nueva técnica (Ruido Neutrónico) la cual permite determinar la potencia en tiempo real.

En el presente trabajo exponemos los resultados obtenidos por ambos métodos. En el método de Activación de hojuelas se utilizó indio como monitores de flujo; y por el método de Ruido dos detectores (CIC) ubicados en el núcleo del reactor, ambos resultados fueron comparados.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 RUIDO NEUTRÓNICO

La técnica de ruido neutrónico permite obtener en facilidades críticas y reactores de investigación, en forma no perturbativa, en convección natural o forzada [1]:

- Una estimación del correcto funcionamiento de una cadena de medición neutrónica y la eficiencia absoluta ( $\varepsilon$ ) del detector.
- La constante de evolución del modo fundamental de los neutrones instantáneos ( $\alpha$ ).
- Calibrar en potencia la cámara de marcha 4 perteneciente al RP-0.

La potencia, se obtienen a partir de la correlación de señales de las dos CIC:

$$P_{ij} = \frac{2\bar{E}_f D(1-\beta)L_1}{A_{ij} \beta^2} \quad (1.1)$$

Siendo  $B_i, E_f, D, \beta$  y  $L_1$  parámetros que dependen del combustible y/o la geometría y cuyos valores se obtienen de la literatura ó a través de cálculo.

$B_i \cong 1$ , factor de Bennett

$\bar{E}_f = 3.2 \times 10^{-11} J$ , energía media liberada por fisión

$D = 0.795$ , factor de Diven

$L_1 = 1.18$  para un reactor de tipo (MTR)

$\beta$ : fracción efectiva de neutrones retardados

Los parámetros  $A_{ij}$ ,  $\alpha$  y  $N_i$ , se obtienen ajustando los datos de Densidad Espectral de Potencia Normalizada

$$NPSD_{ij}(\omega) = \frac{PSD_{ij}(\omega)}{\bar{I}_i \bar{I}_j} \quad \text{con la función:}$$

$$F(\omega) = \frac{A_{ij}}{(1 + \frac{\omega^2}{\alpha^2})} + N_i \delta_{ij} \quad (1.2)$$

Siendo:

$I_i(t)$  : Corriente de la CIC<sub>i</sub>  
 $\omega$  : frecuencia angular.  
 $PSD_{ij}(\omega)$  : densidad espectral de potencia de las componentes ( $\delta I_i(t), \delta I_j(t)$ ).

## 2.2 ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA

Determinación de la Potencia

La potencia térmica de un reactor queda determinada como [2]:

$$P = 1.602 \times 10^{-13} \times \left( \frac{\epsilon_f M_f N_a}{A} \right) \frac{\sqrt{\pi}}{2} g(T) \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T}} \sigma_f(E_0) \bar{\phi}_{th} f_D (1 + \bar{\alpha}_{epi})$$

Wattios. (2.1)

Donde los valores establecidos:

$\epsilon_f$	192.9 (MeV)	Energía que se libera por fisión
$N_a$	$6.02252 \times 10^{23}$ (mol <sup>-1</sup> )	Número de avogadro
$M_f$	3351.99 (g)	Masa actual del combustible del reactor
$A$	235.0442 (g/mol <sup>-1</sup> )	Masa atómica del U-235
$f$	0.99825	Factor de desventaja
$\sigma_f$	582.26 b	Sección eficaz microscópica de fisión del U-235
$\bar{\phi}_{th}$	$n_s / cm^2 s$	Flujo neutrónico térmico medio del núcleo del reactor
$g(T)$	0.9759	Factor de desviación de la ley no 1/v
$\bar{\alpha}_{epi} = I_f \cdot \lambda_r / f \cdot \sigma_f$	0.08	Razón de la tasa de fisiones epitérmicas a la tasa de fisiones térmicas en el U-235
$I_f$	276.3 b	Integral de resonancia de fisión del U-235
$\lambda_r$	0.17	Razón entre flujo epitérmico y térmico

## 3. RESULTADOS

Se realizaron mediciones de potencia con las cámaras de ionización compensada ubicadas en la configuración del núcleo 7A5 del RP-0 simultáneo a las irradiaciones de espadas en los elementos combustibles y de control. Las condiciones de trabajo se mantuvieron en todas las irradiaciones y se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1.** Condiciones de trabajo.

<b>ICM4 = 0.1×10<sup>-6</sup> Amperios</b>
<b>CIC1 = D9 CIC2 = H4</b>
<b>BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%</b>

### Ruido Neutrónico

A continuación en la tabla 2 se presentan las mediciones realizadas con el método de Ruido Neutrónico simultáneas a las irradiaciones de monitores de flujo (hojuelas de indio).

**Tabla 2.** Estimaciones de Potencia por Ruido Neutrónico.

Irradiación	% BC1	Potencia (Wattios)	Error
1	85.5	5.510	0.044
2	86.9	5.412	0.044
3	86.1	5.351	0.036
4	85.5	5.348	0.040
5	85.2	5.522	0.035
6	84.7	5.216	0.037
7	86.4	5.373	0.035
8	84.6	5.162	0.036
9	86.2	5.319	0.050
10	83.4	5.369	0.037
11	83.1	5.291	0.039
12	84.7	5.081	0.035
13	79.5	5.022	0.026
14	79.4	5.191	0.027

Luego el valor promedio de la potencia térmica es mostrado en la tabla 3 :

**Tabla 3.** Potencia Térmica promedio.

<b>Potencia Promedio (W)</b>	<b>5.30</b>
Error (%)	0.04

### Activación Neutrónica

De la irradiación de monitores se determinaron los flujos térmicos medio por caja (Neutrones/cm<sup>2</sup>S) de los elementos combustibles normales y de control del núcleo 7A5 del RP-0 (ver figura 1 y 2).

Flujos Térmicos				
	D	E	F	G
4	2.89E7 ± 2.81%	4.10E7 ± 3.68%	3.39E7 ± 3.30%	
5	4.92E7 ± 3.27%	1.33E8 ± 2.42%	4.91E7 ± 3.70%	3.58E7 ± 3.81%
6	4.72E7 ± 3.54%	5.08E7 ± 3.67%	4.52E7 ± 3.72%	4.21E7 ± 3.53%
7	3.39E7 ± 3.30%	3.69E7 ± 3.88%	3.39E7 ± 3.30%	

**Figura 1.** Flujo térmico medio por elemento combustible.

Flujos Epitérmicos				
	D	E	F	G
4	4.83E6 ± 6.08%	6.18E6 ± 8.16%	5.68E6 ± 7.13%	
5	6.52E6 ± 7.39%	7.09E6 ± 6.39%	7.86E6 ± 8.21%	5.98E6 ± 8.58%
6	6.84E6 ± 7.90%	8.31E6 ± 8.18%	8.52E6 ± 8.25%	6.05E6 ± 7.96%
7	5.68E6 ± 7.13%	6.33E6 ± 8.65%	5.68E6 ± 7.13%	

**Figura 2.** Flujo epitérmico medio por elemento combustible.

Los valores de las masas de los elementos combustibles normales y de control son mostrados en la figura 3:

Masas (g) RP0 7A5				
	D	E	F	G
4	209.8	279.52	209.71	
5	279.71	Cabezal Irrad.	279.10	278.70
6	278.43	279.10	279.61	279.54
7	209.6	279.61	209.56	
Masa Total (g)				3351.99

**Figura 3.** Masa de U-235 por elemento combustible.

De los valores de flujo absoluto promedio, la masa del U-235 en cada elemento combustible y los valores establecidos, se determina la Potencia Térmica Promedio utilizando la ecuación (2.1):

**Tabla 4.** Potencia Térmica Promedio obtenida por activación neutrónica.

<b>Potencia Promedio (W)</b>	<b>6.06</b>
Error (%)	4.21

## 4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Comparando ambas técnicas de medición se observa una diferencia en la determinación de la potencia térmica de:

Ruido Neutrónico (W)	Activación neutrónica (W)	Diferencia (%)
5.3	6.06	12

Debe tenerse en cuenta que el método de determinación de la potencia por activación neutrónica está sujeta a variaciones que dependen de la data nuclear empleada, es recomendable contar con data actualizada de parámetros nucleares.

En cuanto al valor hallado por la técnica de ruido se puede decir que a pesar de ser del punto de vista estadístico mas confiable (se realizaron un promedio de 9 mediciones en cada irradiación), el valor de la potencia está sujeto a un error de 3% debido al no conocimiento del valor del  $\beta_{eff}$  siendo este un parámetro nuclear importante a determinarse.

## 5. REFERENCIAS

1. M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN/DGI/CASE "Determinación de la Potencia del Núcleo 7A5 del RP-0 por las Técnicas de Ruido Neutrónico y Activación Neutrónica." 2002.
2. M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE "Estimación de Flujos Térmico y Epitérmico en la configuración 7A5 del núcleo del RP0". Instituto peruano de Energía Nuclear. 2002.
3. A. Gómez, R. Waldman and E. Laggiard, "Measurement of Power in Research Reactors using the neutron noise technique". Ann. Nuc. Energy, Vol 19, No 5, pp 267-285, 1992.
4. C. Aparicio. "Estimación de flujos neutrónicos por activación de hojuelas de indio para el núcleo 7A4 del RP-0". Instituto Peruano de Energía Nuclear. 2001.

5. R. Bruna, J. Oré, P. Paredes, IPEN-DGI-CASE. "Medición de Potencia para la Configuración 7A4 del Reactor RP-0, usando la Técnica de Ruido Neutrónico". Instituto peruano de Energía Nuclear. 2000.
6. R. Bruna, R. Páucar, M. Vela, Z. Pozo; IPEN-DGI-CASE. "Determinación de la Potencia del Núcleo 18 del RP-10". Instituto peruano de Energía Nuclear. 1998.
7. R. Cuya, Código de Cálculo CITATION.