

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE SEGURIDAD PARA LA CONFIGURACIÓN DE NÚCLEO 7A5 DEL REACTOR RP-0

Zapata M. ⁽¹⁾ magalybalcazar@yahoo.com; Bruna R. ⁽¹⁾ rbruna@ipen.gob.pe;
Parreño F. ⁽¹⁾ fparreno@ipen.gob.pe; Gómez J. ⁽¹⁾ jgb76@yahoo.com

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

RESUMEN

Se presentan los resultados de los parámetros de seguridad medidos (flujo neutrónico, exceso de reactividad, y efectividad de barras de control) para la configuración 7A5 del reactor RP-0. El flujo neutrónico fue determinado utilizando la técnica de activación neutrónica (irradiación de hojuelas de indio como monitores de flujo); mientras que el resto de parámetros fueron determinados por el método de cinética inversa utilizando dos cámaras de ionización compensada (CIC) ubicadas en el núcleo del reactor.

1. INTRODUCCIÓN

La puesta en marcha del núcleo 7A5 del reactor RP-0, implicó cambios marcados, debido a que el núcleo actual cuenta con cinco elementos reflectores (grafitos) menos que su predecesor (núcleo 7A4). Con el fin de estimar los cambios de reactividad y distribución de flujo fueron medidos los parámetros de seguridad (exceso de reactividad, efectividad de barras) y el flujo neutrónico por elemento combustible. Estos parámetros de importancia para la operación segura del reactor fueron determinados utilizando métodos experimentales, entre ellos el de activación neutrónica para el caso del flujo y cinética inversa para los cambios de reactividad.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Activación Neutrónica

La distribución del flujo térmico en el núcleo, se determinó mediante la irradiación de hojuelas de Indio (monitores de flujo) distribuidas en la dirección axial de espadas de aluminio, las cuales fueron ubicadas entre las placas de los elementos combustibles Normales y de Control.

Para la determinación de flujo epitérmico en el núcleo, algunos monitores son cubiertos con cadmio.

Para la estimación de flujos neutrónicos (Térmico y Epitérmico) se utilizó una cadena de espectrometría gamma, con detector de INa(Tl) 3×3”.

El cálculo de flujos fue determinado utilizando el formalismo de Westcott [1]:

Flujo térmico de neutrones:

$$\Phi_{th} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot (1 - U \cdot r_w) \cdot \Phi_W$$
$$U = \frac{4}{\sqrt{\mu\pi}}$$

μ : Factor que empalma las regiones térmicas y epitérmicas.

Φ_W : Flujo de neutrones de Westcott.

T : Temperatura del neutrón.

T_0 : Temperatura del neutrón a 20 °C.

Flujo epitérmico de neutrones:

$$\Phi_{epi} = \frac{\Phi_{th}}{\frac{1}{r_w} - U}$$

r_w : Índice espectral de Westcott.

Cinética Inversa

Mediante cinética Inversa se realizó la calibración de barras de control y se obtuvo el exceso de reactividad del núcleo ρ^{EXC} por el método de compensación, evaluando la reactividad a través del modelo del reactor puntual (MRP) [2]. Por medio del método de “rod-drop” se obtuvo la efectividad de barras de control β_0 para las distintas barras; la estimación se realizó mediante el MRP (β_{0P}) y cinética espacial modal (β_{0m}), determinándose también el efecto espacial debido a las ubicaciones de las CIC [3].

En las mediciones se utilizó un sistema de medición constituido por: dos CIC_x, amplificadores voltaje-voltaje, fuentes de polarización de las cámaras, una PC I con una tarjeta conversora analógica digital;

además de un conjunto de software desarrollados por el grupo de física experimental de reactores (CNEA) [4]. El programa FERCIN1 se utilizó para las calibraciones de las barras, mientras que los programas FERCIN2 y FERCIN4 se utilizaron para la estimación de la efectividad de barras de control. A continuación la configuración 7A5 del RP-0 (figura 1).

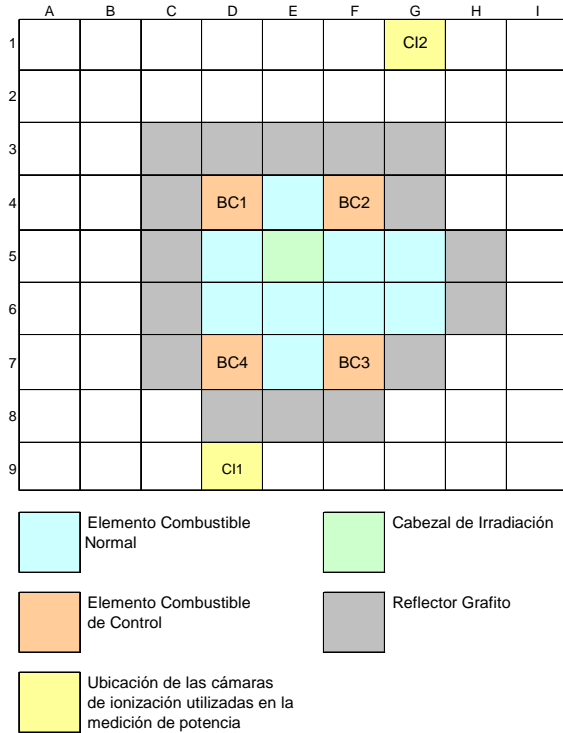


Figura 1. Configuración de núcleo 7A5.

3. RESULTADOS

Flujo Neutrónico

Para las mediciones de flujo neutrónico se trabajó con las siguientes condiciones mostradas en la tabla 1:

Tabla 1. Condiciones Iniciales.

ICM4 = 0.1×10^{-6} Amperios
CIC1 = D9 CIC2 = H4
BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%
ICM4 = 0.1×10^{-6} Amperios
CIC1 = D9 CIC2 = H4
BC1 = Crítico, BC2 = BC3 = BC4 = 100%

A continuación en las figuras 2 y 3 se presentan los resultados de los flujos térmicos y epitérmicos ($n/cm^2 s$) determinados para cada elemento combustible y de control, así como también para el cabezal de irradiación.

Flujos Térmicos

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

Figura 2. Flujo Térmico para la configuración 7A5.

Flujos Epitérmicos

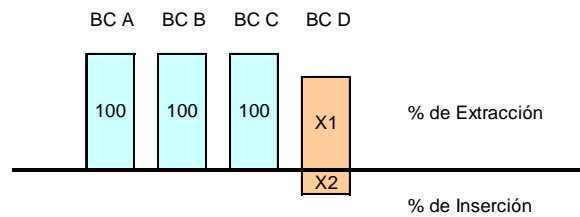
	D	E	F	G
4	$4.83E6 \pm 6.08\%$	$6.18E6 \pm 8.16\%$	$5.68E6 \pm 7.13\%$	
5	$6.52E6 \pm 7.39\%$	$7.09E6 \pm 6.39\%$	$7.86E6 \pm 8.21\%$	$5.98E6 \pm 8.58\%$
6	$6.84E6 \pm 7.90\%$	$8.31E6 \pm 8.18\%$	$8.52E6 \pm 8.25\%$	$6.05E6 \pm 7.96\%$
7	$5.68E6 \pm 7.13\%$	$6.33E6 \pm 8.65\%$	$5.68E6 \pm 7.13\%$	

Figura 3. Flujo Epitérmico para la configuración 7A5.

Estimación del exceso de reactividad

Se estimó el exceso de reactividad del núcleo 7A5 con cada barra de control, la figura 4 ilustra la determinación del exceso

Estimación del Exceso



El exceso es el porcentaje X2 introducida de la barra de control D.

Figura 4. Ejemplo de configuración de barras.

El valor del exceso se determina extrayendo el porcentaje X2 introducido, esto es la calibración se realiza por pasos insertando una de las barras al 100% extraída y compensando con la barra D. A continuación en la tabla 2 se muestra el exceso de reactividad estimado para cada barra de control.

Tabla 2. Exceso de reactividad por barra de control.

ICM4: 0.2 E-7 A		
Barra de Control	Exceso de Reactividad	Ubicación CIC
BC1	0.3709 ± 0.0090	D9
BC2	0.3757 ± 0.0015	
BC3	0.3673 ± 0.0014	
BC4	0.3656 ± 0.0014	

Estimación de Efectividad de barras de control

Para el cálculo de la efectividad se deja “caer” las barras (ROD-DROP), tiempo en el cual se realizan registros de la población neutrónica. La tabla 3 muestra los valores de la estimación de la efectividad de barras de control calculados por MRP y el modelo espacial (CEM), así como también el efecto espacial vistos en forma individual por las cámaras CIC1 y CIC2.

Tabla 3. Efectividad de barras de Control modelos MRP y CEM.

Ubicación de CIC	\$ _{op}	\$ _{om}	Efecto espacial (%)	Condiciones Iniciales
BC1(CIC1 -D9)	3.754 ± 0.005	2.952 ± 0.021	27.24	BC3: 81.7%, BC _{1,2,4} : 100%
BC1(CIC2 -E2)	2.989 ± 0.004	2.965 ± 0.024	0.89	
BC2(CIC1 -D9)	4.046 ± 0.005	3.907 ± 0.045	3.66	BC4: 76.5%, BC _{1,2,3} : 100%
BC2(CIC2 -E2)	5.100 ± 0.011	3.162 ± 0.035	61.41	
BC4(CIC1 -D9)	4.789 ± 0.031	3.281 ± 0.031	46.1	BC2: 78.0%, BC _{1,3,4} : 100%
BC4(CIC2 -E2)	3.339 ± 0.003	3.238 ± 0.023	3.21	
BC3(CIC1 -D9)	5.199 ± 0.005	4.808 ± 0.028	8.13	BC1: 76.8%, BC _{2,3,4} : 100%
BC3(CIC2 -G1)	4.605 ± 0.005	4.745 ± 0.026	2.95	

4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se determinó los parámetros de seguridad para la configuración 7A5 del RP-0. Se obtuvo el mapa de flujos neutrónicos (Térmico y Epitérmico), el exceso de reactividad y la efectividad de barras de control.

- Los valores del exceso de reactividad con cada barra de control muestran coherencia estadística y se puede concluir que para efectos prácticos basta determinar el exceso con una sola barra de control.

- La determinación de la efectividad de barras es la única manera de conocer el peso total de las barras en el RP-0, dado que es imposible hacer la calibración del total de la barra (ver condiciones iniciales de barras, tabla 1)

- Se comprueba que los efectos espaciales son menores cuando las cámaras se encuentran más alejadas de las barras de control, esto se debe a que se cumple el modelo del reactor puntual (MRP).

- Como sugerencia a posteriores mediciones, se debería de contar con una barra de control fina, para minimizar la fluctuación de la Potencia de Trabajo (ICM4).

5. REFERENCIAS

- (1) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Estimación de Flujos Térmico y Epitérmico en la configuración 7A5 del núcleo del RP0” 2002.
- (2) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Calibración de las Barras de Control del núcleo 7A5 del RP0 por el modelo de reactor puntual (MRP)” 2002.
- (3) M. Zapata, F. Parreño, R. Bruna; IPEN-DGI-CASE “Estimación de la efectividad de las Barras de Control del núcleo 7A5 del RP0 por el modelo del reactor puntual (MRP) y cinética espacial modal (CEM)” 2002.
- (4) Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA.C.RCN.MUS.027 “Programas de computación utilizados en la medición de parámetros cinéticos” 1998.
- (5) 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.

- (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) Gómez A., Waldman R. "A method to reduce space-time effects in the measurement of reactivities by the rod-drop technique". Ann. Nucl. Energy, vol 21, No 10 pp 613-628. 1994.
- (8) Medición de parámetros cinéticos en elRA-4. Angel Gómez. CNEA.C.RCN.ITE. 097