

Evaluación de la incertidumbre en el valor de la reactividad del núcleo 25 del reactor RP-10 mediante el modelo cinético puntual y espacial

Magaly Zapata⁽¹⁾ mbalcazar@gmail.com; Agustín Zúñiga⁽¹⁾ azuniga@ipen.gob.pe;
Rubén Bruna⁽¹⁾ rbruna@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Cálculo Análisis y Seguridad (CASE), Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Uno de parámetros requeridos para la licencia de operación del reactor, es el valor del Exceso de Reactividad del núcleo; siendo para ello necesario conocer los valores del peso de las barras de control. En el RP-10 se han utilizado los modelos cinéticos puntual y espacial para la calibración y el Rod-Drop de las barras, habiéndose encontrado discrepancias en la reproducibilidad de los resultados cuando se modifica la secuencia de las mismas. El presente trabajo establece dos hipótesis como causas principales de estas discrepancias; primero, el efecto de la ubicación de los detectores (dos cámaras de ionización compensada) en el núcleo; segundo, el efecto de apantallamiento entre dos barras de control. Los resultados mostraron que las discrepancias podían ser explicadas por las hipótesis planteadas y en consecuencia se pudo determinar las incertezas y el exceso de reactividad del núcleo.

1. Introducción

La configuración de núcleo 25 del RP-10, tuvo cambios significativos a diferencia de su predecesor, debido principalmente a la adición de nuevos elementos combustibles (combustible fresco). Estas modificaciones requirieron de mediciones de cambio de reactividad usando la cinética inversa [1,5,6]. El peso total de las barras de control fue determinado a través del método de compensación de barras, usando el modelo cinético puntual. Las estimaciones de reactividad mostraron efectos espaciales debido a las ubicaciones de los detectores; estos efectos espaciales y el apantallamiento de barras de control fueron estimados con el método de Rod-Drop utilizando el modelo cinético espacial [2,4,6].

Se ubicaron dos cámaras de ionización compensadas (CIC1 y CIC2) en diferentes posiciones en el núcleo del reactor, la corriente de los detectores fue amplificada en un amplificador corriente-voltaje. La tensión de salida del amplificador (la cual esta en el rango de los 0 a ± 10 voltios) es a su turno la señal de entrada de la tarjeta analógica-digital (ADC) de la PC con el software asociado.

El RP-10 es un reactor de investigación tipo piscina con reflector grafito, la configuración 25 del núcleo del RP-10 es mostrada en la Figura 1. Las cámaras de ionización compensadas fueron ubicadas en las

posiciones de irradiación. Muchas de las mediciones fueron realizadas para diferentes posiciones de los detectores (C1, E5, B4, I9), de manera que se pudo determinar la mejor ubicación del detector para el cumplimiento del modelo puntual y estimar el efecto de apantallamiento entre dos barras de control.

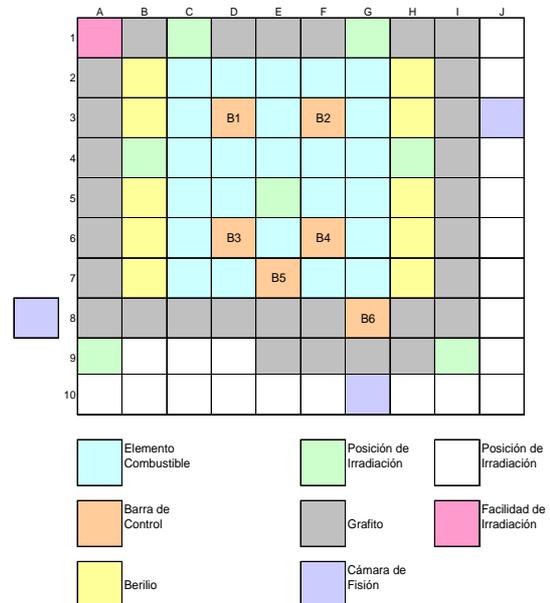


Figura 1: Configuración 25 del núcleo del reactor RP-10.

2. Método Experimental

Descripción del método de Cinética Inversa

El análisis cuantitativo de la población de neutrones requiere resolver las ecuaciones de la cinética puntual para seis grupos de neutrones retardados [1]

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{(\$-1)}{\Lambda^*} n(t) + \sum_{i=1}^m \lambda_i C_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = b_i \frac{n(t)}{\Lambda^*} - \lambda_i C_i(t), \quad i = 1, \dots, 6 \quad (2)$$

Con las condiciones iniciales para $t \leq 0$:

$$n_0 = n(t=0) = 1 \quad (3)$$

$$c_{i0} = c_i(t=0) = \frac{b_i}{\lambda_i \Lambda^*}, \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

donde:

$n(t)$ densidad neutrónica normalizada

$C_i(t)$ concentración de precursores del grupo i

$\$$ reactividad en dólares

Λ^* tiempo entre reproducciones reducido

λ_i constante de decaimiento del grupo i

$b_i = \frac{\beta_i}{\beta}$ producción total de neutrones retardados

Este sistema de ecuaciones tiene una solución analítica para una variación tipo escalón de $\$$. Para un $\$(t)$ arbitrario, el sistema es resuelto por métodos numéricos. Si consideramos valores discretos de (t_k, n_k) y una variación lineal de $n(t)$ entre dos valores consecutivos, entonces se obtiene:

$$\$_k = 1 + \frac{\Lambda^*}{n_k} \left[\frac{n_k - n_{k-1}}{\delta t} - \sum_{i=1}^m \lambda_i c_{ik} \right] \quad (5)$$

Por el método de cinética inversa, para un $n(t_k)$ dado, podemos obtener $\$(t_k) = \$_k$, la implementación de una PC con una tarjeta ADC, nos da el reactímetro digital.

Descripción del método de Rod-Drop

Rod-Drop basado en la cinética puntual

Una aplicación de la cinética inversa es el método de rod-drop. Este método es usado para estimar la efectividad de barras de control $\$p$ (valor integral de $\$$ que es introducida por la barra de control).

Suponemos un reactor crítico, para $t=0$, luego dejamos caer las barras de control las cuales toman un tiempo Δt_c en ser totalmente introducidas; produciendo una variación negativa de la reactividad.

Usando las ecuaciones (1) y (2), podemos obtener para una variación tipo escalón de $\$(t)$ en $t = t_0$ ($\Delta t_c = 0$):

$$-\$p = \frac{n_0 \left(\Lambda^* + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{\lambda_i} \right)}{\int_{t_0}^{\infty} n(t) dt} \quad (6)$$

Rod-Drop basada en la cinética espacial

La cinética espacial esta basada en la no coincidencia de la densidad neutrónica con la evolución de la potencia en cualquier punto del reactor, en consecuencia se producen efectos espaciales.

Siendo, $C_N(t) = \frac{N(t)}{N(t_0)} = n(t)$ con CR_0 y

$CR(t)$ los valores de la tasa previa y posterior de detección de neutrones. La reactividad $\$$ es determinada ajustando $C_N(t)$ para los neutrones retardados con la función $F(t)$ la cual es obtenida de la cinética espacial con un modelo modal [2].

El valor de la efectividad de barras $\$m$ es variado en cada iteración; s_j y B_j son valores obtenidos resolviendo las ecuaciones (1) y (2) con la transformada de Laplace:

$$\$m = s_j \Lambda^* + \sum_{i=1}^n \frac{b_i s_j}{1 s_j + \lambda_i} \quad (7)$$

Todas las descripciones dadas arriba son el soporte de nuestras mediciones.

3. Resultados

Calibración de Barras de Control

Para determinar el peso en reactividad de las barras de control, tuvimos que medir cuatro días después de la última operación, para evitar el xenón. Las mediciones fueron llevadas a cabo a baja potencia (~1 KW). Se calibraron dos barras de control con diferente configuraciones de crítico (Tabla 1.), utilizando el método de compensación [3,4,5] para obtener el peso en reactividad de ambas barras de control. Los detectores se ubicaron en el núcleo en C1 el detector 1 (CIC1), y en I9 el detector 2 (CIC2). La Figura 2 y la Figura 3 muestran el peso de las barras de control 1 y 2 respectivamente.

Tabla 1. Configuraciones de crítico para calibración de barras B1 y B2.

Configuración Inicial	Configuración Final
(1) B6 = B5 = 100 % B3 = B2 = 100% B1 = 0%; B4 = Crítico	(1) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0 B1= 100 B4 = Crítico
(2) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0% B1=100% B4 = Crítico	(2) B6 = B5 = 100% B3 = B2 = 100% B1 = 0% B4 = Crítico
(3) B6 = B5 = B3 = 100% B2 = 100% B1= 0% B4 = Crítico	(3) B6 = B5 = 100% B3 = 100% B2 = 0% B1= 100% B4 = Crítico

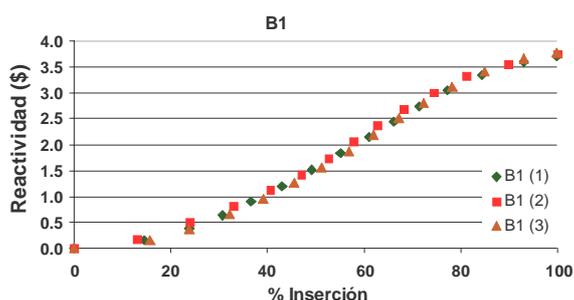


Figura 2. Curva integral de reactividad para B1, las configuraciones 1, 2 y 3 son comparadas (Reactividad versus % Inserción).

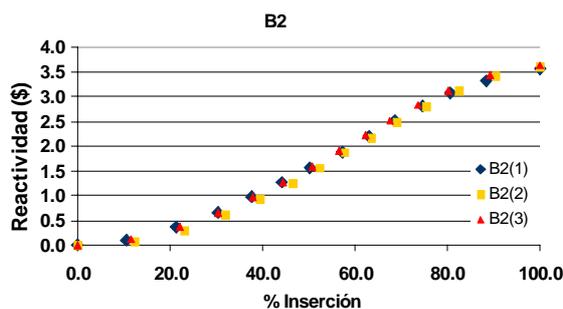


Figura 3. Curva integral de reactividad para B2, las configuraciones 1, 2 y 3 son comparadas (Reactividad versus % Inserción).

Con el objetivo de estimar los efectos debido a la redistribución del flujo y efectos espaciales, entre las barras B1 y B2, se aplicó el método de Rod-Drop. Las mediciones de efectividad de barras de control fueron llevadas a cabo en las mismas condiciones que el de las calibraciones (~1 KW, reactor libre de Xenón), pero esta vez la ubicación de los detectores fue E5 para CIC1 e I9 para CIC2; siendo los resultados mostrados en la Tabla 2.

El efecto espacial es calculado de:

$$\frac{\$p - \$m}{\$m} \times 100$$

Tabla 2. Medición de efectividad de barras B1 y B2.

Configuración inicial (% extracción)	\$p	\$m	Efecto espacial
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	5.406 ± 0.005	4.951 ± 0.016	9.2 ± 0.4
	4.611 ± 0.005	4.831 ± 0.016	-4.5 ± 0.3
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	5.283 ± 0.005	4.781 ± 0.013	10.5 ± 0.3
	4.904 ± 0.005	4.793 ± 0.014	2.3 ± 0.3
B1=100 B2=100 B3=51 B4=0 B5=0 B6=100	10.819 ± 0.011	7.624 ± 0.035	41.9 ± 0.7
	8.572 ± 0.009	7.037 ± 0.026	21.9 ± 0.5

En la Tabla 3 se muestra la estimación de la interferencia entre las barras B1 Y B2 calculada de:

$$\frac{\$m (RC1 - RC2) - [\$m (RC1) + \$m (RC2)]}{[\$m (RC1) + \$m (RC2)]} \times 100$$

Tabla 3. Estimación de interferencia entre B1 y B2.

Ubicación Detectores	Interferencia de Barras (%)	Interferencia de Barras (% promedio)
CIC1: E5	-26.88 ± 0.32	-25.40 ± 0.25
CIC2: I9	-21.66 ± 0.40	

4. Discusión

El valor negativo de la interferencia de barras significa que dos barras juntas tienen menos efectividad que cada barra separada, debido a las variaciones del flujo neutrónico.

La interferencia de barras adiciona error a las mediciones obtenidas por calibración, debido a la redistribución de flujo. Podemos observar que en la calibración entre B1 y B2; el valor de la reactividad de B2 fue: 3.5997 ± 0.0020 mas un error de $\sim 25\%$ lo que significa que el valor está entre $\langle 2.7, 4.5 \rangle$.

5. Conclusiones

La interferencia de barras afecta directamente los resultados de las calibraciones realizadas entre un par de barras de control, lo que significa que en la calibración de B1 y B2 se debe tener en cuenta un error de $\sim 25\%$.

Aplicando el modelo cinético espacial, podemos estudiar los efectos espaciales debido a la ubicación de los detectores. Como es lógico dichos efectos son mas evidentes para ubicaciones centrales dentro del núcleo, en los resultados (es mayor en E5 y menor en I9). El efecto espacial negativo, significa que en el campo de vista del detector prevalecen armónicos asociados con reactividades menores en valor absoluto que la reactividad asociada al modo fundamental. En otras palabras, el detector "ve" una depresión inicial del flujo global cuando las barras caen.

Bibliografía

1. Gómez A. Cinética de Reactores, Postgrado en Reactores Nucleares - Modulo de Física de Reactores I.E.S.d.E. Argentina (1997).
2. Gómez A., Waldman R. A method to reduce space-time effects in the measurement of reactivities by the rod-drop technique. Ann. Nucl. Energy 21(10) p. 613-628 (1994).
3. Trkov A., Ravnik M., Wimmer H., Glumac B., Böck H. Application of the rod-insertion method for control rod worth measurements in research reactors. Kerntechnik 60, 255-261(1995).
4. Zapata M., Bruna R., Parreño F. Medición de la efectividad de barras de control para la configuración de núcleo 7A5 del reactor RP-0 por cinética puntual y espacial. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Reporte Técnico (2002).
5. Zapata M., Bruna R. Calibración de barras de control para la configuración de núcleo 25th del reactor RP-10. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Reporte Técnico (2003).
6. Gómez A., Estryk G., Roqueta D. Medición de parámetros neutrónicos para el reactor RA-3 durante la puesta en marcha en Mayo del año 2000 CNEA.C.RCN.ITE.136. (Rev.1) (2001).