

Variación del exceso de reactividad debido al cambio de una caja de irradiación con una caja de irradiación grafitada en la posición H4 del núcleo del reactor RP-10

Braulio Ticona*

Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad, Dirección de Producción, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

El núcleo 39 del reactor RP-10, en un inicio, contaba con una propuesta determinada de configuración; sin embargo, tenía un exceso de reactividad con un valor igual a 2407 pcm y no cumplía con una de las condiciones de operación. No obstante que se hicieron trabajos de optimización para la gestión de combustibles, no podía elevarse más el valor con la condición actual de algunos elementos combustibles; es por eso, que se opta la posibilidad de realizar cambios fuera de la zona de los combustibles y reemplazar la caja de irradiación que se encuentra en la posición H4 por una caja de irradiación grafitada, aprovechando que el grafito es un mejor reflector que el agua. Con esa finalidad se diseñó el modelo geométrico para el nuevo núcleo y se realizó el cálculo neutrónico con CITVAP. Como resultado se obtuvo un valor de exceso de reactividad igual a 2935.5 pcm para la posición H4 lográndose incrementar el valor del exceso de reactividad para el núcleo 39 cubriendo todas las condiciones de operación.

Palabras claves: Exceso de reactividad, CITVAP, Caja de irradiación, Caja de irradiación grafitada, Núcleo 39

Variation of excess of reactivity due to the change of an irradiation box with a graphitized irradiation box in H4 position of RP-10 reactor core

Abstract

First, there was a proposal for a core configuration for the RP-10 reactor core 39, but because of an excess of reactivity with a value equal to 2407 pcm, it did not achieve one of the conditions of operation. Although optimization works for fuel management were made, the value with the current condition of some fuel assemblies cannot raise more. Thus, we choose the possibility of making changes outside the active region of the fuel area and replacing the H4 position irradiation box by a graphitized irradiation box, taking advantage that graphite is a better reflector than water. With that aim, a geometric model of the new core was designed and neutronic calculations with CITVAP were made. As a result, a value of excess of reactivity equal to 2935.5 pcm was obtained in the H4 position, achieving an increase of the excess of reactivity for core 39, covering all the conditions of operation.

1. Introducción

El Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad del IPEN se encarga de la gestión del núcleo realizando propuestas de configuración cada cierto tiempo, con el propósito de optimizar la gestión de los elementos combustibles dentro de condiciones seguras de operación. Estas tareas se realizan a través de cálculos neutrónicos y termohidráulicos mediante la utilización de códigos de cálculo. En este estudio se presentan los resultados de la variación de reactividad del núcleo 39 del reactor RP-10 desde una propuesta inicial de configuración en la que el núcleo presentó un valor de

reactividad que no superaba al límite inferior de operación exigido, hasta una nueva configuración en la que se reemplazó una caja de irradiación en la posición H4 por una caja de irradiación grafitada con la finalidad de elevar el valor del exceso de reactividad.

2. Metodología

Inicialmente se hace una comparación entre la configuración antigua del núcleo 39 y la nueva propuesta.

2.1. Configuración de núcleo 39

*Correspondencia autor: braulio.ticona@ipen.gob.pe

Está conformada por 24 elementos combustibles normales, 5 elementos combustibles de control, reflectores de grafito, reflectores de berilio y cajas de irradiación. La decisión de qué elementos combustibles deben estar presentes en el

núcleo y la manera de cómo se han distribuido se realiza aplicando ciertos criterios que forman parte de la gestión de combustibles. Estos criterios se utilizan a la hora de realizar los cálculos neutrónicos y son los siguientes:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TN RAB	NG	PI	NB	NG	NB	PI	NG		
2	NG	NG	NN-008	NN-009	NN-010	NN-022	NN-021	NG	NG	
3	NG	NB	NN-011	NC-001	NN-024	NC-008	NN-020	NB	NG	
4	NG	PI	NN-004	NN-023	NN-031	NN-029	NN-025	PI	NG	
5	NG	NB	NN-005	NN-030	PI	NN-028	NN-032	NB	NG	
6	NG	NB	NN-018	NC-007	NN-027	NC-006	NN-026	NB	NG	
7	NG	NG	NN-016	NN-013	AS-001	A-009	A-023	NG	NG	
8	PI	NG	NG	NB	NG	NB	BCF	NG	PI	
9			NG	NG	NG	NG	NG			
10										

Figura 1. Configuración del núcleo 39 con la caja de irradiación de color rojo, en la posición H4.

- Límites y condiciones de operación tales como: el límite máximo de quemado de un elemento combustible, en el cual el grado de quemado del U^{235} no debe superar el 58.6 % (NUKEM); el valor mínimo y máximo del exceso de reactividad del núcleo, el exceso de reactividad durante un ciclo debe estar entre 2800 pcm (al inicio del ciclo) y 4000 pcm (al final del ciclo); y el límite máximo de factor de pico, cuyo valor no debe superar el 2.5.
- Normas, condiciones y limitaciones que establezca a Autoridad Regulatoria.

Sin embargo, debido a la restricción de la autoridad regulatoria de retirar los elementos combustibles de CNEA manchados y al hecho de que la mayoría de los elementos combustibles de NUKEM disponibles están cercano a su límite máximo de quemado, no

se había podido cumplir con la condición del valor mínimo de exceso de reactividad de 2800 pcm. Por esa razón, en este trabajo se presenta una propuesta en donde se modifica la configuración de núcleo 39 para elevar el valor de exceso de reactividad hasta superar el valor mínimo, sin modificar la zona activa (donde se encuentran los elementos combustibles), sino cambiando una caja de irradiación en la posición H4 por una caja de irradiación grafitada aprovechando la mejor capacidad reflectora del grafito comparado con el agua contenida en la caja de irradiación.

La configuración de núcleo 39 inicialmente diseñada se muestra en la Figura 1. La nueva propuesta solo contempla un cambio en la posición H4 y se muestra en la Figura 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TN RAB	NG	PI	NB	NG	NB	PI	NG		
2	NG	NG	NN-008	NN-009	NN-010	NN-022	NN-021	NG	NG	
3	NG	NB	NN-011	NC-001	NN-024	NC-008	NN-020	NB	NG	
4	NG	PI	NN-004	NN-023	NN-031	NN-029	NN-025	CG	NG	
5	NG	NB	NN-005	NN-030	PI	NN-028	NN-032	NB	NG	
6	NG	NB	NN-018	NC-007	NN-027	NC-006	NN-026	NB	NG	
7	NG	NG	NN-016	NN-013	AS-001	A-009	A-023	NG	NG	
8	PI	NG	NG	NB	NG	NB	BCF	NG	PI	
9			NG	NG	NG	NG	NG			
10										

Figura 2. Configuración del núcleo 39 con la caja de irradiación grafitada de color amarillo, en la posición H4.

2.2. Historial de quemado de los elementos combustibles

En la Tabla 1 se muestra la información de entrada con el historial de quemado de los EECC al inicio de un ciclo, en ella se observa los valores promedio para cada elemento combustible que forman parte del núcleo 39 y que fue obtenida de la librería de quemado usando el código WIMCIT[1]. Sin embargo, el archivo de entrada CITVAP permite poder ingresar la distribución axial de quemado, es decir, ingresar valores de quemado en un determinado número de secciones o trozos a lo largo de la longitud axial de un elemento combustible. Los valores de la distribución de quemado de los combustibles del reactor RP-10 siguen una función coseno[2]. Entonces el valor de quemado para una posición en el eje axial (z) está dado por:

$$Q_z = Q_{m\acute{a}x} \cos\left(\frac{\pi z}{L} - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

donde:

$Q_{m\acute{a}x}$ es el valor de quemado en el punto más alto de la curva cosenoidal.

L_a es la longitud axial de la zona activa de un elemento combustible.

L_e es la longitud axial extrapolada.

La longitud axial de la zona activa de un elemento combustible tiene un valor igual a 61.5 cm, entonces como se va a considerar 10 trozos axiales, cada uno tendría una longitud de 6.15 cm. Luego, se aplica la ecuación (1) para el punto medio de cada trozo de un elemento combustible y para todos los elementos combustibles listados en la

Tabla 1, obteniéndose la distribución axial que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Valores promedio de quemado promedio de los elementos combustibles al inicio de la configuración del núcleo 39.

Elemento Combustible	Quemado (MwD/TU)
NN-008	92228.2
NN-009	87330.5
NN-010	87228.9
NN-022	71081.0
NN-021	72225.2
NN-011	90559.7
NN-024	64160.2
NN-020	80542.3
NN-004	92234.0
NN-023	67996.6
NN-031	42631.9
NN-029	46088.8
NN-025	63714.7
NN-005	91852.2
NN-030	43519.7
NN-028	51724.1
NN-032	30240.4
NN-018	82263.1
NN-027	61055.5
NN-026	51150.6
NN-016	89853.0
NN-013	86987.1
A-009	19858.6
A-023	0.0
NC-001	82675.6
NC-008	31641.0
NC-007	47801.3
NC-006	73318.8
AS-001	7346.9

Tabla 2. Quemado para cada elemento combustible separado en 10 trozo axiales (en la tabla aparecen 5 columnas debido a que sus valores son simétricos) y cuyos valores están distribuidos de acuerdo con una función coseno.

EECC	Quemado en los puntos medios de cada trozo axial (MwD/TU)				
	3.075 cm	9.225 cm	15.375 cm	21.525 cm	27.675 cm
	58.425 cm	52.275 cm	46.125 cm	39.975 cm	33.825 cm
NN-008	58739.44	80188.00	97362.43	109347.31	115503.82
NN-009	55620.13	75929.69	92192.08	103540.51	109370.09
NN-010	55555.43	75841.35	92084.83	103420.05	109242.85
NN-022	45270.95	61801.52	75037.99	84274.83	89019.70
NN-021	45999.68	62796.35	76245.89	85631.41	90452.67
NN-011	57676.79	78737.32	95601.05	107369.10	113414.24
NN-024	40863.14	55784.22	67731.92	76069.41	80352.30
NN-020	51296.78	70027.67	85025.99	95492.31	100868.75
NN-004	58743.14	80193.04	97368.55	109354.18	115511.08
NN-023	43306.52	59119.79	71781.89	80617.91	85156.89
NN-031	25317.54	36357.56	45260.74	51503.81	54719.85
NN-029	27370.47	39305.69	48930.80	55680.11	59156.93
NN-025	40579.41	55396.88	67261.62	75541.22	79794.37
NN-005	58499.97	79861.09	96965.50	108901.51	115032.93
NN-030	25844.78	37114.70	46203.28	52576.36	55859.38
NN-028	30717.07	44111.62	54913.59	62488.14	66390.08
NN-032	17958.68	25789.78	32105.13	36533.58	38814.84
NN-018	52392.74	71523.82	86842.59	97532.52	103023.83
NN-027	38885.79	53084.83	64454.38	72388.43	76464.07
NN-026	30376.49	43622.52	54304.73	61795.29	65653.97
NN-016	57226.69	78122.88	94855.01	106531.23	112529.19
NN-013	55401.42	75631.12	91829.56	103133.37	108940.02
A-009	10768.41	16534.07	21222.85	24529.38	26238.29
A-023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NC-001	52655.46	71882.47	87278.05	98021.58	103540.43
NC-008	18790.45	26984.24	33592.10	38225.65	40612.57
NC-007	28387.46	40766.15	50748.90	57748.99	61355.00
NC-006	46696.19	63747.18	77400.37	86928.00	91822.26
AS-001	3983.89	6116.95	7851.62	9074.90	9707.13

2.3. Cálculo con CITVAP

El archivo de entrada CITVAP requiere de muchos parámetros de entrada en cada una de sus tarjetas o línea de datos, entre los principales tenemos: la potencia de operación, el tiempo de operación (para casos de evolución de quemado), el grado de extracción de las barras de control y seguridad, el tipo de librería de las secciones eficaces macroscópicas que se utilizará y la

tabla de distribución de quemado axial.

- Con relación a la potencia para el cálculo de exceso de reactividad al inicio del núcleo 39, se va a considerar una potencia muy baja igual a 1 W.

- Para el cálculo de reactividad al inicio del núcleo 39 no hay evolución en el tiempo y por lo tanto el tiempo considerado es igual a 0 días.
- Se considera todas las barras de seguridad y de control totalmente extraídas.
- Como se trata de un cálculo de exceso de reactividad se elige la librería fría, cuyo nombre es RP10_c.bib.
- La tabla con los valores de quemado axial, para todos los elementos combustibles que conforman la zona activa del núcleo 39 se muestra en la Tabla 2.
- Este archivo de entrada se ejecuta con CITVAP, de la cual se extrae la información de interés del archivo con extensión *.plt[3].

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 se puede observar que después de haber reemplazado una caja de irradiación por una caja de irradiación grafitada se logra un incremento de 528.5 pcm. Esto se debe a que la caja de irradiación grafitada presenta una mejor capacidad reflectora comparada con el agua que está contenida en la caja de irradiación y debido a su ubicación en H4, cercana al centro del núcleo se reduce la fuga de neutrones hacia afuera, aumentando la población neutrónica en la zona activa.

Tabla 3. Valores de exceso de reactividad obtenidos del cálculo con CITVAP de acuerdo con el elemento ubicado en la posición H4.

Elemento en H4	Exceso de reactividad (pcm)
Caja de irradiación	2407.0
Caja de irradiación grafitada	2935.5

Otra forma de comparación se muestra en la Tabla 4, donde se presentan los valores de exceso de reactividad encontrados con la experiencia de calibración de barras para el inicio de la configuración de núcleo 39 [4].

Se tiene un incremento similar al obtenido mediante cálculo CITVAP (Tabla 4), cuyo valor es de 546 pcm. Ahora, el nivel de exceso de reactividad alcanzado experimentalmente de 2435.0 pcm no superará el límite de 2800 pcm; sin embargo, dicho límite es aplicable para los resultados por cálculo, más no para el caso experimental.

Tabla 4. Valores de exceso de reactividad obtenidos de la experiencia de calibración de barras, de acuerdo con el elemento ubicado en la posición H4.

Elemento en H4	Exceso de reactividad (pcm)
Caja de irradiación	1889.0
Caja de irradiación grafitada	2435.0

4. Conclusiones

Después de haber hecho el cambio de la caja de irradiación por una caja de irradiación grafitada, en la posición H4 en el modelo 3D del núcleo del reactor RP-10 con CITVAP, se determina que el valor del exceso de reactividad en el núcleo 39 se incrementó desde un valor de 2407.0 pcm hasta 2935.5 pcm, lo cual representa una diferencia de 528.5 pcm, con esto se ha logrado superar el límite inferior del valor de exceso de reactividad establecido por cálculo de 2800 pcm.

5. Agradecimiento

Al Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad por los requerimientos de información brindados para realizar este trabajo.

6. Referencias

- [1] Aguirre A. Cálculo neutrónico fin de núcleo 38B del RP-10. Lima: IPEN; 2013. [Informe Interno].
- [2] Vela M, Gallardo A, Castro J, Terremoto L. Determinación del quemado de los elementos combustibles del reactor nuclear RP-10 mediante el método de espectrometría gamma. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN. 2008. p. 133-137.
- [3] Ticona B. Comparación de los resultados de exceso de reactividad y quemado obtenidos con WIMCIT y CITVAP para los núcleos 37, 38, 38b y 39. Lima: IPEN; 2013. [Informe Interno].
- [4] Bruna R. Calibración de barras de control del inicio del núcleo 39 y determinación del exceso de reactividad. Lima: IPEN; 2013. [Informe Interno].