

Determinación del coeficiente de realimentación de reactividad por temperatura para la configuración No. 28 del núcleo del reactor RP-10

José Castro jcastro@ipen.gob.pe, Rolando Arrieta rarieta@ipen.gob.pe

Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección General de Instalaciones. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

Se describe la metodología empleada para la determinación experimental del coeficiente de temperatura del reactor RP-10, aprovechando la temperatura del agua del circuito primario y la energía térmica proporcionada por la energía cinética de las bombas del circuito primario. Este método es propio y ha sido desarrollado para el reactor RP-10. Proporciona buenos resultados pero necesita el auxilio del sistema de adquisición de datos para poder evaluar las perturbaciones de reactividad, debido a la temperatura del agua del circuito primario. La experiencia muestra para el coeficiente de temperatura valores muy aceptables y se verifica la influencia de la temperatura del agua en el control y seguridad del reactor nuclear, realizado para la configuración No. 28 del núcleo. El valor encontrado es de $-6.5 \text{ pcm}/^\circ\text{C}$.

1 Introducción

La reactividad de un reactor nuclear es consecuencia de sus propiedades físicas y nucleares; por lo tanto, cualquier fenómeno que suponga una modificación de las secciones eficaces de los materiales que integran el núcleo del reactor implicará un cambio en la reactividad del sistema. La temperatura es una de ellas, se refleja en el combustible y en el agua que actúa como moderador y refrigerante del núcleo.

El coeficiente de temperatura de un reactor nuclear es un parámetro que relaciona el cambio de reactividad en función al cambio de temperatura del medio que lo rodea, en este caso, el agua. Este parámetro es muy importante en los estudios de seguridad y operación del reactor RP-10. En nuestro caso la reactividad que se inserta debe ser negativa; es decir, actúa como un absorbedor de neutrones cuando la temperatura del reactor incrementa su valor, lo cual es beneficioso para la seguridad.

En los reactores nucleares -como el RP-10- que emplean uranio medianamente enriquecido (20 % en su isótopo U-235) se espera con toda evidencia que el coeficiente de temperatura del combustible presente un valor negativo apreciable. En estos reactores, la captura neutrónica por U-238, en la región de resonancia, desempeña un papel muy importante.

La variación de la temperatura en el moderador influye sobre el factor de

multiplicación de dos maneras definidas: al aumentar la temperatura, crece con una contribución positiva por el incremento del factor de la utilización térmica y decrece porque disminuye la probabilidad de escape a la resonancia. Más que la temperatura del combustible es la temperatura del moderador el que determina el factor de desventaja y la energía neutrónica (de la que dependen las secciones eficaces), por eso se señala que la variación de la utilización térmica con la temperatura constituye una buena indicación de la contribución del moderador al coeficiente de temperatura de la reactividad.

1.1 Coeficiente de Realimentación de reactividad por temperatura

Un reactor es intrínsecamente inestable, en el sentido de que cualquier incremento de reactividad, partiendo de un estado estacionario, tiende a provocar el ascenso indefinido del flujo neutrónico y de la potencia, sin que se alcance un segundo estado estacionario; sin embargo, en el reactor hay ciertas características autolimitadoras, como el coeficiente de temperatura negativo que puede servir como agente estabilizador. Esta característica es la que se denomina **realimentación negativa**. Se utiliza el término realimentación para describir el comportamiento de un sistema controlado (cuando el sistema responde de tal manera a una variación o error), luego, se presentan dos opciones con la realimentación, primero, que agrave el error (realimentación

positiva), segundo: que la contrarreste (realimentación negativa)

Al considerar la realimentación de reactividad, hay que tener en cuenta que la magnitud de dicha realimentación viene determinada por la variación que experimenta la producción del reactor.

El coeficiente de realimentación de reactividad por temperatura puede ser positivo o negativo, según las circunstancias, por lo que es necesario realizar experiencias periódicas para comprobar su signo; especialmente, en reactores con poco enriquecimiento donde se consume U-235 y U-238 pero se produce algo de Pu-239 que influye en la forma que pueda presentar variaciones en dicho coeficiente.

En el reactor RP-10 esta experiencia puede realizarse de varias formas. Por ejemplo en el reactor RP-0 se calienta el agua del moderador con resistencias eléctricas, debido al bajo volumen de agua que tiene el RP-0. En cambio, en el reactor RP-10 se estuvo calentando el agua con el mismo reactor, pero no era muy apropiado, por lo que se optó en hacer circular el agua por el núcleo con auxilio de las bombas del primario.

El núcleo No. 28 del reactor (Figura 1) esta formado por 29 elementos combustibles; el agua que pasa por los canales de cada uno de los elementos combustibles provoca un cambio de reactividad, si varía su temperatura, estos cambios de reactividad son pequeños. Para regularla se emplea la barra de control fina, ubicada en la posición G8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	TN RAB	NG		NG 004	NG 027	NG 012	PI 002	NG 011	NG	TTT
2	NG 005	NB 001	NN 028	NN 024	NN 022	NN 025	NN 029	NN 002	NG	
3	NG 003	NB 003	NN 020	NC04 BS2	NN 014	NC03 BC1	NN 027	NB 004	NG	CF 003
4	NG 007	PI 003	NN 006	NN 015	NN 008	NN 007	NN 017	PI 005	NG 009	
5	NG 006	NB 009	NN 011	NN 016	PI 004	NN 012	NN 021	NB 010	NG 014	
6	NG 005	NB 005	NN 023	NC06 BC2	NN 019	NC01 BS3	NN 026	NB 006	NG	
7	NG 007	NB 007	NN 031	NN 013	NC07 BS1	NN 005	NN 030	NN 008	NG	
8	NG 010	NG 010	NG 008	NG	NG 028	NG	BCF	NG 023	NG	
9	PI 006	NG	NG		NG	NG	NG	NG	PI 007	
10								CF 001		

Figura 1. Esquema del núcleo 28 del reactor RP-10.

Este método de medición del coeficiente de reactividad por temperatura del moderador, nos ha permitido obtener valores aceptables y confiables gracias al uso del Sistema de Adquisición de Datos (SAD), para obtener la información necesaria sobre los parámetros de: tiempo, temperatura de entrada y salida del núcleo y posición de barra fina en tiempos cortos. El resultado de obtener la barra fina calibrada un día antes, nos permite relacionar la posición de barra vs. reactividad, tal como se observa en la Figura 2.

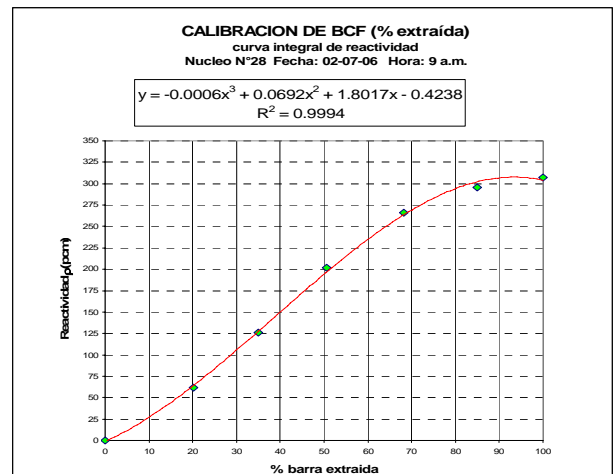


Figura 2. Grafica de Curva integral de reactividad de BCF.

2 Método Experimental

El método básico para poder obtener el coeficiente de temperatura, consiste en observar la variación de la posición de una barra de control ante los cambios de temperatura del agua que pasa por el núcleo del reactor. En nuestro caso, empleamos la barra de control fina para determinar la variación de reactividad en función de la temperatura. En esta experiencia se tuvo en cuenta que el reactor había sido operado recientemente y se encontraba con una temperatura en pileta del orden de los 26 °C, un grado superior a la temperatura ambiente del día de la experiencia. Con el reactor operado a baja potencia (10 W aprox.) y empleando el circuito primario y secundario de refrigeración, se logró bajar en unos cuantos minutos la temperatura del agua que pasa por los elementos combustibles en el orden de 8°C (Figura 3), lo cual se denomina enfriamiento brusco.

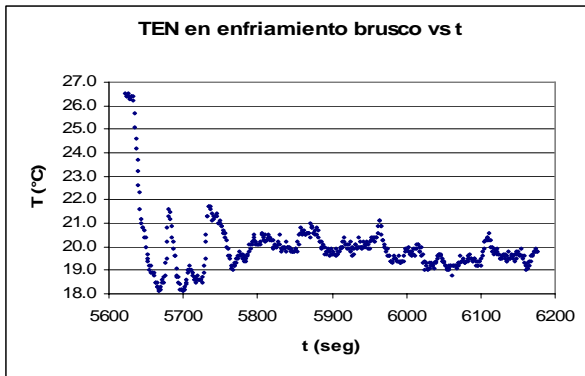


Figura 3. Comportamiento de la temperatura del agua en la etapa de enfriamiento brusco (lapso de 10 minutos).

Se apagan las bombas del secundario y se deja que la temperatura vaya en aumento lentamente, debido a la mezcla de la masa del agua que se encuentra en el tanque y la temperatura proporcionada por la energía cinética accionada por las bombas del primario, que se mantienen funcionando por el lapso de 4 horas, consiguiendo que la temperatura alcance un incremento de 4°C de temperatura. A esta etapa se le denomina **calentamiento leve** (Figura 4).

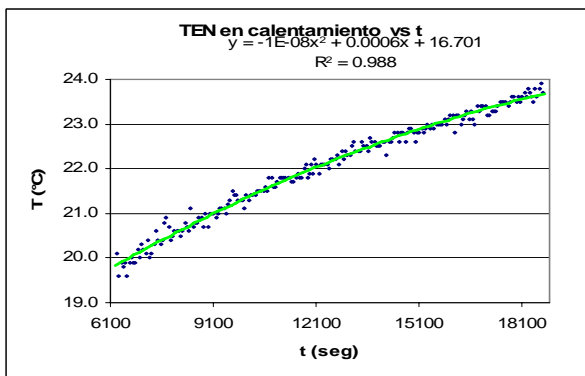


Figura 4. Etapa de calentamiento leve (lapso de 4 horas).

Posteriormente, se encienden las bombas del secundario consiguiendo bajar la temperatura del primario en forma lenta, pero observando un cambio de dirección en la posición de la barra fina. A esta etapa se le denomina **enfriamiento leve** (Figura 5).

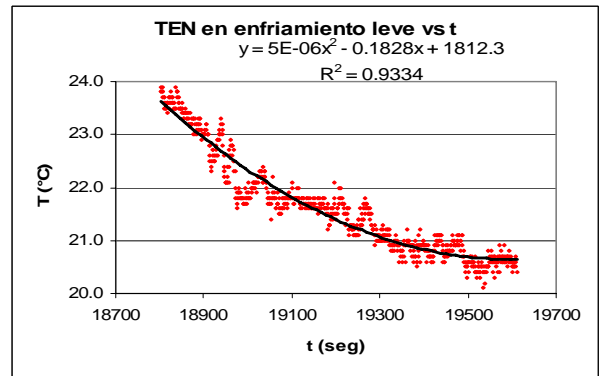


Figura 5. Etapa de enfriamiento leve (lapso de 17 minutos).

En la cual se verifica que el enfriamiento produce un incremento de reactividad positiva en el sistema; caso contrario, sucede durante el calentamiento donde la reactividad es negativa.

Como al inicio del encendido de las bombas, el registro de la temperatura del agua muestra mucha variabilidad, no se considera para la evaluación la etapa de enfriamiento brusco. Las otras etapas sin son tomadas en cuenta.

1. Etapa de calentamiento: el agua del tanque (TTq) se encuentra a mayor temperatura que el que circula por el núcleo, mientras el sistema de refrigeración primario se encuentra funcionando ($Q=1440 \text{ m}^3/\text{h}$) el agua del tanque se va mezclando con la proveniente de la rama de refrigeración, aumentando su temperatura gradualmente. Además, se adiciona el calor generado por las bombas del primario en su trabajo de impulsión del refrigerante y en donde no hay transferencia de calor al circuito secundario.

2. Etapa de Enfriamiento: una vez que el agua que circula por el núcleo se encuentra casi estable a una determinada temperatura, se procede a enfriar el agua, colocando el sistema de refrigeración secundario ($Q=1400 \text{ m}^3/\text{h}$), la transferencia de calor por los intercambiadores permite reducir la temperatura del agua que circula por el núcleo.

Los datos tomados del SAD del RP-10 nos muestran el comportamiento de la temperatura tomado del sensor de **temperatura del agua de entrada al núcleo** del reactor (TEN), tal como se muestra en las figuras 3, 4 y 5.

De igual manera, la posición de la barra fina (BCF) varía por efecto de la temperatura del refrigerante, tal como se muestra en la figura 6, 7 y 8, correspondiente a datos proporcionados por el SAD:

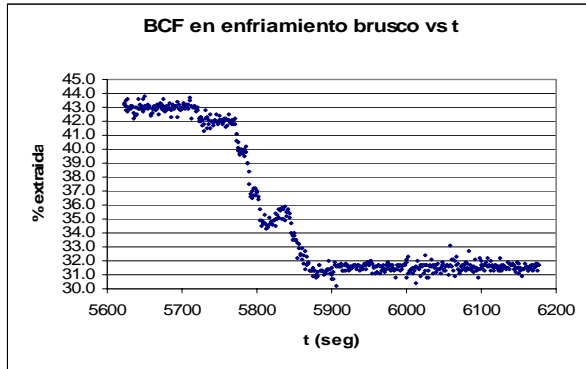


Figura 6. Variación de BCF debido a etapa de enfriamiento brusco (lapso de 10 minutos).

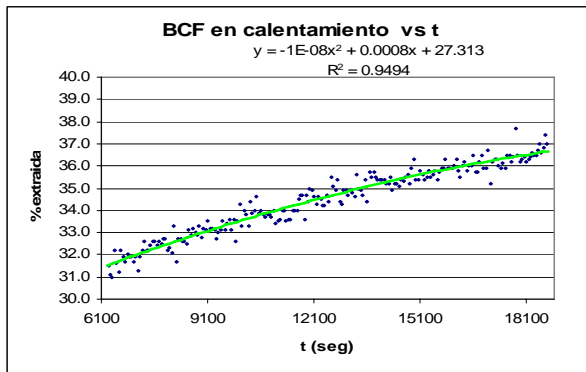


Figura 7. Variación de BCF debido a etapa de calentamiento leve (lapso de 4 horas).

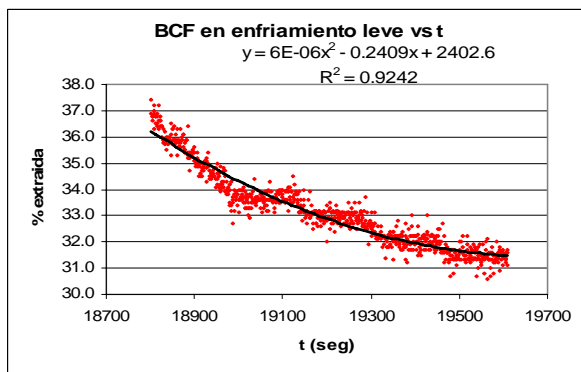


Figura 8. Variación de BCF debido a etapa de enfriamiento leve (lapso de 17 minutos).

Se observa la inconsistencia entre la forma de respuesta de la barra fina y el cambio de temperatura en la etapa de enfriamiento brusco, lo cual es otro motivo para no considerar esta etapa en la evaluación.

Para el tratamiento de los datos se ha realizado un ajuste de curvas y se ha determinado su correspondiente valor de reactividad para las posiciones de BCF encontradas en función del tiempo.

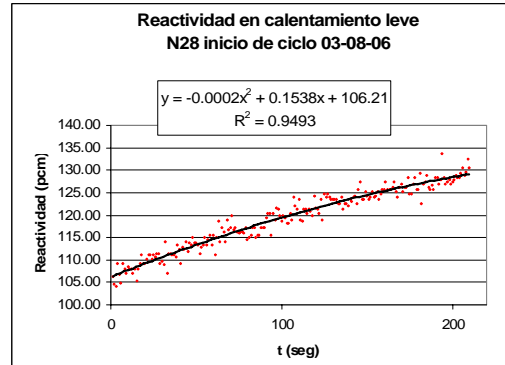


Figura 9. Valor de Reactividad ajustada en función del tiempo para la etapa de calentamiento leve.

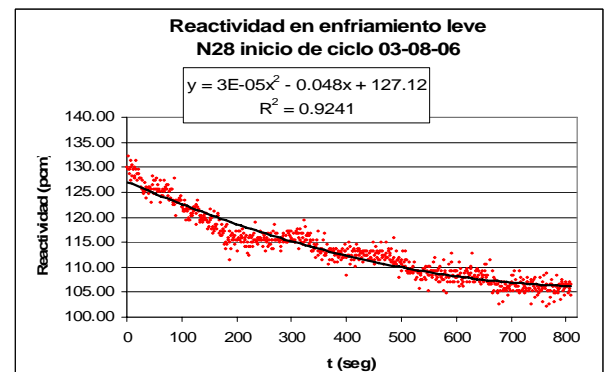


Figura 10. Valor de reactividad ajustada en función del tiempo para la etapa de enfriamiento leve.

3 Resultados

3.1 Etapa de Calentamiento

De la relación de las Figuras 4 y 9 para la etapa de calentamiento, se obtiene la siguiente grafica Reactividad negativa vs. Temperatura de entrada de agua al núcleo a partir de datos observados y siguiendo la relación $R(t)=T(t)$ (Reactividad vs. Temperatura).

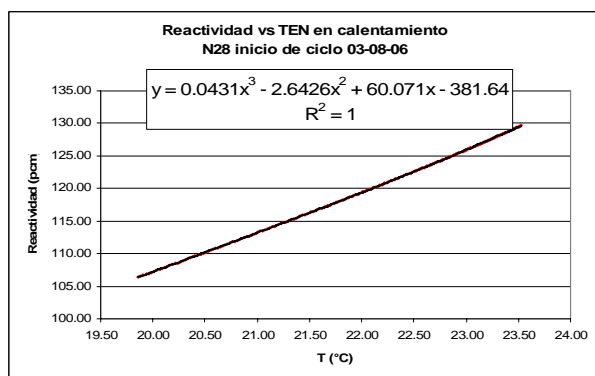


Figura 11. Grafica ajustada de Reactividad vs. Temperatura para etapa de calentamiento.

3.2 Determinación de Coeficiente de Temperatura etapa de calentamiento

A PARTIR DE DATOS DE SAD Y CON AJUSTES DE CURVAS

DATOS AJUSTADOS		primer caso			segundo caso		
T (°C)	r (pcm)	DR	DT	pcm/°C	DR	DT	pcm/°C
20	107.54						
21	113.61	-6.07	1	-6.07			
22	119.83	-6.22	1	-6.22	-12.29	2	-6.15
23	126.46	-6.62	1	-6.62	-12.84	2	-6.42
PROMEDIO				-6.31			-6.28

3.3 Etapa de Enfriamiento

De la relación de las Figuras 5 y 10 para la etapa de enfriamiento leve, se obtiene la siguiente grafica Reactividad positiva vs. Temperatura de entrada de agua al núcleo a partir de datos observados y siguiendo la relación $R(t)=T(t)$. (Reactividad vs. Temperatura).

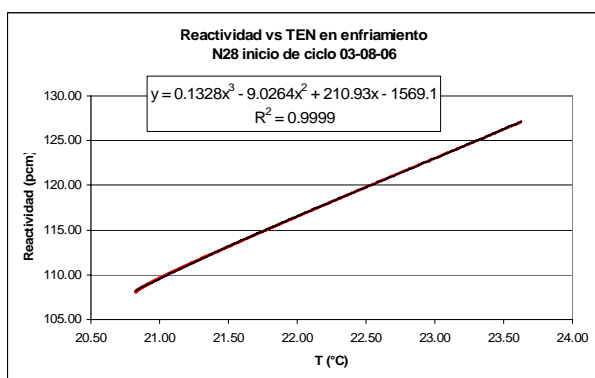


Figura 12. Grafica ajustada de Reactividad vs. Temperatura para etapa de enfriamiento.

3.4 Determinación de Coeficiente de Temperatura en enfriamiento

A PARTIR DE DATOS DE SAD Y CON AJUSTES DE CURVAS

DATOS AJUSTADOS		primer caso			segundo caso		
T (°C)	r (pcm)	DR	DT	pcm/°C	DR	DT	pcm/°C
21	109.65						
22	116.64	-6.99	1	-6.99			
23	123.10	-6.47	1	-6.47	-13.45	2	-6.73
PROMEDIO				-6.73			-6.73

4 Discusión

Se puede observar que para el núcleo 28 el coeficiente de realimentación de reactividad por temperatura es aproximadamente $-6.5 \text{ pcm/}^\circ\text{C}$, se tomaron valores tanto en el calentamiento como en el enfriamiento del agua del núcleo del reactor. Se observa que el promedio supera los $-6 \text{ pcm/}^\circ\text{C}$, tal como se muestra en la tabla adjunta.

CALENTAMIENTO	ENFRIAMIENTO	PROMEDIO TOTAL
6.73 ± 0.26	6.31 ± 0.31	
6.73 ± 0.0001	6.28 ± 0.14	
PROMEDIO	PROMEDIO	
6.73 ± 0.26	6.30 ± 0.23	6.51 ± 0.25

5 Conclusiones

El valor obtenido del coeficiente de realimentación de reactividad por temperatura al inicio del ciclo del núcleo 28, es aceptable si lo comparamos con valores obtenidos en núcleos anteriores. Queda ampliamente demostrado que este coeficiente es negativo, dada la respuesta en reactividad en los casos de calentamiento y enfriamiento, tal como lo requiere las normas de seguridad del reactor RP-10. El valor adoptado para el coeficiente de reactividad por temperatura es de $-6.5 \pm 0.25 \text{ pcm/}^\circ\text{C}$.

6 Referencias

- [1] Bruna R. Medición del coeficiente de reactividad por temperatura del moderador núcleo 24 del reactor RP-10. DRE-CAS-ME-058-1; octubre 2002.
- [2] Bruna R. Calibración de la barra de control fino núcleo 25 del reactor RP-10. Julio 2003.
- [3] Nieto M. Procedimiento para la medición del coeficiente de temperatura del núcleo 24 del reactor RP-10. septiembre 2002.
- [4] Lázaro G, Woodruff WL, Deen J. Technical study for LEU RP-10 and RP-0 Peruvian Reactors. ANL. december 1995.