

Cálculo de coeficientes de reactividad del reactor nuclear de investigación TRIGA IAN-R1

Calculation of reactivity coefficients of the nuclear research reactor TRIGA IAN-R1

José Antonio Sarta¹, Luis Álvaro Castiblanco²

Recibido: 29 de julio de 2018

Aceptado: 20 de noviembre de 2018

Publicado en línea: 17 de diciembre de 2018

Doi: 10.32685/2590-7468/invapnu-clear.2.2018.55

Citación: J. A. Sarta y L. A. Castiblanco, "Cálculo de coeficientes de reactividad del reactor nuclear de investigación TRIGA IAN-R1", *Revista de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, n.º 2, pp. 31-34, 2018.

RESUMEN

Con el fin de calcular los coeficientes del núcleo del TRIGA IAN-R1, fue calculada una configuración simplificada del núcleo sin barras de control y canales internos de irradiación. Los conjuntos de las secciones eficaces fueron recalculados con el código Wims en cada temperatura del combustible, del agua y de la densidad del agua. La reactividad efectiva fue calculada empleando el código Citation con un modelo conceptual y un cálculo X-Y-Z, con el propósito de evitar los recálculos del *buckling*. En el modelo conceptual del núcleo TRIGA IAN-R1 se obtuvo un valor de $-7,37$ pcm/°C para el coeficiente de temperatura del combustible; $3,67$ pcm/°C y $-4,28$ pcm/°C para el coeficiente de temperatura del moderador, y $-95,5$ pcm/% para el coeficiente de vacío.

ABSTRACT

In order to evaluate the reactivity coefficients of the TRIGA IAN-R1 core, a simplified core configuration with no control rods and no internal irradiation channels was calculated. The cross-sections set were recalculated running a Wims code for each temperature of fuel, water and the water density. The effective reactivity was calculated using Citation code with a conceptual model and a X-Y-Z calculation in order to avoid buckling recalculations. For the conceptual model of the TRIGA IAN-R1 core, a value of -7.37 pcm/°C was obtained for the fuel temperature coefficient; 3.67 pcm/°C and -4.28 pcm/°C for the temperature coefficient of the moderator and -95.5 pcm/% for the void coefficient.

Palabras clave: Sección eficaz, factor de multiplicación efectivo, reactividad.

Key words: Cross section, effective multiplication factor, reactivity.

¹ Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Física, Bogotá, Colombia

² Technology and Nuclear Science, Bogotá, Colombia
Email de correspondencia: sartaj@javeriana.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En 1964, en el programa de Átomos para la Paz, el reactor de investigación IAN-R1, de 10 kW(t), fue donado a la República de Colombia con combustible MTR enriquecido nominalmente a 93% de ²³⁵U. En diciembre de 1994, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA), antes Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), establecieron un acuerdo con la General Atomics (GA), con el propósito de reemplazar el combustible original MTR por uno TRIGA enriquecido a 19,7% e incrementar la potencia del IAN-R1 a 100 kW(t). El nuevo elemento combustible estándar TRIGA (UZrH_{1,6}) emplea un arreglo de cuatro barras de combustible. Para los elementos combustibles que contienen las barras de control y los sitios de irradiación se emplea un arreglo de tres barras de combustible [1]. Desde 1998, el reactor TRIGA IAN-R1 es operado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), antes, Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas).

La configuración del núcleo TRIGA contiene un total de cincuenta barras, distribuidas en ocho elementos combustible estándar y seis de elementos con tres barras cada uno de ellos; tres de estos elementos cuentan con un tubo guía para las barras de control, y los otros tres, con un tubo guía para la irradiación de muestras. Cada barra tiene una carga nominal de uranio de 12,75 wt %, con una razón de 1,6 átomos de hidrogeno a 1 de circonio. El reflector radial consiste de catorce elementos sólidos de grafito y seis reflectores de grafito empleados para la producción de radioisótopos. Los reflectores superiores e inferiores son grafitos cilíndricos que se encuentran ubicados en los extremos de las barras combustibles [2]. El reactor TRIGA IAN-R1 se emplea en investigación, entrenamiento, producción de radioisótopos y análisis de muestras.

Los cambios de la temperatura en un reactor, por sí mismos, introducen reactividad en los reactores. El cambio de reactividad introducida por grado de temperatura se llama *coeficiente de reactividad de temperatura*, o simplemente *coeficiente de temperatura*. El coeficiente de temperatura puede ser positivo o negativo. Los coeficientes de temperatura, en lo posible, deben ser negativos, de tal forma que un incremento en la temperatura cause una adición de reactividad negativa, por ejemplo, un decrecimiento en las tasas de fisión

y, consecuentemente, en la potencia y el retorno normal a la operación. Un reactor con un coeficiente de temperatura negativo es, por lo tanto, inherentemente seguro. Los cambios de temperatura en un reactor introducen reactividad básicamente por la alteración de la energía media de los neutrones térmicos, o por cambios en las densidades de los componentes del núcleo del reactor. Otro efecto importante sobre la reactividad es el llamado *coeficiente de reactividad de vacío*, que se puede presentar cuando el líquido moderador alcanza la temperatura suficiente para generar burbujas de vapor, que contienen pocos núcleos moderadores [3].

2. CÁLCULOS

Para la realización de los cálculos se eligió la primera configuración geométrica del núcleo, que fue propuesta por la General Atomics al Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas INEA [4]. Tomando como base esta primera configuración, para el presente trabajo se consideró el modelo conceptual del núcleo TRIGA de la figura 1, consistente en catorce elementos clúster, cada uno con cuatro barras de elemento combustible UZrH_{1,6} [5]. El reflector está compuesto por veinte elementos de grafito, seis de los cuales son empleados para la producción de radioisótopos. Los reflectores axiales están conformados por grafitos cilíndricos localizados en las partes superior e inferior de cada una de las barras de combustible.

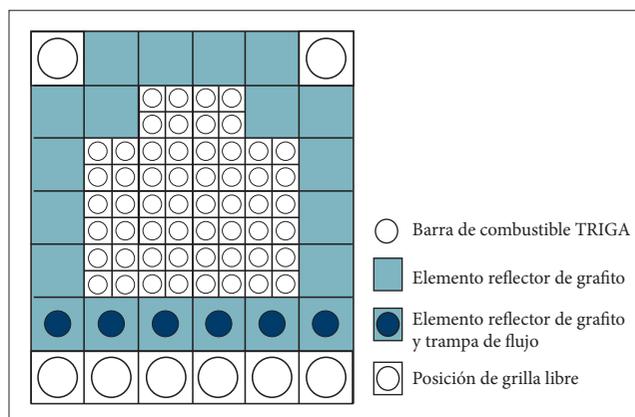


Figura 1. Modelo conceptual del núcleo TRIGA.

Fuente: autores

Las barras combustibles del IAN-R1 son del tipo TRIGA-LEU 12/20. El contenido de uranio de cada barra es 12,75 wt %, con 49,6 gr de U 235 y un enriquecimiento de U 235 de $19,75 \pm 0,2$ %. El centro de la sección activa del combustible tiene una barra de zirconio sólido de 6,35 mm de diámetro. Cada barra de combustible tiene 34,9 mm de diámetro, 765 mm de largo, con una longitud del combustible de 381 mm y un peso total de 3,4 kg. Los reflectores axiales son cilindros de grafito de 33,8 mm de diámetro, y se encuentran localizados en los extremos de las barras, con longitudes de 112,8 mm en la parte superior y 121,9 mm en la parte inferior del núcleo. Las barras combustibles están recubiertas con una vaina de acero inoxidable tipo 304, de 0,5 mm de espesor [2].

En la tabla 1 se resumen los datos empleados en la celda unitaria del modelo conceptual para la generación de las secciones eficaces térmicas y rápidas en el modelo conceptual de núcleo TRIGA [6].

Tabla 1. Datos de la celda unitaria a temperatura de 20 °C

Región	Radio (cm)	Nucleido	Átomos/b-cm
Zr	0,315	Zr	0,042918
UZrH1,6	1,692	H	0,054709
		Zr	0,034191
		U-235	0,000364
		U-238	0,001459
Acero inoxidable	1,746	Cr, Ni, Fe	0,087000
Agua	2,175	H	0,066742
		O	0,033379

Fuente: autores

Los cálculos fueron realizados para una estructura de dos grupos de energía: una térmica $<0,625$ eV y una rápida $> 0,625$ eV [7]. Las secciones eficaces fueron generadas empleando el código WIMS [8]. La estructura de los grupos de energía empleada, los valores de los coeficientes de difusión y las secciones eficaces obtenidas se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Estructura de grupos de energía y secciones eficaces a temperatura de 20 °C

Intervalo de energía (eV)	Difusión	Absorción
$1,0 \times 10^7$ -0,625	$9,76539 \times 10^{-1}$	$6,59875 \times 10^{-3}$
0,625-0,0	$2,04075 \times 10^{-1}$	$1,06613 \times 10^{-1}$

Fuente: autores

Para la determinación del factor de multiplicación K_{eff} se realizó una evaluación tridimensional del modelo conceptual empleando el código Citation [9]. El valor obtenido para el K_{eff} a la temperatura de 20 °C fue de 1,052706.

3. RESULTADOS

En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos del cambio de la reactividad efectiva en función de la temperatura del combustible TRIGA. El valor del coeficiente de reactividad de temperatura del combustible obtenido de la pendiente de la curva de la figura 2 es de $-7,37$ pcm/°C. Para considerar las situaciones en las cuales el reactor se opera en modo pulsado, en el cálculo se extendió el rango de la temperatura hasta 1 000 °C.

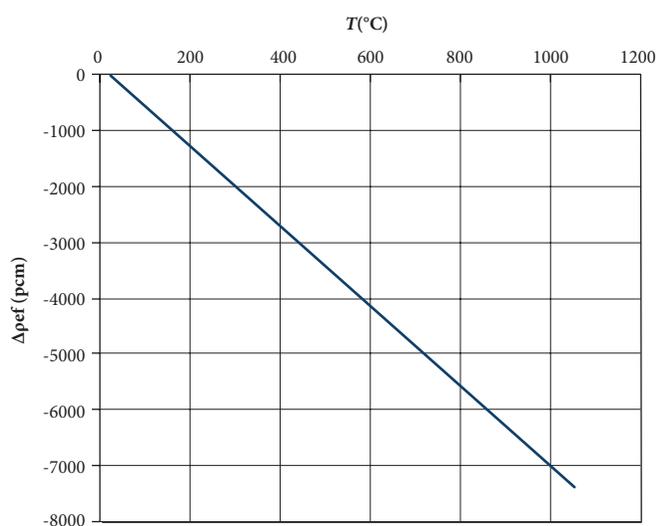


Figura 2. Cambio de la reactividad efectiva como función de la temperatura del combustible TRIGA.

Fuente: autores

En la figura 3 se representa la variación del cambio de la reactividad efectiva como función de la temperatura del agua, considerando a la vez la variación simultánea de la densidad del agua.

Un análisis realizado sobre los efectos separados de la temperatura del agua y de la densidad del agua sobre la reactividad conducen a establecer que la sola variación de la temperatura del agua produce un coeficiente de reactividad positivo igual a 3,67 pcm/°C, mientras que la sola variación de la densidad del agua produce un coeficiente de reactividad negativo de $-4,28$ pcm/°C.

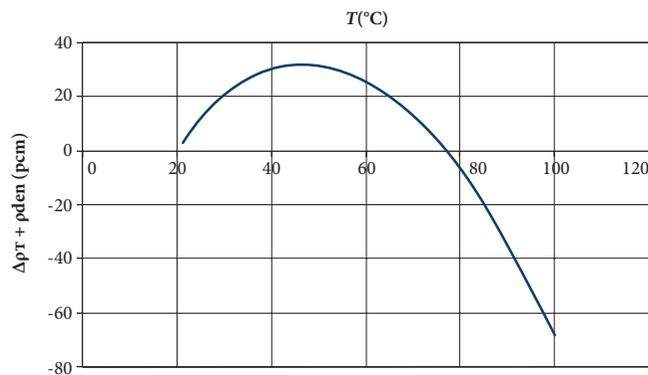


Figura 3. Cambio de la reactividad efectiva como función de la variación simultánea de la temperatura y la densidad del agua.

Fuente: autores

La figura 4 ilustra el cambio de la reactividad efectiva debida a diferentes fracciones de vacío, que fueron simuladas por el decrecimiento de la densidad del agua.

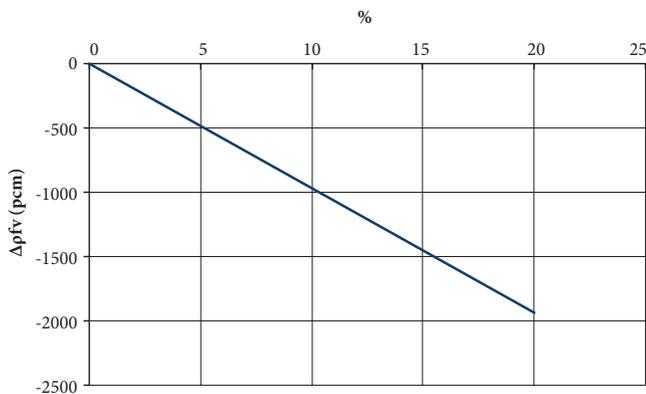


Figura 4. Cambio de la reactividad efectiva como función de las fracciones de vacío.

El valor del coeficiente de vacío obtenido a partir de la pendiente de la gráfica es de $-95,5 \text{ pcm}/\%$.

Fuente: autores

4. CONCLUSIONES

El principal efecto en el núcleo TRIGA-LEU se encuentra dado por el coeficiente de reactividad de la temperatura del combustible, y en una primera aproximación, los cambios de reactividad debido a la temperatura del agua pueden ser despreciados.

La sola variación de la temperatura del agua produce un coeficiente de reactividad positivo, mientras que la sola variación de la densidad del agua produce un coeficiente de reactividad negativo. La variación simultánea del cambio de la temperatura del agua y la densidad del agua dan como resultado una reactividad efectiva aproximada a la obtenida como la adición de los coeficientes por separado de los coeficientes de temperatura y densidad del agua.

Referencias

- [1] J. A. Sarta, L. A. Castiblanco y J. Razvi, "Conversion of the IAN-R1 Reactor From MTR Fuel to TRIGA LEU Fuel", International Atomic Energy Agency (IAEA), Rep., INIS-XA-C-009, 1997.
- [2] Reporte Análisis de Seguridad SAR. Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- [3] M. El-Wakil, Nuclear Power Engineering, Nuclear Engineering Series, Nueva York: McGraw-Hill, 1962.
- [4] L. A. Castiblanco y J. A. Sarta, "Calculations and Selection of a TRIGA Core for the Nuclear Reactor IAN-R1", *Nucleares*, vol. 7, n.º 16, 1997, pp. 22-32.
- [5] M. Madariaga, J. Sarta y L. Castiblanco, "Annex to the end of Mision Expert", jul. 1994.
- [6] J. A. Sarta-Fuentes y L. A. Castiblanco, "Neutronic Calculations in Core Conversion of the IAN-R1 Research Reactor from MTR HEU to TRIGA LEU fuel", International Atomic Energy Agency (IAEA), Rep., INIS-XA-C-007, 2003.
- [7] J. A. Sarta-Fuentes y L. A. Castiblanco, "Neutron Calculations of Mixed HEU-LEU Cores for IAN-R1 Research Reactor", *Transactions of the American Nuclear Society*, vol. 92, 2005, pp. 678-679.
- [8] WIMSD-4, NEA Data Bank, F-91191, Gif-sur-Yvette, France.
- [9] T. B. Fowler y D. R. Vondy, "Nuclear Reactor Core Analysis Code: Citation Revision 2, Supplement 3", United States, Rep., ORNL-TM-2496 (Rev. 2) (Suppl. 3), 1972.