

MODELO DE CALCULO NEUTRONICO PARA EL REACTOR RA-6 DEL CAB: COMPARACION DE CALCULOS CON RESULTADOS EXPERIMENTALES

C. Ferraris y F. Leszczynski

Centro Atómico Bariloche - Instituto Balseiro
 Comisión Nacional de Energía Atómica y
 Universidad Nacional de Cuyo

1. Introduccion

La próxima puesta en operación del reactor RA-6 en el Centro Atómico Bariloche, como facilidad de entrenamiento, investigación e irradiación, impone la necesidad de contar con un modelo de cálculo neutrónico de conocida confiabilidad. Esto permitiría hacer las evaluaciones correspondientes tanto desde el punto de vista de seguridad como de factibilidad de los experimentos. En un trabajo anterior /1/ se presentó un modelo de cálculo desarrollado en el CAB; en el presente se han incorporado al mismo algunas modificaciones para lograr una mejor simulación. Para determinar la confiabilidad de éstas, se aprovecharon determinaciones experimentales y cálculos obtenidos por el Grupo de Proyecto RP-10 /2/ para el reactor RA-2, realizando las correspondientes comparaciones.

2. Descripcion del modelo

El modelo fue desarrollado teniendo en cuenta, en lo posible, las limitaciones de la computadora disponible en el CAB hasta la fecha (IBM 360/44), tratando de aprovechar al máximo su capacidad. El diagrama de flujo de cálculo del modelo original /1/ es detallado en la figura 1 como Modelo de Cálculo 1.

3. Descripción de los cálculos

De todas las configuraciones del núcleo del RA-2 medidas y calculadas en /2/, se eligieron para la comparación las siguientes: núcleos uniformes de 4x4, 5x4, 5x5 y 6x5 elementos combustibles, reflejados con agua. La geometría y composición de los elementos combustibles usadas para los cálculos son las de la figura 2 y tabla 1 /2/.

Uno de los objetivos de este trabajo fue tratar de reducir en lo posible, el número de pasos de cálculo requeridos por el modelo original, conservando o mejorando la precisión de los resultados finales. Con este fin se calculó un núcleo siguiendo estrictamente el modelo original, que implica el cálculo de B_z (fig.1), y se compararon los resultados obtenidos (B_z y K_{eff}) con los de un cálculo hecho asumiendo un "buckling" axial conocido (Modelo 2 de fig.1), correspondiente a un aborro axial por reflector de 7 centímetros, (como aconsejado en /2/). Esto último permite no realizar los pasos del Cálculo del reactor cilindrizado en 2 dimensiones y el Cálculo de B_z .

Notando un buen acuerdo de los resultados finales ($B_z=0.0016671$, $k_{eff}=1.0399$ y $B_z=0.0017314$, $K_{eff}=1.0375$), se consideró correcta esta aproximación, y se decidió seguir el modelo 2 en la realización de los cálculos de los 4 núcleos.

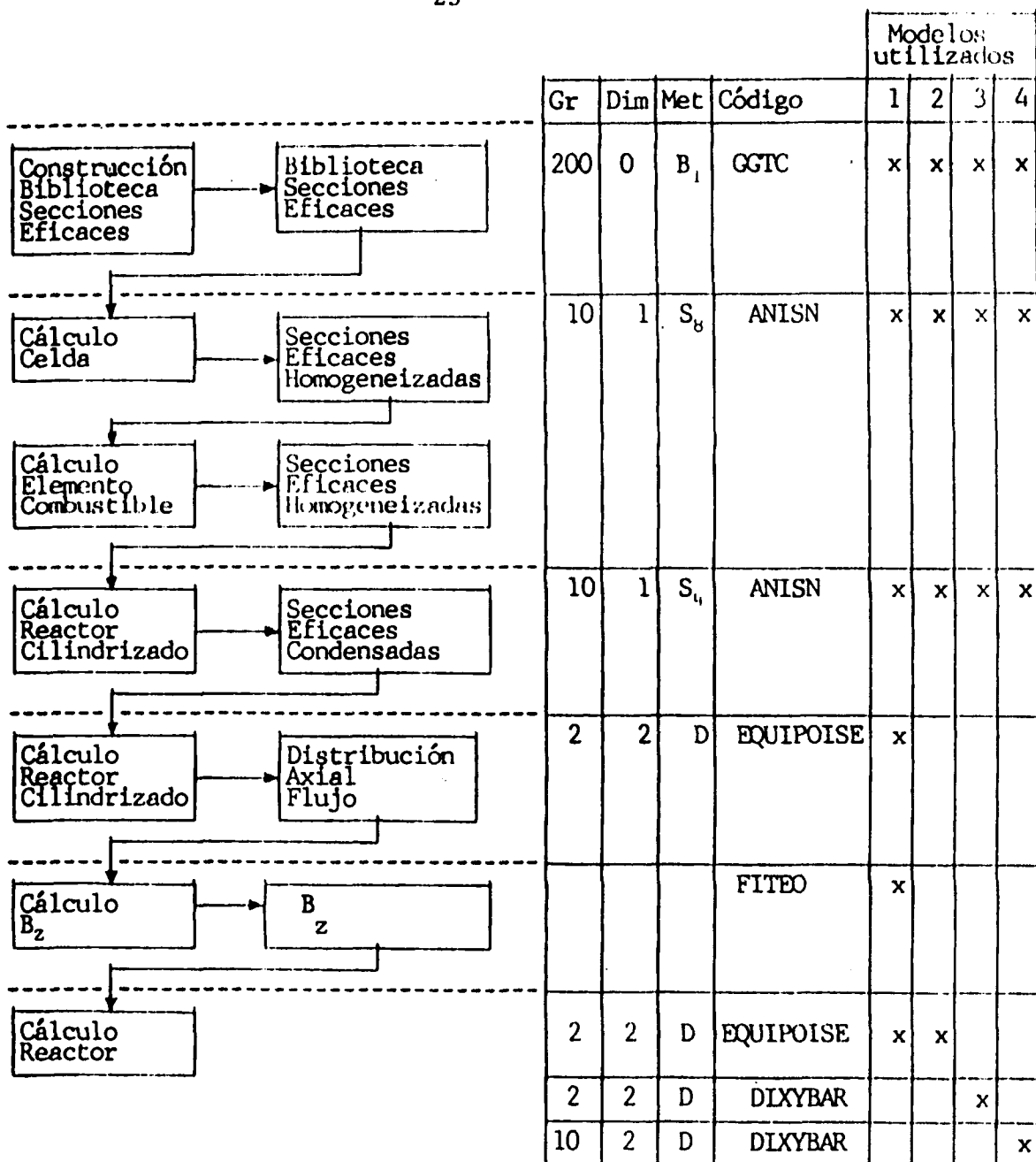


Fig. 1 Diagrama de flujo de cálculo de los modelos utilizados

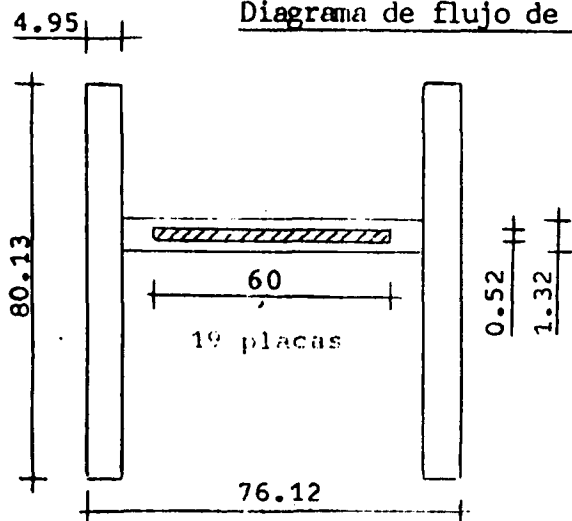


Fig. 2 Geometría elemento combustible

Atomos/cm ³	
H	: 4.0751 x 10 ²²
O	: 2.0375 x 10 ²²
Al	: 2.3330 x 10 ²²
Fe	: 4.5312 x 10 ¹⁹
U235	: 9.8293 x 10 ¹⁹
U238	: 1.0784 x 10 ¹⁹

Tabla 1 Composición elemento Combustible homogeneizado

Además, en el presente trabajo se estudiaron las diferencias en los resultados al reemplazar EQUIPOISE por un nuevo código, el DIXYBAR, desarrollado en el CAB /3/ (Modelo 3 de la figura 1).

DIXYBAR resuelve la ecuación de difusión en geometría bidimensional y aproximación multigrupo, y difiere respecto a EQUIPOISE en el tratamiento de las condiciones de contorno.

En consideración de la posibilidad que ofrece DIXYBAR de calcular a cualquier número de grupos energéticos, se modificó el modelo pasando directamente desde el cálculo de elemento combustible al cálculo del reactor a 10 grupos con DIXYBAR (Modelo 4 de la figura 1), y se repitieron los cálculos.

Los cálculos finales con DIXYBAR se hicieron con un espesor de agua de 18 cm, valor que corresponde a reflector infinito, según se dedujo de un estudio realizado para determinar dicho espesor.

4. Resultados

A continuación se detallan los resultados obtenidos en los factores de multiplicación, los errores porcentuales respecto de los valores medidos y los tiempos de cálculo, utilizando los distintos modelos. (Como se puede apreciar en las tablas, con el modelo 4 se calcularon dos núcleos adicionales, de 3x3 y 4x3 elementos).

				Modelo					
	Exper	TIMOC*	%	2	%	3	%	4	%
3x3	-	-	-	-	-	-	-	0.8464	-
4x3	-	-	-	-	-	-	-	0.9135	-
4x4	0.9610	0.991	+3.12	1.0375	+7.96	1.0444	+8.67	0.9871	+2.71
5x4	-	-	-	1.0806	-	1.0879	-	1.0323	-
5x5	1.0525	1.020	-3.08	1.1287	+7.24	1.1255	+6.93	1.0821	+2.81
6x5	1.0931	1.097	+0.36	1.1597	+6.09	1.1652	+6.59	1.1097	+1.52

Tabla 2
Resultados y errores de cálculos

Exper	$1/k_{eff} = 0.6358 + 37.388B^2$
TIMOC	$1/k_{eff} = 0.6877 + 32.067B^2$
Mod 2	$1/k_{eff} = 0.6214 + 31.527B^2$
Mod 3	$1/k_{eff} = 0.6328 + 29.892B^2$
Mod 4	$1/k_{eff} = 0.6052 + 38.011B^2$

Tabla 3
Curvas ajuste

				Modelo					
	Exper	TIMOC	%	2	%	3	%	4	%
3x3	0.8372	0.8570	+2.37	0.9153	+9.33	0.9263	+10.64	0.8523	+1.80
4x3	0.8932	0.9070	+1.89	0.9715	+8.77	0.9808	+9.81	0.9115	+2.05
4x4	0.9601	0.9656	+0.65	1.0378	+8.09	1.0447	+8.81	0.9827	+2.35
5x4	1.0030	0.9972	-0.68	1.0801	+7.69	1.0857	+8.24	1.0286	+2.55
5x5	1.0528	1.0449	-1.02	1.1284	+7.18	1.1313	+7.46	1.0817	+2.74
6x5	1.0857	1.0734	-1.61	1.1601	+6.85	1.1616	+6.99	1.1170	+2.88

Tabla 4
Resultados y errores ajuste

*Valores correspondientes a los calculados por el Grupo de Proyecto RP-10 utilizando TIMOC, un código Monte Carlo en 3 dimensiones y 36 grupos energéticos

Cálculo	Código	Modelo			
		1	2	3	4
Bib.	GGTC	0.06	0.06	0.06	0.06
Celda	ANISN	0.24	0.24	0.24	0.24
E.Comb.	ANISN	0.47	0.47	0.47	0.47
R.Cil.	ANISN	4.55	4.55	4.55	-
R.Cil.	EQUIPOISE	0.10	-	-	-
Bz	FITEO	0.04	-	-	-
Reactor	EQUIPOISE	0.10	0.10	0.13	1.30
Reactor	DIXYBAR				
Total		6.36	6.22	6.25	2.50

Tabla 5
Tiempos de cálculo (h.min.)

5. Discusión de los resultados

Como se puede apreciar en las tablas de resultados, el modelo 4 es el que proporciona los mejores resultados.

En consideración de los errores obtenidos respecto de los valores medidos, se hizo un examen de todos los pasos del cálculo, y se llegó a la conclusión de que algunas aproximaciones que introducen errores en el cálculo son:

- homogeneización de las constantes P_1 con los flujos, y no con las corrientes.
- obtención, en el cálculo del elemento combustible, de secciones eficaces homogeneizadas para un sólo tipo de elemento. O sea no se homogeneizaron los elementos ubicados en distintas posiciones del núcleo con las distribuciones de flujos y corrientes neutrónicas correspondientes a cada zonal real.
- imposibilidad de aumentar el número de intervalos, en combustible y agua, en los cálculos con DIXYBAR, a causa de las limitaciones de memoria de la computadora utilizada.

Este último puede resultar uno de los principales problemas ya que según se ha visto, el aumento en la densidad de intervalos, aumentó considerablemente la precisión.

6. Conclusiones

En la figura 3 se presentan las rectas obtenidas con un ajuste de los puntos experimentales, cálculos TIMOC y modelo 4, y en ella se puede observar la relación entre los mismos.

En consideración de los resultados obtenidos, podemos decir que en este trabajo se logró el objetivo de mejorar el modelo de cálculo neutrónico del CAB, tanto desde el punto de vista de la precisión (los errores bajaron un 60%) como de reducción del tiempo de cálculo (disminución del 50%).

Además, considerando la pequeña dispersión de los valores calculados respecto del ajuste de los mismos y la excelente regularidad de los errores (todos mayores que cero), podemos afirmar que el modelo, una vez optimizado, será ampliamente confiable.

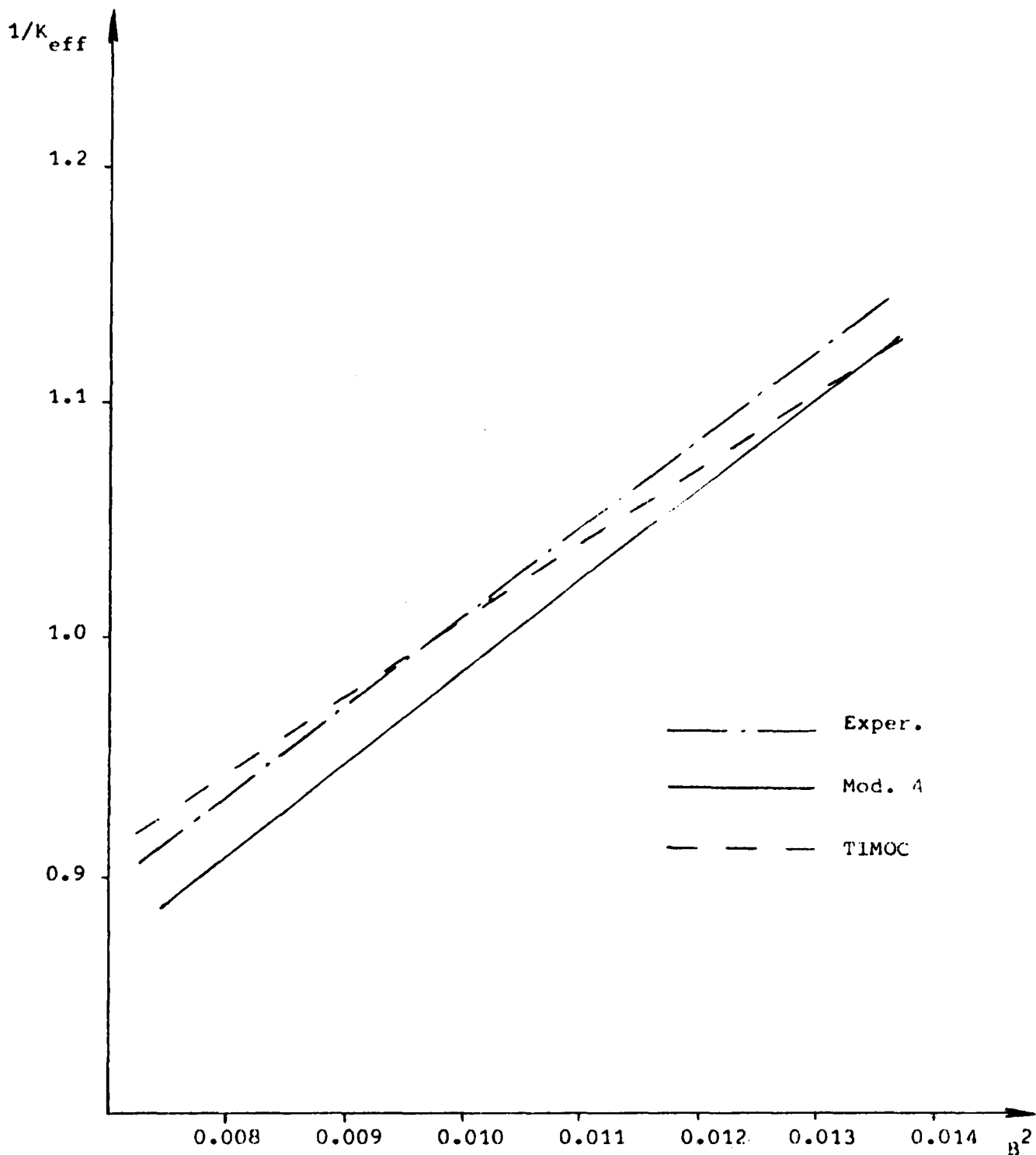


Figura. 3
Rectas de ajuste

7. Referencias

- /1/ Modelo de cálculo neutrónico para el reactor RA-6 del CAB. M. Abbate, F. Casali y F. Leszczynski.
- /2/ Análisis de mediciones de reactividad en núcleos tipo RA-2. Grupo de Proyecto RP-10 (G. H. Ricabarra y M.D.B. de Ricabarra).
- /3/ DIXYBAR: código general de cálculo neutrónico en teoría de difusión, multigrupo, C.E. Artes,