

DETERMINACION DE LA MASA CRITICA DE UN REACTOR NUCLEAR

Agustín Zúñiga

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Apt. 1687, Perú

Recibido el 20 de Agosto de 1985

RESUMEN

Se determina la masa crítica del reactor RP-0, del Instituto Peruano de Energía Nuclear, usando el modelo de difusión y de edad de Fermi, a partir de la población neutrónica subcrítica obtenida experimentalmente. Se usa un programa en lenguaje HPL, en una computadora de mesa HP9825. La discrepancia observada entre la masa calculada y la medida es de 5 %.

ABSTRACT

The critical mass of the reactor RP-0, from the Instituto Peruano de Energía Nuclear, is determined by the diffusion and the Fermi's age model, from the measured sub critical neutron population. The corresponding HPL code is used for a HP9825A computer. The discrepancy between experimental calculated critical mass is about 5%.

1. INTRODUCCION

La construcción de un reactor requiere de un previo cálculo de las partes independientes del y del conjunto integrado, incluyendo las probabilidades de accidente. Los correspondientes códigos de cálculo (estáticos o dinámicos) han pasado a ser el "know how" de las grandes empresas constructoras. Nuestro objetivo es constituir nuestros propios códigos.

Debemos recordar que la verificación experimental de los diversos parámetros determinados es imprescindible, aún cuando el sistema sea ligeramente diferente a otro ya existente, cuyas características son bien conocidas.

En este trabajo se determinará el parámetro masa crítica, que es la cantidad mínima de material combustible que permita mantener una reacción en cadena sostenida de fisión. Este parámetro será calculado a partir del valor experimental de la población neutrónica subcrítica, mediante el modelo de difusión y de la edad de Fermi [13].

2. CONDICION DE CRITICIDAD

Asumamos la aproximación de regiones debilmente absorbentes, lejos de interfaces (teoría de difusión) y una moderación continua (edad de Fermi) [4-6]. La condición de criticidad será

$$\kappa = \kappa_{\infty} P_T P_F = 1, \quad (1)$$

En esta fórmula, κ_{∞} , es el factor de multiplicación para sistema considerado infinito, dado por ,

$$\kappa_{\infty} = \eta P \epsilon,$$

siendo P la probabilidad de escape a la resonancia y ϵ el factor de fisión rápida;

P_T , es la probabilidad de no fuga térmica, dada por,

$$P_T = 1/(1 + \beta^2 L^2),$$

siendo β^2 , el "buckling", L, al longitud de difusión; P_F es la probabilidad de no fuga rápida, dada por,

$$P_F = e^{-\beta^2 \tau},$$

siendo τ es la edad térmica. El factor de Buckling del reactor, con una geometría correspondiente a una altura H (17 cm) y una radio R (54cm), se obtiene con la fórmula,

$$\beta^2 = [2.405/(R+d)]^2 [\pi/(H+d)]^2,$$

donde d, es la distancia extrapolada. Mayor información sobre el formalismo arriba expuesto, puede obtenerse en las Refs. [4-7].

Resolver la ecuación (1) equivale a determinar el número de elementos combustibles que permitan la criticidad. Un elemento combustible tiene un peso total de 155.913 g. El núcleo enriquecido al 20 % de U-235, pesa 98.91 g. El peso de U-235 es de 12.8 g. La brea tiene un peso de 29.67 g y el Al 6.44 g. El largo del núcleo es de 540 mm y su ancho de 7.7 mm. La vaina, que pesa 50.6 g, tiene un largo de 661 mm y un diámetro de 9.7 mm.

El cálculo de la sección eficaz transversal microscópica de absorción, σ_a , la sección eficaz de fisión, σ_f , la sección eficaz de dispersión, σ_s , entre otros, se hacen mediante el formalismo presentado en la Ref. [7].

Resulta que para un número de elementos de combustible mínimo de 222.8 se obtiene una masa crítica, m_c , de 2851.84 g de U-235.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. POBLACION NEUTRONICA Y CRITICIDAD

Ha sido demostrado que [4], en un reactor, con fuente externa introducida en un estado subcrítico, la población neutrónica, ϕ , obedece la relación,

$$\phi = -1/(1 - \kappa) . \quad (2)$$

Vamos a suponer que la criticidad se aproxima a 1. Para las dos poblaciones subcríticas, N_1 y N_2 , correspondientes a cargamentos m_1 y m_2 , respectivamente, la extrapolación de la masa crítica será,

$$m_c = m_2 + (m_2 - m_1)N_1/(N_2 - N_1) . \quad (3)$$

3.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIONES

Por razones de seguridad, se llena el reactor RP-0 con un número de elementos combustibles que equivalen a 80 % de la masa calculada [10]. Esta configuración es denominada configuración de base.

En las configuraciones consideradas se ha mantenido invariante el número de varillas en las coronas 1-4. La primera corona tiene 64 varillas con una masa total de 818.49 g de U-235; la segunda corona tiene 56, con 719.63 g de U-235; la tercera tiene 40 varillas con 511.91 g de U-235.

Se introduce una fuente de neutrones de 4.24×10^5 n/seg (entre el 4 y 12 de julio de 1977), efectuándose los pasos correspondientes al modo de operación "masa crítica".

Tabla 1. Cargamentos de configuraciones del reactor RP-0. Ver texto. El número de orden de cargamento es NO y el número de indentificación de la configuración es NC. El número de varillas en el elemento combustible es NV.

NO	Varillas E.C. en el núcleo				No total	Masa total U-235	NC
	4ta. Corona NV	masa(g)	5ta. Corona NV	masa(g)			
0	27	344.12	--	-----	187	2394.15	29
1	40	509.81	--	-----	200	2559.84	35
2	40	509.81	8	102.25	208	2662.09	36
3	40	509.81	12	153.65	212	2713.49	37
4	40	509.81	14	178.82	212	2738.66	38

Para cada configuración se realiza la aproximación a crítico por altura de moderador. Después de cada adición de moderador se deja estabilizar el reactor y se mide la población neutrónica respectiva, graficando el recíproco de este contaje versus la altura de moderador. Ver tabla 2 y

Tabla 2. Aproximación a crítico por altura de moderador en el reactor RP-0. Ver texto. El número de indentificación de la configuración es NC. N es la tasa de cuentas, H la altura de moderador. La masa crítica extrapolada está indicada por m_c .

NC	U-235 (g)	N (s-1)	Error (%)	H (cm)	m_c (g)
29	2394.15	37.628	3.2	12	
		51.711	2.0	31	
		73.322	1.2	45	
		94.683	0.8	57	
		111.722	0.6	76	
		114.711	0.6	85	
35	2559.40	37.767	3.2	12	2873.7
		66.117	1.4	37	
		93.317	0.8	47	
		123.000	0.5	57	
		162.106	0.4	69	
		175.028	0.3	85	
36	2662.09	38.311	3.1	12	2728.5
		43.894	2.6	23	
		64.789	1.4	34	
		109.894	0.7	47	
		182.733	0.3	57	
		299.972	0.1	65	
		393.783	0.1	72	
		445.667	0.1	85	
		37	2713.49	38.717	
42.628	2.7			21	
60.917	1.6			31	
93.839	0.8			42	
164.844	0.4			52	
232.194	0.2			57	
515.294	0.1			65	
858.322	0.1			69	
1449.561	0.02			74	
1449.467	0.01			85	
38	2738.66			37.178	3.3
		44.517	1.5	23	
		66.939	1.4	33	
		117.033	0.6	45	
		255.344	0.2	56	
		469.650	0.1	61	
		790.606	0.03	64	
		974.789	0.02	65	
		1603.172	0.01	67	
		2882.928	0.01	69	
		4399.394	0.003	70	
		7469.222	0.001	70.5	
		13941.933	0.0001	71	

Fig. 1. Se grafica el recíproco del conteaje versus la masa correspondiente a cada configuración. Ver Fig. 2. La extrapolación de esta curva permite determinar la altura crítica máxima para la configuración ligeramente supercrítica. Esta configuración tienen un exceso de reactividad que se determina añadiendo moderador hasta la altura tope con el método del periodo para medir reactividades [10].

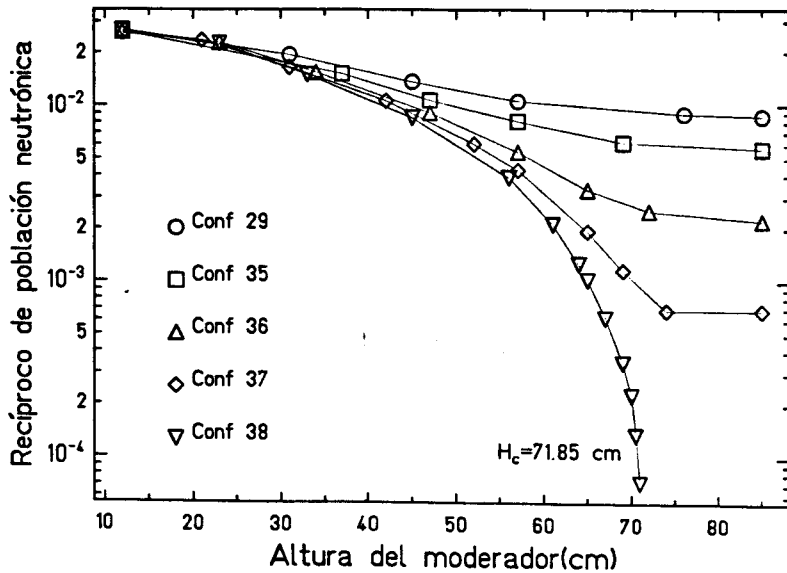


Fig. 1. Curva del recíproco de la población neutrónica ($1/\langle N \rangle$), en función de la altura del moderador (H), en el núcleo del reactor RP-0. Por extrapolación se determina la altura crítica.

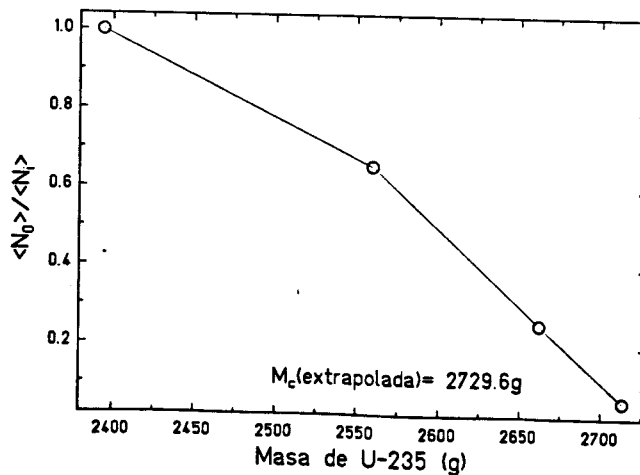


Fig. 2. Curva del recíproco de la población neutrónica ($1/\langle N \rangle$), en función de la masa crítica de U-235, en el núcleo del reactor RP-0. Por extrapolación se determina la masa crítica.

4. RESULTADOS

En la Fig. 1 y tabla 2, se puede observar que la configuración 28, correspondiente a una altura máxima del moderador de 71.85 cm, es ligeramente supercrítica. Siguiendo el método del período positivo, resulta que esa configuración tiene un exceso de reactividad de 26 centavos. A partir de la Fig. 2 y la tabla 2, resulta que la masa crítica extrapolada es de 2729.6 ± 2.5 g de U-235 que es 5 % menor que el valor calculado.

Cabe acotar que se observa que las curvas de criticidad son no conservativas. Por esto es que hemos partido con una masa crítica 20 % menor que la masa calculada.

REFERENCIAS

- [1] R. L. Murray, "Nuclear Reactor Physics", Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, 1975
- [2] A. R. Zúniga, "Dimensiones Geométricas y Estandarización de Barras del RP-0, Informe IPEN, Lima, 1980.
- [3] Informe Preliminar de Seguridad del RP-0, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.
- [4] J. R. Lamarsh, "Introduction to Nuclear Reactor Theory", Addison Wesley Publishing Company, Inc., 1972
- [5] R. Caro, "Física de Reactores Nucleares", Publicaciones JEN, Madrid, 1976.
- [6] S. Glasstone and M. C. Edlurd, "The Elements of Nuclear Reactor Theory", D. Van Nostrand Company, 1952.
- [7] A. Zúniga, "Determinación Analítica y Experimental de la Masa Crítica del reactor RP-0, Informe, IPEN, 1981.
- [8] G. I. Bell y S. Glasstone, "Nuclear Reactor Theory", Van Nostrand Reinhold Company, 1970
- [9] J. H. Machado, "Formalismo de Westcott", Laboratorio de Física e Engenharia Nucleares, Brasil.
- [10] A. Zúniga, "Métodos Experimentales de Medición de Reactividad", Informe Nuclear 2(1982)
- [11] A. Zúniga, "Determinación de Ahorro por Reflector en una Facilidad Crítica", Informe Nuclear 1(1982)

Determinación de la masa crítica de un reactor nuclear por Agustín Zúñiga se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.