

Reticulados de uranio natural-óxido de berilio, y de uranio natural-berilio metálico: cálculo de reactores cilíndricos

por Otto Gamba, L. A. Santaló y F. Alsina *

Con la nomenclatura usual, las constantes utilizadas son:

$$\epsilon = 1,027 \quad \eta = 1,32$$

Tabla 1

	ρ	σ_a	σ_r	ξ	L	τ	$\times$ (n epi- térmicos)
OBe	3	0,0092	11,1	0,17	29	133	0,138
Be	1,84	0,009	6,9	0,209	23,6	98	0,237
U	18,9	7,42	8,2	0,0084	123		0,42

Las características geométricas adoptadas son: a = radio de las barras de uranio = 1,25 cm; $c - a$ = espesor del anillo de aire (o refrigerante) alrededor de las barras de uranio = 1 cm; t = espesor del aluminio que envuelve las barras de uranio = 0,1 cm; t_1 = espesor del aluminio que separa el moderador del refrigerante = 0,1 cm. Relación de la altura al radio $H/R = 1,847$.

Con estas características y siguiendo en líneas generales el método de cálculo usual (expuesto por ejemplo en el report de Guggenheim-Pryce), los resultados obtenidos son:

I) *Reactor cilíndrico de uranio natural, óxido de berilio con refrigerante no absorbente*: b = radio de la sección recta por barra de uranio (valor óptimo) = 8 cm; R = radio de la pila (sin reflector) = 162 cm; U = tonelaje de uranio (crítico, sin reflector) = 11,4 toneladas; $M(OBe)$ = tonelaje de óxido de berilio (crítico, sin reflector) = 69 toneladas.

Para alcanzar un $k_{ef} = 1,03$ los tonelajes respectivos resultan: $U = 24$ toneladas (sin reflector); $M(OBe) = 144$ toneladas (sin reflector).

Con reflector de OBe los tonelajes son: $U = 15,3$ toneladas; $M(OBe) = 92$ toneladas; $R(OBe) = 40$ toneladas reflector (espesor una longitud de difusión).

II) *Pila cilíndrica de uranio natural, berilio metálico con refrigerante no absorbente*: b (óptimo) = 7 cm; $R = 164$ cm (crítico, sin reflector); $U = 15,5$ tone-

ladas (crítico, sin reflector); $M(Be) = 42$ toneladas (crítico, sin reflector).

Para alcanzar un $k_{ef} = 1,03$ los valores son: $U = 46$ toneladas (sin reflector); $M(Be) = 127$ toneladas (sin reflector).

Con reflector de Be, los tonelajes son: $U = 33,5$ toneladas; $M(Be) = 92,5$ toneladas; $R(Be) = 26,5$ toneladas reflector (espesor una longitud de difusión).

III) *Reactor cilíndrico de uranio natural, óxido de berilio con un agujero central de radio $R_0 = 15$ cm destinado a cámara de experimentación (con refrigerante no absorbente)*:

b (óptimo) = 8 cm; R = radio exterior = 165 cm (crítico, sin reflector); $U = 11,8$ toneladas (crítico, sin reflector); $M(OBe) = 71$ toneladas (crítico, sin reflector).

Para alcanzar un $k_{ef} = 1,03$ los tonelajes son: $U = 24,4$ toneladas (sin reflector); $M(OBe) = 146$ toneladas (sin reflector).

IV) *Reactor cilíndrico de uranio natural, berilio metálico con un agujero central de radio $R_0 = 15$ cm destinado a cámara de experimentación (refrigerante no absorbente)*: b (óptimo) = 7 cm; R = radio exterior = 167 cm (crítico, sin reflector); $U = 15,9$ toneladas (crítico, sin reflector); $M(Be) = 43,5$ toneladas (crítico, sin reflector).

Para alcanzar un $k_{ef} = 1,03$ los tonelajes resultan: $U = 47,8$ toneladas (sin reflector); $M(Be) = 131$ toneladas (sin reflector).

TAMAÑO CRÍTICO DE UN REACTOR CILÍNDRICO CON AGUJERO CENTRAL

Los resultados anteriores de los casos III) y IV) han sido obtenidos de acuerdo a la siguiente teoría para el cálculo del tamaño crítico.

Sea R_0 el radio del agujero central y R el radio exterior del reactor (extrapolado). La ecuación del flujo

$$\Delta\Phi + B^2\Phi = 0$$

poniendo

$$\Phi = \theta(r) Z(z)$$

nos da

$$\frac{1}{\theta} \left(\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} \right) = -\alpha^2; \quad \frac{1}{z} \frac{d^2Z}{dz^2} = -\beta^2$$

Original: español.

* Comisión Nacional de la Energía Atómica, Argentina.

Poniendo $u = \alpha r$ la solución es:

$$0(u) = AJ_0(u) + CY_0(u)$$

Como condiciones de contorno suponemos:

$$i) \qquad \qquad \qquad AJ_0(\alpha R) + CY_0(\alpha R) = 0 \qquad (1)$$

o sea, flujo nulo en el contorno extrapolado

$$(ii) \qquad \qquad \qquad \left(\frac{\partial \phi}{\partial r}\right)_{r=R_0} = 0$$

que equivale a suponer $\Phi = \text{constante}$ en el interior del agujero. Esta última condición se escribe:

$$AJ_0'(\alpha R_0) + CY_0'(\alpha R_0) = 0 \qquad (2)$$

De (1) y (2) se deduce:

$$J_0(\alpha R)Y_1(\alpha R_0) - Y_0(\alpha R)J_1(\alpha R_0) = 0$$

Poniendo:

$$\frac{R_0}{R} = \lambda; \qquad \alpha R = x$$

hay que hallar las raíces de la ecuación:

$$J_0(x)Y_1(\lambda x) - Y_0(x)J_1(\lambda x) = 0$$

Utilizando las tablas de Jahnke-Emde las mínimas raíces para distintos valores de λ resultan:

Tabla 2		
λ		$x = \alpha R$
0	.....	2,405
0,1	.....	2,448
0,2	.....	2,574
0,3	.....	2,78
0,4	.....	3,08

La ecuación para $Z(z)$ da $Z = C \cos \beta z$ y para que sea $Z = 0$ para $z = H/2$, siendo H la altura de la pila, debe ser:

$$\beta = \pi/H$$

Por tanto,

$$B^2 = \alpha^2 + \beta^2 = \frac{x^2}{R^2} + \frac{\pi^2}{H^2}$$

donde los valores de x/R para distintos λ están dados en la tabla 2.

Para que el volumen sea mínimo hay que hallar

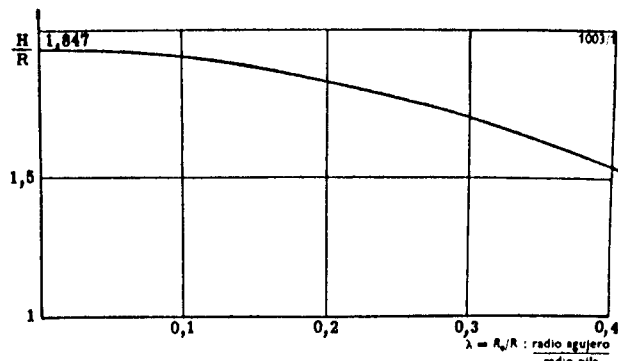


Figura 1

el mínimo de la expresión $\pi(R^2 - R_0^2)H$ con la condición

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{\pi^2}{H^2} = \text{constante}$$

Resulta fácilmente la condición:

$$\frac{H}{R} = \frac{\sqrt{2 \cdot \pi}}{x}$$

donde x toma los valores de la tabla 2 para los distintos valores de λ . Se tiene así la tabla 3:

Tabla 3		
λ		$\varphi(\lambda) = H/R$
0	.....	1,847
0,1	.....	1,815
0,2	.....	1,726
0,3	.....	1,60
0,4	.....	1,44

Con estos valores se ha construido la figura 1.

Para hallar las dimensiones críticas del reactor, de las relaciones anteriores deducimos:

$$\alpha R = \frac{\sqrt{2 \cdot \pi}}{H/R} = \frac{\sqrt{2 \cdot \pi}}{\varphi(\lambda)}$$

y por tanto

$$B^2 = \alpha^2 + (\pi/H)^2 = \frac{3\pi^2}{\varphi^2 R^2}$$

de donde

$$R = \frac{\sqrt{3 \cdot \pi}}{\varphi(\lambda) \cdot B}$$

O sea: $R =$ radio exterior (extrapolado); $R_0 =$ radio del agujero; altura del reactor $H = \varphi R = \sqrt{3 \cdot \pi}/B$.