

DETERMINACION DEL AHORRO POR REFLECTOR EN UNA FACILIDAD CRITICA

Agustín ZUÑIGA

INSTITUTO PERUANO DE ENERGIA NUCLEAR
Apdo. 1687 - Lima 13 - PERU

RESUMEN

Se ha determinado experimentalmente el valor de ahorro por reflector para el agua, en una facilidad nuclear crítica con combustible uranio enriquecido al 90^oo, a partir de la medición del laplaciano axial del sistema. Se empleó la técnica de activación de hojuelas. El resultado obtenido fue $\delta_z = 7.3 \pm 0.7$ cm. El trabajo presenta con detalle el método experimental seguido, su aplicación en la determinación analítica del grado de criticidad del sistema y en la determinación de parámetros nucleares de la misma.

ABSTRACT

The reflector saving of water at critical nuclear facility with fuel of enriched uranium 90^oo, was experimentally determined from measurement of axial laplacian. Foil activation technic was used. The result was $\delta_z = 7.3 \pm 0.7$ cm. This paper shows detailly the experimental method, the determination of the system criticality degree and that of sistem's nuclear parameters.

1. INTRODUCCION

En la actualidad es difícil encontrar trabajos sobre la determinación experimental del ahorro por reflector (δ) en un conjunto crítico, sea para el agua, grafito o berilio. No sucede lo mismo con valores procedentes de códigos de cálculo [1,2]. En éstos se observa diversos valores de δ comprendidos entre 6 y 8. La discrepancia se debe al modelo de cálculo que se elige, notándose que los que más se ajustan al valor experimental son los procedentes de métodos de multigrupos [6].

La medición de la distribución de flujo neutrónico relativo en un conjunto crítico nos permite, entre otras cosas medir el laplaciano (B^2), y a partir de allí medir δ , que

es muy importante en muchos cálculos sobre reactores [1]. Por ejemplo, permite reemplazar un núcleo reflejado por un "núcleo desnudo" equivalente, pudiéndose entonces aplicar fórmulas deducidas del análisis de estos últimos. Esta técnica facilita al experimentalista en reactores la evaluación del grado de criticidad del sistema (K_{ef}) de una manera sencilla y de muy poca discrepancia con métodos tales como el del reactímetro o el del período.

En este trabajo se da cuenta de los resultados obtenidos en la determinación del ahorro por reflector para el agua como reflector axial del conjunto crítico.

El sumo cuidado puesto en el desarrollo de la técnica experimental nos aseguró un error sistemático despreciable. Por otro lado, un ajuste preciso de los datos a la forma asintótica del flujo neutrónico nos permitirá obtener resultados muy confiables.

2. FUNDAMENTO TEORICO

En la figura N° 1 se muestra esquematizada la geometría rectangular del conjunto crítico en consideración compuesto por tres regiones según la dirección Z; dos de ellas denominadas reflectores compuestos de agua, de longitudes Z_2 ; la otra central denominada combustible compuesta por uranio enriquecido al 90% o de longitud $2Z_1$.

En la figura N° 2 se presenta la distribución del flujo con respecto a la dirección vertical del sistema. Es sabido que los flujos a dos grupos (ϕ_1 y ϕ_2) tienen la misma forma en la región asintótica [6] siendo proporcionales a

$$\cos (B_z Z) \quad (1)$$

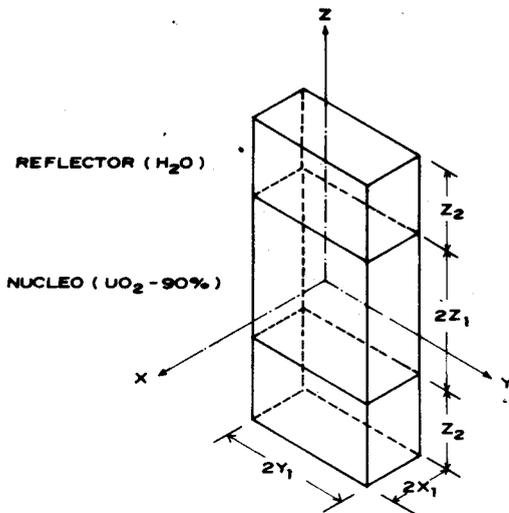


FIG. N° 1. GEOMETRIA DEL SISTEMA

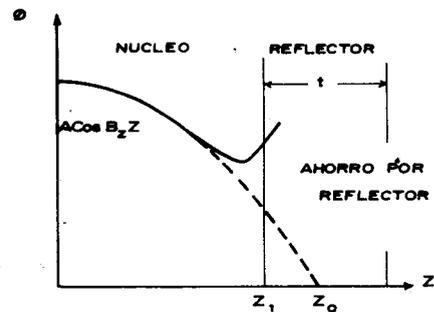


FIG. N° 2 DETERMINACION DEL AHORRO POR REFLECTOR.

donde B_z^2 es el laplaciano del sistema según la dirección Z. Esto nos dice que la curvatura del sistema en el interior de la zona central es la misma que se encontraría en un sistema crítico desnudo conformado únicamente por el material de tal zona. En la misma figura se observa que extrapolando a cero el flujo de la región asintótica, éste corta al eje Z en el punto Z_0 , por encima de Z_1 . La distancia de Z_0 a Z_1 es llamada ahorro por reflector $[\delta_z(t)]$ donde t es el espesor del reflector en consideración. El concepto de ahorro por reflector proviene del hecho de que el tamaño crítico disminuyó en una cantidad δ_z por efecto de ubicar el reflector en mención.

La extrapolación a cero matemáticamente significa hacer

$$\cos B_z (Z_1 + \delta_z) = 0 \quad (2)$$

resultando:

$$\delta_z(t) = \frac{\pi}{2B_z} - Z_1 \quad (3)$$

En el caso en que se tuvieran otros materiales como reflectores en las direcciones X e Y, pueden asignarse similarmente ahorros por reflector δ_x y δ_y respectivamente, la determinación de estos valores permitirá conocer el factor de multiplicación efectiva del sistema (K_{ef}) —grado de criticidad— mediante la relación sencilla a dos grupos para un núcleo desnudo [6].

$$K_{ef} = K_{oo} P_r P_t \quad (4)$$

donde:

$$P_r = 1/(1 + L_1^2 B^2) \text{ probabilidad de fuga rápida}$$

$$P_t = 1/(1 + L_2^2 B^2) \text{ probabilidad de fuga térmica}$$

$$K_{oo} = \frac{\nu \Sigma_{f2}}{\Sigma_{a2}} \times \frac{\Sigma_{12}}{(\Sigma_{12} + \Sigma_{a1})} + \frac{\nu \Sigma_{f1}}{\Sigma_{12} + \Sigma_{a1}} \quad (5)$$

$$L_1^2 = \frac{D_1}{\Sigma_{12} + \Sigma_{a1}}, \quad L_2^2 = \frac{D_2}{\Sigma_{a2}} \quad \text{las longitudes de difusión de dos grupos}$$

D_1, D_2 son los coeficientes de difusión [cm],

Σ_{a1}, Σ_{a2} son las secciones transversales de absorción [cm^{-1}],

$\nu \Sigma_{f1}, \nu \Sigma_{f2}$ son las secciones transversales de fisión [cm^{-1}],

Σ_{12} es la sección transversal de dispersión [cm^{-1}],

Así, queda expresado el laplaciano por la relación siguiente :

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{2X_1 + 2\delta_x} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2Y_1 + 2\delta_y} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2Z_1 + 2\delta_z} \right)^2 \quad (6)$$

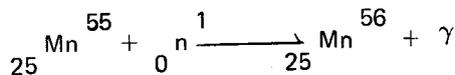
Koo y L^2 se conocen a partir de las constantes nucleares del sistema.

3. METODO EXPERIMENTAL

Experimentalmente se mide B_z . Este valor conjuntamente con Z_1 , permiten determinar δ_z a partir de la ecuación (3).

Para la determinación del valor B_z , primeramente se midió la distribución relativa del flujo, luego ajustando la distribución de flujo correspondiente a la región asintótica a una función $\cos(B_z Z)$ por el método de mínimos cuadrados se determina el mejor valor de B_z .

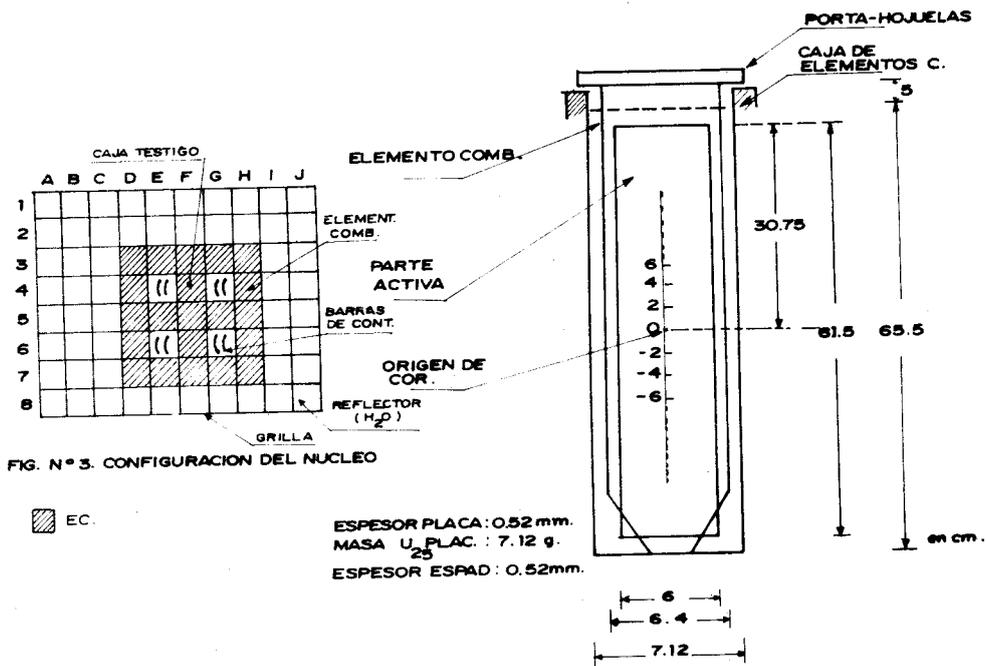
Las distribuciones relativas del flujo de neutrones en el núcleo se midieron mediante la activación de hojuelas de Manganeso (*) Mn^{55} ,



de 5.5 mm de diámetro y espesor de 160 mg/cm^2 , cubiertas por cajitas de cadmio cuyo espesor fue de 0.6 mm.

Para la irradiación de las hojuelas se fabricaron espadas de polietileno (**) de 0.5 mm de espesor, las que iban introducidas entre los elementos combustibles, apoyadas en sus aletas laterales como se observa en la Fig. N° 4. Las espadas fueron marcadas con 2 cm desde el origen que se eligió en la mitad de la longitud activa del elemento combustible. De esta manera quedó conocido el Z_1 ($= 30.75 \text{ cm}$) que será usado en la ecuación (3).

Para su correcta identificación las hojuelas estuvieron debidamente numeradas.



(*) Las hojuelas contenían Ni en una proporción del 20 % con fines a hacerlo laminable, esta no genera ningún problema porque el isótopo Ni^{64} con $\sigma_{cap} = 2 \text{ barns}$, se encuentra presente en sólo 1 %, induciendo una actividad despreciable.

(**) Por ser de similar comportamiento nuclear que el moderador (H₂O).

Las medidas se realizaron en nueve cajas de elementos combustibles, haciendo cuatro distribuciones por cada una. En cada distribución se ubicaron 27 hojuelas bajo cadmio. En una espada adicional se ubicó una hojuela con la misma composición con el propósito de usarlo como reloj radiactivo en la prefijación de los tiempos de contaje de las hojuelas.

Para la irradiación de las hojuelas se tomó la precaución de llevar a crítico al reactor siempre bajo las mismas condiciones (posiciones de barras y lecturas de cámaras en la consola de comando). Las cajas de los elementos combustibles eran tipo MTR de 19 placas de dióxido de uranio enriquecido al 90%. El tiempo de irradiación siempre fue de 40 minutos, con el reactor operando a un flujo de 8×10^7 n/cm²/seg aproximadamente. Luego se midieron las actividades relativas de las hojuelas correspondientes a la emisión γ del decaimiento del Mn⁵⁶ en el pico 846.7 keV (98,9%).

El equipo estuvo constituido por dos cadenas de detección. La primera para el reloj radiactivo constituido por un espectrómetro monocanal denominado versamatic de marca TRACERLAB y un detector de INA (TI) de ventana plana de 3" x 3". La segunda cadena, para las hojuelas, estuvo constituida por un espectrómetro monocanal denominado compumatic de marca TRACERLAB y un detector de INA (TI) tipo pozo, como se observa en la Fig. N° 5.

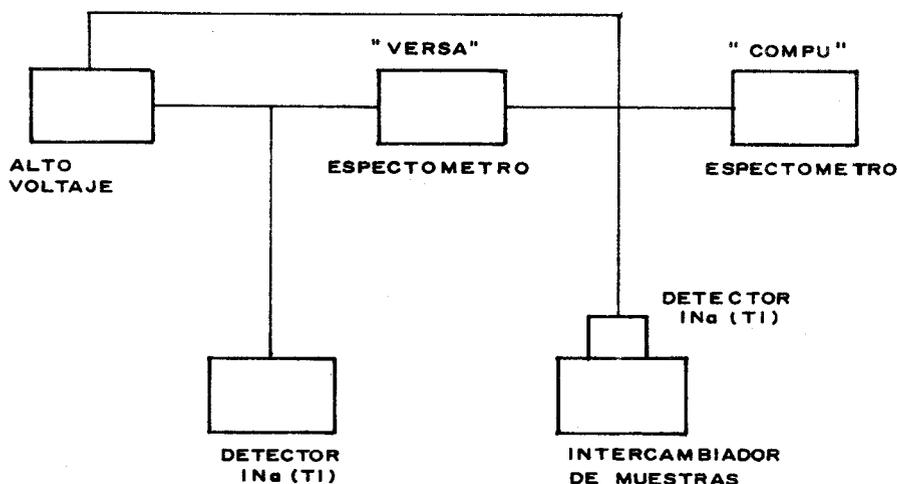


FIG. N° 5 ESQUEMA DE EQUIPO

El tiempo de medición de las hojuelas se prefija en el espectrómetro compumatic que es controlado radiactivamente por el versamatic. Esto evitó tener en cuenta la dispersión provocada por las fluctuaciones de la frecuencia de la línea y de extrapolar las actividades de las hojuelas luego de cada medición.

Las mediciones se repitieron tres veces para cada hojuela acumulándose alrededor de 3000 cuentas por minuto, dando un error estadístico de 2%. El fondo no sobrepasó las 300 cuentas por minuto dando un error acumulado menor que un 5% para cada medición. El fondo se midió intercalando entre cada cinco hojuelas una portamuestra vacía. Las medidas del fondo presentaron variaciones debido a las diferentes posiciones de la muestra considerando una variación lineal entre dos medidas. El tiempo muerto fue despreciable.

Para las hojuelas el contaje se realizó con el discriminador del espectrómetro com-pumatic en ventana abierta con un umbral de 690 keV (existían pequeños corrimientos de este valor provocados principalmente por la variación de la temperatura ambiental). De manera similar se procedió con el reloj radiactivo con un umbral de 678 keV. Estos umbrales corresponden en el espectro γ del Mn^{56} al valle contiguo precedente al foto-pico que se está considerando (846.7 keV). La estabilidad de la medición se aseguró haciendo corresponder el valle referencia al pico 661.6 keV de una fuente de Cs^{137} .

4. RESULTADOS

Los valores del ahorro por reflector obtenidos en las diversas cajas estudiadas se dan en la tabla No. 1. Se obtuvieron a partir de las distribuciones de flujo previamente simetrizadas, respecto al origen de coordenadas de la figura No. 4.

TABLA N° 1

AHORRO POR REFLECTOR DEL AGUA PARA EL CONJUNTO CRÍTICO

Caja	δ (cm)
F ₃	6.56 ± 0.60
F ₄	7.31 ± 0.63
F ₅	7.01 ± 0.62
F ₆	6.96 ± 0.61
D ₄	7.32 ± 0.63
E ₄	6.88 ± 0.61
G ₄	7.74 ± 0.55
H ₄	7.92 ± 0.65
H ₃	7.70 ± 0.64
	$\delta_z = 7.3 \pm 0.7$ cm

5. DISCUSION

En la figura N° 6 se observa cómo los datos son asimétricos respecto al origen adoptado, razón por la que promediamos los valores entre las cotas $+X_i$ y $-X_i$ para eliminar esta asimetría; en efecto se tiene:

$$\cos B_z (Z + \epsilon) = \cos B_z Z \cdot \cos B_z \epsilon - \sin B_z Z \sin B_z \epsilon$$

Al promediar desaparece el segundo término del segundo miembro, sobre los cuales se hace el ajuste para determinar el laplaciano y posteriormente el ahorro por reflector.

Para cada caja estudiada se hizo un gráfico similar a la figura N° 6 cuyos resultados han sido tabulados en la tabla N° 1. El resultado obtenido está entre los márgenes usualmente tomados en los códigos de cálculo, y prácticamente coincide con los resultados que

obtuvieron RICABARRA y colaboradores [4].

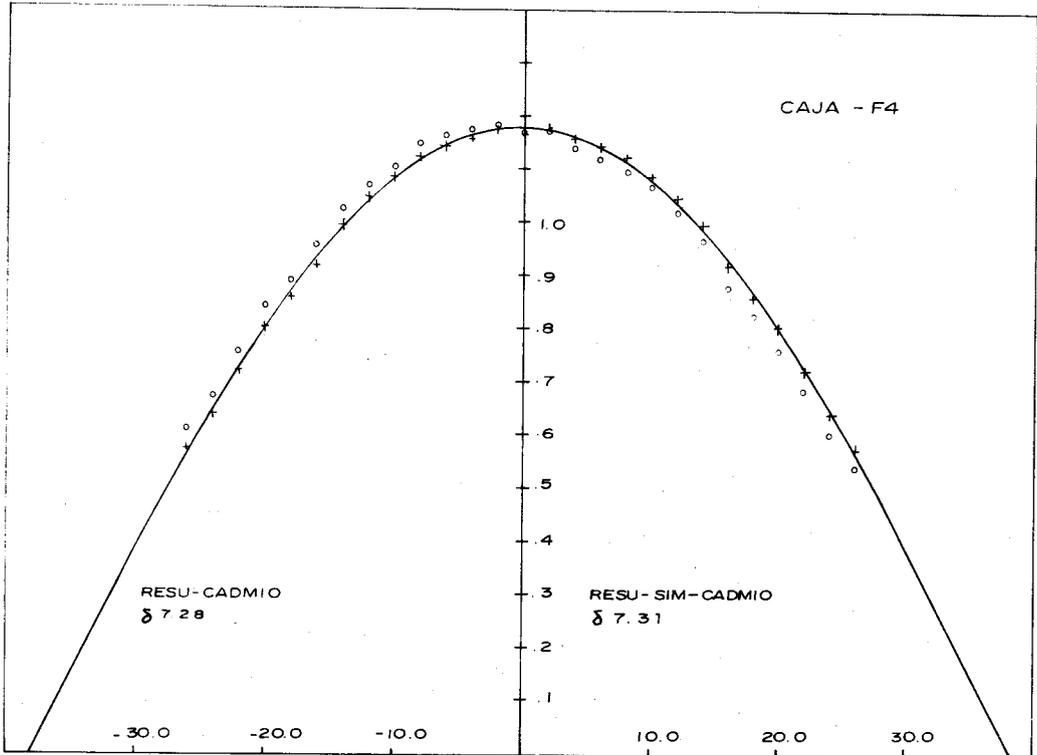


FIG. N° 6. DISTRIBUCION RELATIVO DEL FLUJO

El conocimiento del ahorro por reflector nos puede permitir determinar el grado de criticidad del sistema. Para ello determinamos el valor del laplaciano usando la ecuación (6) escrita en la forma siguiente y referida a la fig. N° 3.

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{na + 2\delta_x} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{mb + 2\delta_y} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{H + 2\delta_z} \right)^2 \quad (7)$$

donde:

a.b.H : dimensiones de un elemento combustible para el sistema en consideración.

n.m : número de cajas en la dirección X.Y

$\delta_x, \delta_y, \delta_z$: ahorro por reflector para dichas direcciones.

nuestro sistema estuvo reflejado totalmente por el agua, ésto es que $\delta_x = \delta_y = \delta_z = \delta_{H_2O}$

Con las dimensiones geométricas del sistema [1] $a = 7.7$ cm, $b = 8.225$ cm y $H = 61.5$ cm; $n = 5$ y $m = 5$ el laplaciano resulta $B^2 = 0.00838$ cm⁻². Con los parámetros nucleares de [1] $D_1 = 1.452$ (0), $D_2 = 2.827$ (-1), $\Sigma_{a1} = 4.806$ (-3), $\Sigma_{a2} = 9.242$ (-2), $\Sigma_{12} = 2.480$ (-2), $\nu\Sigma_{f1} = 4.375$ (-3) y $\nu\Sigma_{f2} = 1.626$ (-1) resulta (de la ecuación (5)) $k_{oo} = 1.6217$ y finalmente se obtiene un grado de criticidad $K_{eff} =$

1.121. Esto quiere decir que el núcleo cuenta con un exceso de reactividad ($\rho_{ex} = 1 - 1/k_{ef}$) de 10750 pcm.

Por otro lado la ecuación (4) se puede aproximar para núcleos grandes con $B^2 \approx 0.01$ y $L_1^2 \times L_2^2 \times B^2 \ll L_1^2 + L_2^2$ como en el caso del RP - 10 :

$$\frac{1}{k_{ef}} \approx \frac{1}{k_{oo}} + \left(\frac{L_1^2 + L_2^2}{k_{oo}} \right) B^2 \quad (8)$$

Entonces por un buen ajuste del valor experimental de $1/k_{ef}$, éste suministrará valores de parámetros nucleares del reactor y permitirá observar cuan bien los resultados experimentales se ajustan a los calculados. Esta recta permitirá además extrapolar resultados obtenidos a núcleos sobre los que no se pueden realizar mediciones por tener demasiado exceso de reactividad (por ejemplo un núcleo de 5 x 6).

6. CONCLUSIONES (caso RP10)

1. La dispersión mostrada en los resultados indican la dificultad de la medición del ahorro por reflector de manera experimental.
2. La determinación del ahorro por reflector permite calcular el grado de criticidad (k_{ef}) del conjunto de manera sencilla, con una discrepancia del 20% respecto de resultados procedentes de métodos comunes como el del reactímetro y el del período.
3. La determinación experimental de k_{ef} y B^2 nos pueden suministrar valores de parámetros nucleares del reactor los cuales nos permiten observar cuan bien los resultados experimentales se ajustan a los calculados.

REFERENCIAS

1. "Informe Preliminar de Seguridad del RP-10". CNEA, Buenos Aires, 1980.
2. "Análisis Neutrónico y termohidráulico del reactor C.E.N.E.", Madrid, 347-I, 1976.
3. Lederer C. M. Editors, "Table of Isotopes". 7a. Edition, John Wiley & Sons Inc. New York, 1978.
4. Ricabarra D. et al, "Medición del Laplaciano de un reticulado de U-420 con tubos conteniendo polvo de U₃O₈ enriquecido al 20%/o". CNEA, Buenos Aires, 1960.
5. Profio, A. E., "Experimental Reactor Physics", John Wiley & Sons. New York, 1976.
6. Henry A. F. "Reactor Analysis". Masachussets Institute Tecnology, 1975.

Determinación del ahorro por reflector en una facilidad crítica por Agustín Zuñiga se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Basada en una obra en Informe Nuclear, Tomo I, No. 1 p. 63-70.