

| | |
|------------------------|------|
| C. N. E. A. Biblioteca | |
| ARCHIVO PUBLICACIONES | |
| Nº | AÑO |
| 1 | 1981 |

02.81.02

71

DETERMINACION DE AUTOVALORES α Y κ DEL SISTEMA SUB-
CRITICO ECl (N&R/CAB)

J.LOLICH y H. BOADO

Se han determinado experimentalmente y por cálculo los autovalores α y κ (constante de decaimiento del modo fundamental de los neutrones instantáneos y factor de multiplicación estático, respectivamente), para un sistema altamente subcrítico ($\rho < -1000\%$), compuesto por un elemento combustible tipo Atucha moderado con D₂O. Experimentalmente se utilizó la técnica de fuente pulsada, interpretándose los resultados con teorías desarrolladas en principios para sistemas multiplicativos cercanos a crítico. Los resultados experimentales fueron comparados con los del código de transporte DTF-IV, utilizándose las secciones eficaces de la biblioteca GGC-3. El acuerdo entre experiencia y cálculo fue excelente, con lo cual puede concluirse que la teoría utilizada para interpretar los resultados puede ser aplicada a sistemas altamente subcríticos. Se determinó la sensibilidad de los métodos empleados estudiando un sistema subcrítico con H₂O como moderador, obteniéndose nuevamente un excelente acuerdo entre experimento y cálculo.

Los resultados obtenidos permiten concluir que un sistema altamente subcrítico, el cual es evidentemente de bajo costo, es apto para el estudio y/o verificación de la bondad de distintos códigos y/o datos nucleares básicos, usualmente utilizados para la evaluación de ciertos parámetros de reactores de potencia.

INTRODUCCION.-

La determinación experimental de la reactividad de sistemas multiplicativos cercanos a crítico por el método de fuente pulsada, ha sido estudiado por varios autores, concluyendo alguno de ellos que no es posible dicha determinación experimental en forma inequívoca en sistemas con reactividades menores de 10%.

A fin de verificar dicha conclusión se presenta un estudio experimental y de cálculo realizado en un sistema altamente subcrítico ($\rho < -1000\%$). El

metodo experimental utilizado está basado en la inyección en forma repetitiva de pulsos de neutrones en el sistema a estudiar, determinándose la variación temporal de la densidad neutrónica térmica del espectro de equilibrio de dichos neutrones en el sistema. Dado que el pulso de electrones utilizado, y por ello el pulso de neutrones, se aproximaba a una función delta, la respuesta temporal del sistema era esencialmente la función de Green del mismo, a partir de cuyo decaimiento exponencial es posible obtener la constante de decaimiento del modo fundamental de la densidad neutrónica (autovalor α). Dado que dicho autovalor es directamente comparable con el obtenido por cálculo, es posible una verificación del método de cálculo y/o experimental utilizado sin las omibguedades introducidas por el método de reducción de datos utilizados al evaluar la reactividad del sistema. Por todo ello, en el presente trabajo, no sólo se ha determinado el factor de multiplicación, sino que además, se determinó la constante de decaimiento del modo fundamental de la densidad neutrónica.

TEORIA.

Para la interpretación de nuestro experimento, en el cual se determinaba la respuesta temporal del sistema, era necesario un método teórico que permitiese relacionar dicha respuesta temporal con la reactividad del sistema. Los métodos al presente desarrollados están basados en las ecuaciones de cinética puntual. Dado que experimentalmente, tanto la fuente neutrónica como el detector están localizados en algún punto del sistema, efectos espaciales que no están tenidos en cuenta es estas ecuaciones estarán presentes, por ello la reactividad obtenida será función de la posición del detector y/o fuente. A fin de minimizar este efecto espacial, distintos métodos teóricos han sido desarrollados los cuales pueden resumirse en dos básicos: el método 'GO' de Gozani /1/ y el método 'GR' de Garelis y Russell /2/. En ambos se asume válida la teoría de difusión de un grupo, con 'm' grupos de neutrones retardados y sistema desnudo; si bien en nuestro sistema dichas aproximaciones no son rigurosamente válidas, la aplicabilidad de ambos métodos ha sido demostrada ser mucho mayor que la de las teorías utilizadas para obtenerlos. Se asume además que la frecuencia de repetición de la fuente es mucho mayor que la constante de decaimiento de los precursores de neutrones retardados y mucho menor que la constante de decaimiento del modo fundamental de los neutrones instantaneos.

No hay restricciones en cuanto a la variación de la vida media de los neutrones en el medio con la reactividad y no es necesaria una medición auxiliar en estado crítico ("delayed critical").

DESCRIPCION DEL SISTEMA EXPERIMENTAL (Fig. 1).

El sistema experimental estaba compuesto por un recipiente de acero inoxidable de 50 cm de alto y 36 cm de diámetro, rodeado por cadmio y blindado con parafina borada. El elemento combustible (tipo Atucha), consistía en 37 barras de UO_2 (nat.), distribuidas en tres anillos concéntricos alrededor de una barra central. Como moderador se utilizó D_2O (99,41%, molar).

El sistema multiplicativo era excitado por un espectro neutrónico aproximadamente de fisión resultante de la incidencia del haz de electrones del Linac del CAB sobre un blanco pesado. Las características del pulso de electrones eran: frecuencia de repetición 200 pps; ancho medio del pulso de electrones 150 nseg.; corriente media de electrones 10 μA . A fin de minimizar los efectos de tiempo muerto de la electrónica causado por el gamma flash del pulso de electrones y evitar la producción de neutrones en el sistema por reacciones (γ, n) en el deuterio, el eje de simetría del sistema experimental se localizó a 90° respecto al haz de electrones.

La respuesta temporal del sistema fue determinada utilizando una cámara de fisión miniatura de U^{235} . Dada la baja multiplicación del sistema, la densidad de neutrones retardados y por ello el contaje correspondiente a dichos neutrones era muy bajo, lo cual motivó la necesidad de una técnica especial a fin de no detectar pulsos provenientes de ruidos electrónicos introducidos por el funcionamiento del Linac. Para ello se colocó en el sistema una cámara de fisión de U^{238} ; aquellas corridas en las cuales eran detectadas cuentas por este detector no eran acumuladas.

METODO EXPERIMENTAL.

Salvo por la presencia de los neutrones retardados, la determinación experimental de la respuesta temporal de la densidad neutrónica térmica de un sistema subcrítico no difiere fundamentalmente de la de sistemas conteniendo moderador puro, por lo cual el método experimental aplicado para reducir los datos y obtener la constante de decaimiento del modo fundamental es el mismo que el descrito en estudios anteriores realizados

en la División Neutrones y Reactores del CAB en sistemas moderadores puros.

A fin de estudiar la influencia de armónicas superiores en la determinación de la constante de decaimiento, esta fue determinada experimentalmente para 12⁷ posiciones distintas del detector dentro del sistema, estudiándose además la independencia espacial de la relación entre la densidad neutrónica del modo fundamental para tiempo cero, respecto al fondo constante de neutrones retardados. Esto fue realizado, dado que si bien las condiciones del sistema pueden ser tales que la superposición de distintos modos de la misma constante de decaimiento, la relación estudiada debe ser distinta, dado que es distinta la magnitud de cada modo con la posición dentro del sistema.

Las posiciones estudiadas fueron: $Z=15.25$ y 33 . cm y $r=0.$; 1.6 ; 3.03 ; y 4.01 cm. La posición más favorable, en cuanto a independencia de las magnitudes estudiadas e intensidad neutrónica, se halló para $r=0$. cm y $z=25$. cm. Se modificó además la posición relativa de detector y fuente, no encontrándose diferencias en los resultados dentro del error experimental. En la fig. 2 puede observarse la respuesta temporal de la densidad neutrónica térmica del sistema subcrítico estudiado.

El fondo de neutrones retardados fue determinado como el valor medio del número de cuentas en los canales finales. Además, se lo determinó a partir del número de cuentas detectadas en un intervalo temporal próximo al siguiente disparo del Linac (escalímetro con compuerta adecuada). La coincidencia entre ambas determinaciones fue siempre mejor que el error experimental (1%), lo cual permite asegurar, dados los intervalos temporales distintos de ambas determinaciones, que el fondo de neutrones retardados era constante en el tiempo. Constancia necesaria para la obtención de la reactividad del sistema.

Dada la baja multiplicación del sistema, la velocidad de conteo correspondiente a neutrones retardados era muy baja, por ello el fondo ambiente, normalmente bajo en experiencias con Linac, podía introducir incertezas apreciables en nuestros resultados. A fin de determinar dicho fondo ambiente se midió la respuesta temporal del sistema sin el elemento combustible (moderador puro), lo cual permitió además obtener el fondo ambiente, obtener la constante de decaimiento del modo fundamental para el moderador puro y verificar con ello el método experimental y de cálculo utilizado.

METODO DE CALCULO (Fig. 3).

El cálculo de los autovalores α y κ del sistema estudiado experimentalmente fue realizado con el programa unidimensional, multigrupos, S_N , P_L , DTF-IV, versión NYR230.

Dada la baja multiplicación del sistema estudiado, los neutrones retardados no fueron considerados al realizar el cálculo, tampoco fueron tenidos en cuenta en los cálculos a 8 zonas, los materiales de las vainas de las barras combustibles, ya que en vistas de su pequeño espesor y dada sus secciones eficaces, su efecto en los parámetros estudiados se podía asumir pequeña. Estas dos aproximaciones permitieron simplificar el cálculo y aumentar el número de intervalos espaciales y grupos energéticos considerados.

Como datos nucleares básicos se utilizaron los de la biblioteca GGC-3. El esquema de cálculo se guido puede verse en la fig. 3. A partir de los datos nucleares básicos en 200 grupos finos (101 térmicos y 99 rápidos), de la biblioteca GGC-3, se obtuvieron para 32 grupos gruesos (19 rápidos y 13 térmicos) las constantes de grupo en aproximación P_0 ; como espectro de peso al realizar la condensación^o (código NYRGROUP) se utilizó uno de "Horowitz y Tretiakoff" en la zona térmica y una combinación de uno $1/\xi \times \Sigma_s(E) \times E$, más otro de fisión en la zona rápida (código GRUCOM). Para los cálculos en 8 zonas espaciales se consideraron dos materiales, combustible y moderador puro; para los cálculos en 2 zonas se definió una central compuesta por moderador y combustible y otra exterior de moderador puro. En ambos casos para el D_2O (99,41% molar) fue considerada una concentración equivalente de H_2O en lugar del HDO.

Estudios previos realizados en la División Neutrones y Reactores del CAB permiten estimar que las diferencias obtenibles al considerar en el cálculo otras aproximaciones, como ser: más intervalos espaciales, aproximación P_1 , aproximación S_8 , etc., no introducen modificaciones apreciables en los resultados. Actualmente se está implementando la "aproximación extendida de transporte" a fin de utilizarla en los cálculos de espectros neutrónicos a realizarse en sistemas de este tipo.

En los cálculos realizados con el código

cero-dimensional CAGE (método de la frecuencia de colisión) se utilizaron 30 grupos de energías térmicas; la sección eficaz correspondiente al acople entre energías térmicas y rápidas (sección eficaz de "up scattering"), fue restada de la de dispersión y sumada a la de absorción. Como fuente de moderación se utilizó la de la GGC-3.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES.-

En la Tabla I se han tabulado los distintos resultados experimentales y de cálculo obtenidos en el presente trabajo. A partir de ellos se observa que el acuerdo entre experiencia y cálculo es excelente.

El estudio experimental y por cálculo del mismo sistema experimental pero con H₂O como moderador fue realizado a fin de estudiar la sensibilidad del método y verificar que el buen acuerdo obtenido para el sistema moderado por D₂O no fuese un caso fortuito.

El resultado experimental para el factor de multiplicación fue obtenido a partir del valor medio entre las reactividades calculadas utilizando los métodos de reducción de datos 'GO' y 'GR', ya que ha sido demostrado por Gozani que el comportamiento de ambos métodos ante la presencia de armónicas es opuesto, por lo cual el valor real estará entre ambos valores si bien no es necesariamente el valor medio. El error fue obtenido a partir de la dispersión entre ambos métodos respecto al valor medio asumido. Dicha dispersión resultó ser mayor que el error estadístico de cada método.

Los resultados experimentales y de cálculo obtenidos para el sistema experimental con moderador puro fueron comparados con los medidos (método de fuente pulsada), y calculados (código CAGE, con datos nucleares básicos de la biblioteca ENDF/GASKET), por el Dr. Abbate al realizar su tesis doctoral. El acuerdo hallado fue excelente para los dos moderadores utilizados.

El error del cálculo se estimó a partir de la dispersión entre los valores obtenidos al realizar el cálculo con distintas aproximaciones.

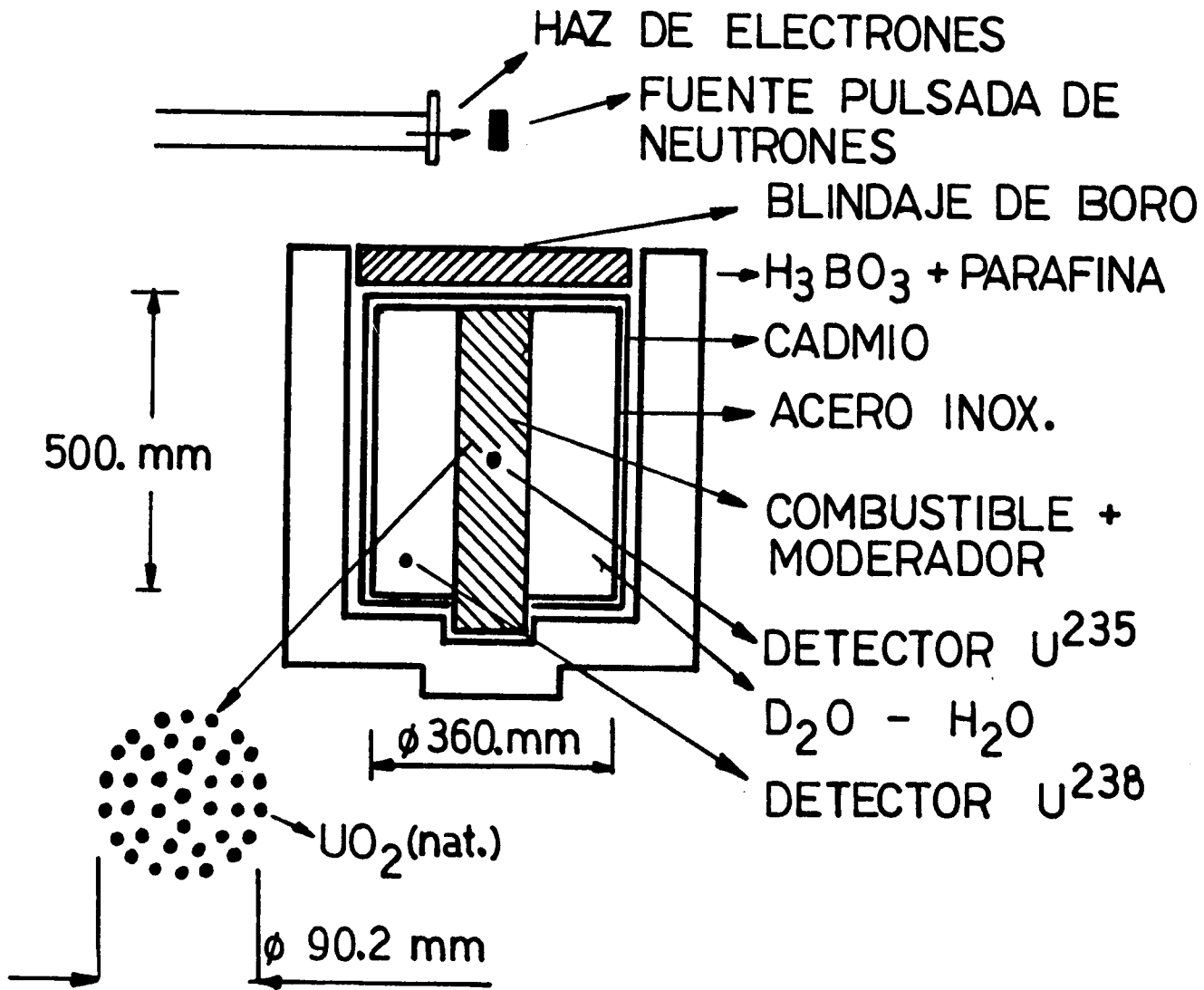
A partir del estudio realizado puede concluirse que el rango de reactividades negativas, en el cual los métodos 'GO' y 'GR' son aplicables, es mucho mayor que el previamente extrapolado por otros autores, si bien el método experimental requiere largos tiempos de medición y un cuidadoso análisis del método y sistema experimental utilizado.

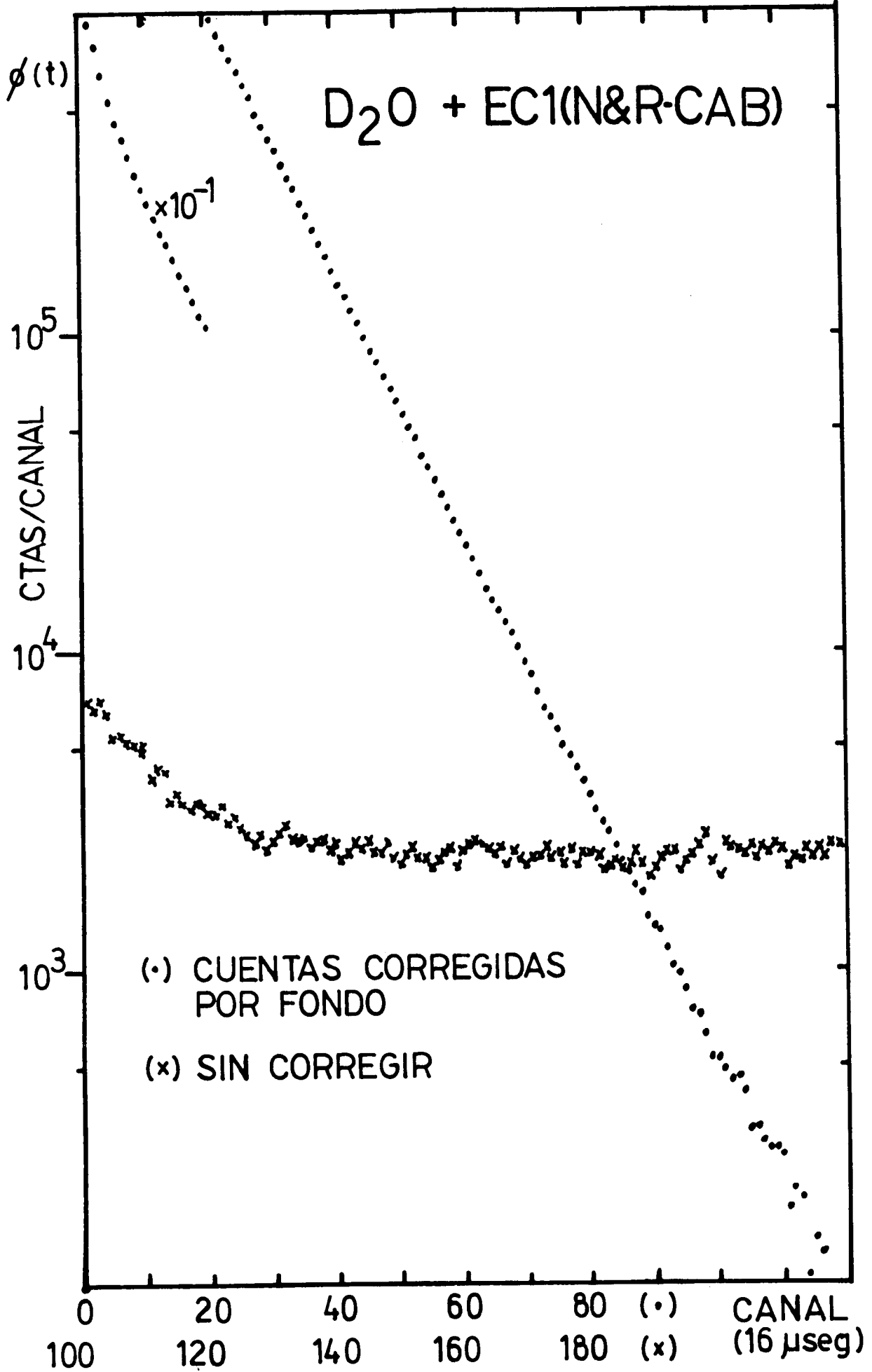
El presente trabajo demuestra además que es posible, con un sistema subcrítico de bajo costo como es el utilizado, estudiar la bondad y/o sensibilidad de los distintos métodos de cálculo y/o datos nucleares básicos, usualmente utilizados para evaluar, por ejemplo, la variación y/o sensibilidad de ciertos parámetros neutrónicos ante distintas disposiciones de los elementos combustibles, distintos moderadores y/o distintas combinaciones de moderadores; distintos enriquecimientos en U^{235} y/o Pu^{239} , etc. Así, por ejemplo, ha sido sugerido enriquecer el combustible de la Central Nuclear de Atucha al 0,9% en U^{235} , a fin de aumentar el quemado de 5330 MWd/ton actual a 11.000 MWd/ton. Colocando pastillas combustibles con dicho enriquecimiento en nuestro sistema experimental se obtendría variaciones de los autovalores α y κ mayores que los errores experimentales, lo cual permitiría una verificación de los métodos de cálculos y/o datos básicos utilizados para evaluarlos. Es claro que experiencias como la descrita en este trabajo no se consideran suficientes para obtener la capacidad experimental completa requerida para el estudio del enriquecimiento de centrales de potencia, pero es evidente que ellas deberían formar parte de cualquier programa experimental que se realice para satisfacer este requerimiento.

El presente trabajo forma parte del "Plan de Investigaciones Neutrónicas en Combustibles Nucleares" que se está llevando a cabo en la División Neutrones y Reactores del CAB, bajo los auspicios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (pr. No. 021/78) y la National Science Foundation (Grant No. INT/7821371).

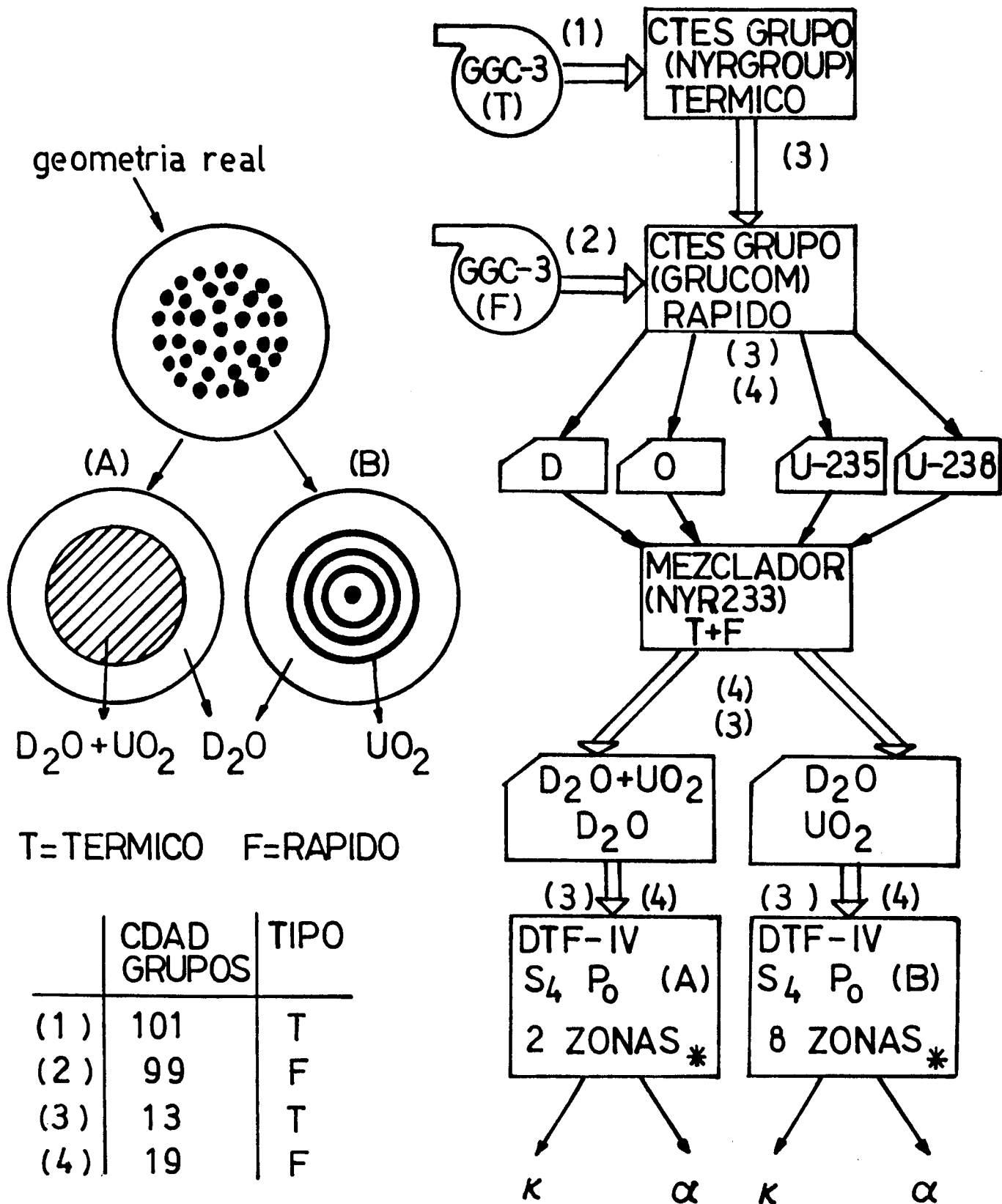
REFERENCIAS.

- /1/ Gozani, T.: "The Theory of the Modified Pulsed Source Technique" EIR Bericht Nr. 79, April 1965.
- /2/ Garelis, E. and Russell, J.: "Theory of Pulsed Neutron Source Measurements", Nuclear Science & Engineering, 16, 263 (1963).





ESQUEMA DE CALCULO



* 50 intervalos espaciales

TABLA I RESULTADOS

| SISTEMAS ESTUDIADOS | α | | | | k | | |
|----------------------------|---------------------|---------------|-----------|--------|---------------|---------------|-------------------|
| | EXPERIM. (seg-1) | Δ % | CALCULO | | EXPERIM. | Δ % | CALCULO DTF-IV |
| | | | (seg-1) | CODIGO | | | |
| D ₂ O (1) | 4499 ± 11 | 0.4 | 4515 ± 23 | CAGE | — | — | — |
| D ₂ O + EC1 (2) | 5915 ± 37 | 5 | 6194 ± 27 | DTF-IV | 0.111 ± 0.004 | 7 | 0.103 ± 0.001 |
| H ₂ O (1) | 5635 ± 87 | 3 | 5790 ± 28 | CAGE | — | — | — |
| H ₂ O + EC1 (2) | 5758 ± 98 | 10 | 6343 ± 40 | DTF-IV | 0.30 ± 0.03 | 7 | 0.29 ± 0.03 |

(1) moderador puro (2) moderador mas combustible UO₂ (nat.)

$\Delta = (\text{calculo} - \text{experimento}) / (\text{valor medio})$