

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| C.N.E.A. Biblioteca   |             |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |             |
| NO<br>1               | AÑO<br>1967 |

02.67.13

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
GERENCIA DE ENERGIA

Comisión Nacional de Energía Atómica  
BIBLIOTECA

Física de Reactores  
NEUTRONES PULSADOS

Informe Nº 3

Enero-Abril 1967

Pieroni N.-Rapoport H.- Ricabarra G.

CNEA-Re-22

PROGRAMA DE REACTORES

Física de Reactores  
NEUTRONES PULSADOS

Informe Nº 3

Enero-Abril 1967

Pieroni N.-Rapoport H.- Ricabarra G.

## SINTESIS

Se tiene operando un código para el cálculo mediante computadora de la constante de decaimiento, según método de cuadrados mínimos. Otro código determina reactividades según métodos de Garellis-Russell y Gozani, siendo necesario aún efectuarle ligeras correcciones.

Han sido medidas las constantes de decaimiento para distintas configuraciones de interés teórico. Se observó la perturbación que el detector introduce en estas mediciones según su tamaño y distancia al núcleo.

Se determinó el flujo neutrónico transversal en cajas de elementos combustibles provistas de barras especiales de control.

### CONSIDERACIONES GENERALES

Ha sido redactado y se encuentra en operación un código para calcular-mediante computadora- la constante de decaimiento del modo fundamental de los neutrones instantáneos ( $\alpha$ ) en experiencias con fuente pulsada. El cálculo se basa en el método de cuadrados mínimos. Como datos ingresan a la computadora el número de neutrones detectados en cada canal <sup>del</sup> analizador multicanal, la duración temporal de cada uno de ellos ("ancho de canal") y del canal que mide el "fondo". Se deja transcurrir un tiempo después de finalizado el pulso de neutrones ("retardo inicial", equivalente a una cantidad de primeros canales que no se toman en cuenta) y se realiza el ajuste, pesando cada lectura con cuatro distintas funciones de peso. Luego se va aumentando progresivamente el retardo inicial y repitiendo el cálculo. De ésta manera se obtiene una serie de valores de  $\alpha$  para cada retardo inicial y cada función de peso. Dependiendo de que en la parte inicial de la curva-respuesta del sistema pulsado predominen términos armónicos positivos ó negativos, los valores de  $\alpha$  para retardos iniciales pequeños resultarán mayores ó menores respectivamente que el valor correcto. Cuando los retardos llevan a tomar para el cálculo lecturas correspondientes a la zona desprovista de contaminación armónica, donde subsiste únicamente el modo fundamental puro, se obtendrán los valores correctos, reconocibles porque:

- 1) se repiten con varios retardos sucesivos para cada función de peso.
- 2) en ese intervalo de retardos también coinciden para distintas funciones de peso.

- 3) presentan las menores desviaciones standards en esa zona.
- 4) para mayores retardos iniciales los valores de  $\infty$  van siendo progresivamente menores, indicando la presencia de neutrones retardados correspondientes a la parte final de la curva-respuesta.

Este código, denominado ANA-III, redactado en lenguaje FORTRAN IV, se procesa actualmente en la computadora BULL de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF). Otra versión en FORTRAN IV, ligeramente diferente a la anterior, permite su procesamiento en la IBM/360 del Banco Central. Finalmente una versión en FORTRAN II puede ser utilizada en la pequeña computadora del Instituto Geográfico Militar, pero en éste caso el tiempo de cálculo es bastante mayor que para las dos primeras.

El ANA-III evita el lento y tedioso problema de determinar  $\infty$  gráficamente ó analíticamente mediante métodos manuales, que insumía la mayor parte del tiempo dedicado a las experiencias (1). Resta aún como inconveniente el tiempo que demanda preparar (perforar) las tarjetas de datos, pero se preveó que ésta dificultad se obviará cuando YPF incorpore a su computadora la unidad lectora de cinta. Se podrá entonces entregar datos utilizando la unidad impresora de que está provisto el multicanal, adecuándole convenientemente el código de perforación.

También se ha redactado y se halla en operación un código -ANA-II- para la determinación de reactividad según los métodos de Garrelis-Russell (2) y Gozani (3). Es necesario aún introducirle mo-

dificaciones para lograr su funcionamiento óptimo. No obstante no hallarse aún a punto, se presentan los resultados obtenidos a fin de mostrar el grado de concordancia de éstos valores entre sí y señalar las desviaciones a corregir.

ANA-II en sus dos versiones en FORTRAN-IV se puede procesar en la Bull de YPF é IBM/360 del Banco Central.

En una anterior determinación del flujo transversal de neutrones en una caja de elementos combustibles provista de barra de control se obtuvo una dispersión anormal en los resultados (4). La medición se realizó nuevamente, incluyendo también una nueva con otra barra especial de control, lográndose mejores resultados.

Dado el interés teórico en verificar los métodos de cálculo empleados para el estudio de distintas configuraciones subcríticas, se midieron las constantes de decaimiento de varios núcleos reflejados totalmente con  $H_2O$ . En ésta serie de experiencias fué posible observar la perturbación que introduce el detector en las medidas según su tamaño y su ubicación respecto al núcleo.

#### RESULTADOS OBTENIDOS

Para la determinación de las constantes de decaimiento de distintos núcleos reflejados totalmente con  $H_2O$ , se emplearon dos detectores, que denominaremos det I y det II, cuyas características se dan a continuación:

det I : Contador proporcional  $BF_3$ , 20<sup>th</sup> Century Electronics, 107EB70/50G  
diámetro : 2,5 cm

longitud activa : 12 cm  
longitud total : 22 cm  
volumen total : 108 cm<sup>3</sup>

det II : Contador proporcional BF<sub>3</sub> , 20<sup>th</sup> Century Electronics  
, 107EB70/50G.

diámetro : 5.0 cm  
longitud activa : 107 cm  
longitud total : 119 cm  
Volumen total : 2.335 cm<sup>3</sup>

Como se aprecia de las respectivas dimensiones, el tamaño del det I es bastante menor que el del det II.

$$\frac{\text{Volumen det II}}{\text{Volumen det I}} \cong 22$$

Para preservarlos del líquido moderador, los detectores se introducen al sistema dentro de cilindros de aluminio. Luego los detectores con sus protecciones correspondientes equivalen a volúmenes de "vacío" algo mayores que los dados más arriba, especialmente en el caso del det II. En las experiencias que se reseñan a continuación se pudo apreciar la influencia de éstos vacíos en la determinación de los alfas.

En Fig. 1 se muestra esquematizada una vista superior del núcleo compuesto por 4 filas de 4 cajas de elementos combustibles cada una, reflejada totalmente con H<sub>2</sub>O. Se presentan los valores obtenidos de  $\alpha$  ( en seg<sup>-1</sup> ), calculados con el código ANA-III, en las en las distintas posiciones. Dentro de los recuadros correspondien-

tes a posiciones sobre la grilla, los valores en la parte superior corresponden a mediciones efectuadas con det I (pequeño) y en la inferior con det II (grande).

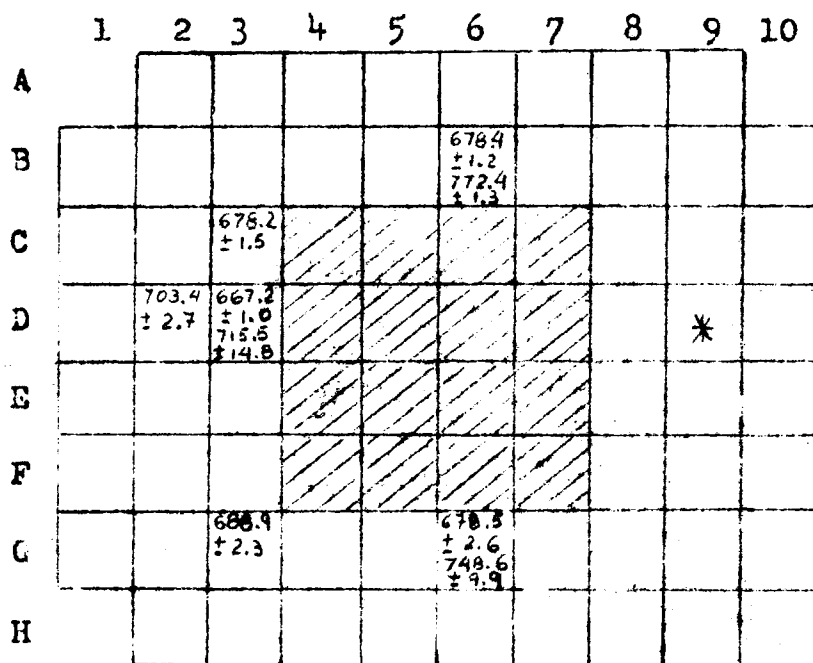


Figura 1



Caja de elementos combustibles .



fuentes pulsada de neutrones.



valores medidos de  $\alpha$  ( $\text{seg}^{-1}$ ) .



Se observa que las determinaciones con det I no difieren más del 3% respecto al valor medio. Para el det II los valores son algo superiores, indicando la influencia de su tamaño en la reactividad del sistema para posiciones cercanas al núcleo.

En la fig. 2 se muestran los resultados cuando se retira del núcleo la caja de elementos combustibles correspondiente a la posición E6.

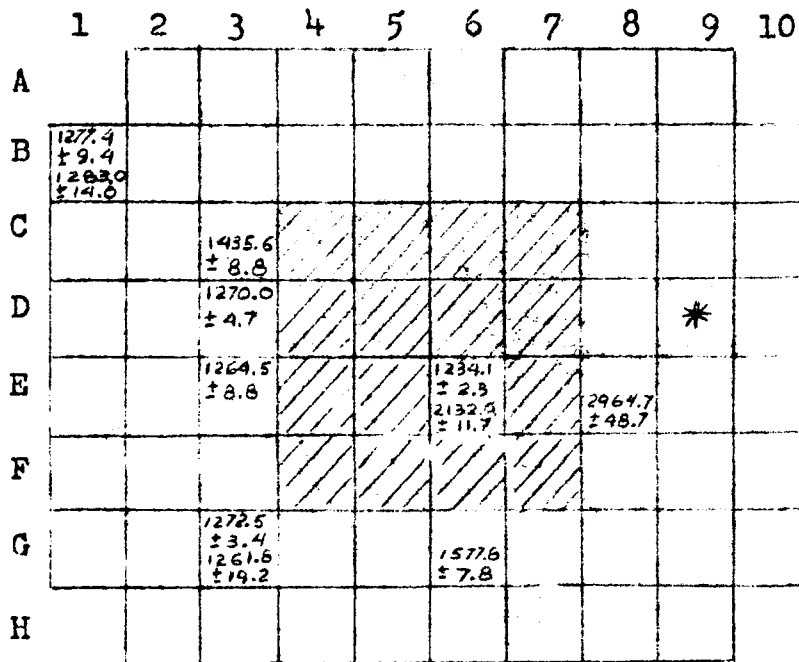


Figura 2

En éste caso los valores con det I prácticamente coinciden - desviaciones inferiores al 1% respecto al valor medio - para posiciones alejadas del núcleo ( B1,G3 ), cercanas al mismo ( D3,E3 ) y aún dentro del núcleo ( E6 ). En cambio para det II los valores coinciden con det I lejos del núcleo ( B1,G3 ), resultan superiores cerca del mismo ( C3,G6 ) y mucho mayor dentro del mismo ( E6 ). Se observa

claramente como aumenta  $\propto$  a medida que det II aproxima ó introduce en el núcleo la perturbación de su vacío equivalente. Otra determinación con éste mismo detector en E8 provee un valor un valor completamente distorsionado por la cercanía al núcleo y a la fuente pulsada, indicando la existencia de fuerte contaminación armónica en esa zona.

Para el caso de Fig. 3 la caja de elementos combustibles correspondiente a la posición E6 ha sido permutada a la E3.

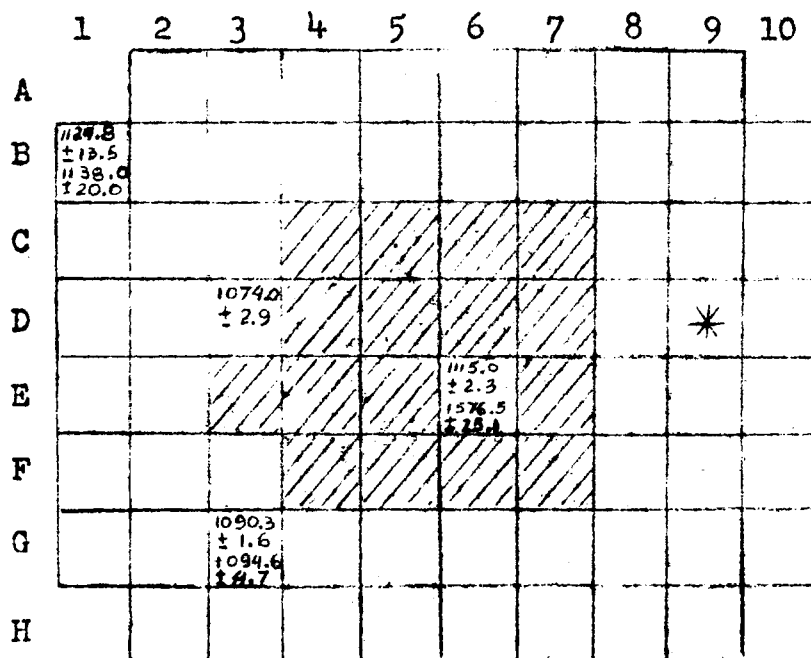


Figura 3

Los valores con det I varían con respecto al valor medio en menos del 2,5 %. Nuevamente los valores del det II y det I coinciden para situaciones alejadas del núcleo ( B1, G3 ) pero dentro del mismo

( E6 ) es otra vez apreciablemente mayor el del det II.

En la Fig. 4 el núcleo está desprovisto de la caja de elementos combustibles correspondiente a E<sup>4</sup>.

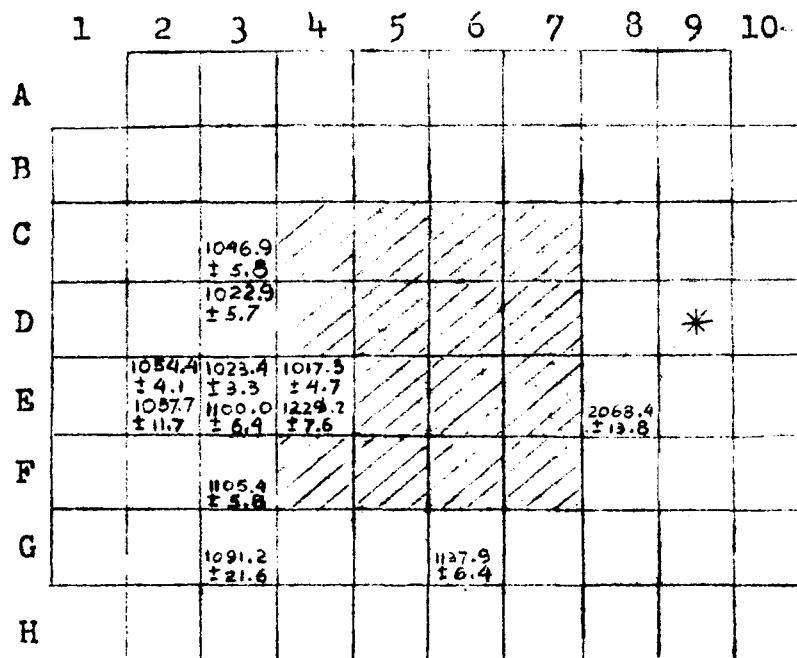
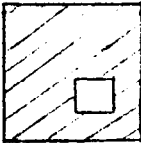


Figura 4

Con det I las desviaciones con respecto al valor medio son inferiores al 2,5 %. Coinciden det I y det II alejados del núcleo ( E2 ), es algo mayor el det II cerca del mismo ( C3,E3,F3,G6 ) y en E<sup>4</sup> la diferencia es aún más grande.

La influencia del det II en la medición de  $\infty$  se observó directamente midiendo con det. I el núcleo desprovisto de la caja de elementos combustibles E<sup>6</sup>. con y sin det II introducido en esa posición. Los resultados se muestran en Tabla 1 .

Tabla 1

| Núcleo                                                                            | pos det I | pos det II      | $\alpha$ ( $\text{seg}^{-1}$ ) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|--------------------------------|
|  | D3        | fuera del sist. | $1270.0 \pm 4.7$               |
|                                                                                   | D3        | E6              | $1431.3 \pm 6.4$               |
|                                                                                   | D2        | E6              | $1443.9 \pm 5.3$               |

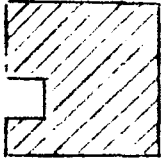
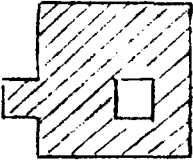
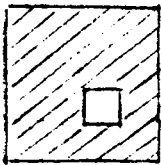
Para éste caso la perturbación introduce una desviación del orden del 13 %. Sin embargo si se observan las desviaciones en las medidas realizadas con el mismo det II, éstas resultan bastante mayores: del orden del 68 % para éste caso ( Fig.2 ), del 43 % para Fig. 3 y del 19 % para Fig. 4. Es decir, las desviaciones para el det II según su posición son tanto mayores cuanto más subcrítico el sistema. Este comportamiento deberá estudiarse más exhaustivamente a fin de determinar la verdadera naturaleza de la perturbación.

Promediando los resultados obtenidos con det I para cada caso se obtienen los valores de Tabla 2, que servirán para comparar con los obtenidos mediante cálculos teóricos.

( ver tabla 2 en página siguiente )

Las mediciones con det I resultaron independientes de su posición respecto al núcleo, indicando que su tamaño reducido no perturba apreciablemente al sistema. En la utilización de éste detector deben tomarse precauciones para no producir su saturación, que daría lugar a determinaciones erróneas ( valores de  $\alpha$  inferiores a los

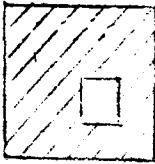
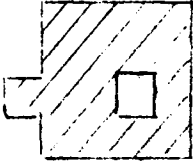
Tabla 2

| Núcleo                                                                              | $\bar{\alpha}$ (seg <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|    | 682.4 ± 5.1<br><i>780</i>           |
|    | 1029.5 ± 2.7<br><i>1075</i>         |
|   | 1101.0 ± 3.7                        |
|  | 1271.1 ± 3.9<br><i>1235</i>         |

correctos). Este comportamiento se observó variando el ancho del pulso de neutrones, según se vé en la tabla 3.

Esta tabla se encuentra en la página siguiente. Se observa que en las posiciones E6 de ambas configuraciones existe una dependencia de  $\alpha$  con el ancho del pulso, indicando saturación en los casos de mayor ancho.

Tabla 3

| Nucleo                                                                            | Pos.<br>det.I | ancho<br>pulso | $\alpha$ (seg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-------------------------------|
|  | G3            | 80             | $1272.5 \pm 3.4$              |
|                                                                                   | B1            | 400            | $1277.4 \pm 9.4$              |
|                                                                                   | E6            | 400            | $1197.6 \pm 7.4$              |
|                                                                                   | E6            | 80             | $1234.1 \pm 2.3$              |
|  | G3            | 80             | $1090.3 \pm 1.6$              |
|                                                                                   | B1            | 80             | $1124.8 \pm 13.5$             |
|                                                                                   | E6            | 1000           | $926.3 \pm 3.4$               |
|                                                                                   | E6            | 40             | $1115.0 \pm 2.3$              |

Para medición de reactividades de barras de control se utilizó la configuración de Fig. 5 .

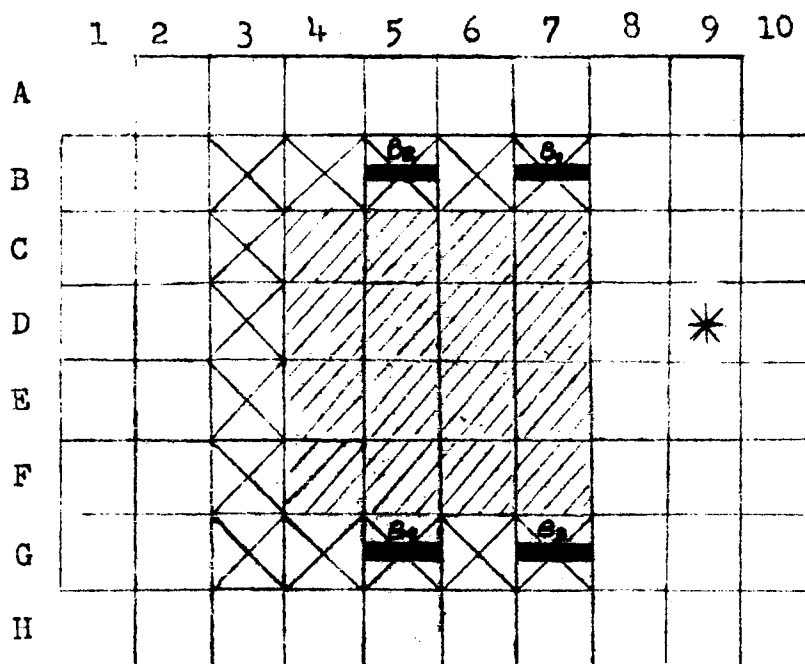


Figura 5

B1, --, B4 barras de control

En la figura 5 representan :



grafito



caja de elementos combustibles

El núcleo tiene tres caras laterales reflejadas con grafito y el resto con H<sub>2</sub>O..

Con el código ANA-II se determinaron las reactividades según los métodos de Garelis-Russell y Gozani. Aunque falta aún efectuar pequeñas correcciones, en tabla 4 se dan los resultados provisionales obtenidos hasta ahora, junto con otros determinados por el método del período asintótico.

Tabla 4

| Exp. Nº | Medición | pos<br>det I | \$ Garelis<br>Russell | \$ Gozani    | \$ Período |
|---------|----------|--------------|-----------------------|--------------|------------|
| 242     | 75% B4   | C1           | .807                  | .893 ± .018  | -----      |
| 243     | 50% B4   | C1           | .403                  | .408 ± .008  | -----      |
| 244     | 30% B4   | C1           | .316                  | .316 ± .007  | -----      |
| 245     | 20% B4   | C1           | .165                  | .170 ± .004  | -----      |
| 246     | 10% B4   | C1           | .120                  | .123 ± .003  | -----      |
| 251     | 30% B3   | C1           | .190                  | .198 ± .004  | -----      |
| 252     | 20% B3   | C1           | .114                  | .117 ± .003  | -----      |
| 253     | 10% B3   | C1           | .112                  | .114 ± .003  | -----      |
| 258     | B1       | G8           | .370                  | .388 ± .008  | .350       |
| 259     | B2       | G8           | .839                  | .988 ± .012  | -----      |
| 260     | B3       | G8           | .348                  | .363 ± .006  | .355       |
| 261     | B4       | G8           | .868                  | 1.092 ± .013 | -----      |

Para las reactividades pequeñas hay bastante acuerdo; no es tan bueno para las más grandes. Sin embargo se espera que para todas las reactividades del orden aquí medidas haya buena concordancia. Posiblemente sean necesarios sólo pequeños ajustes en el cálculo para lograr ésta situación. En el caso del método Gozani el error

standard calculado no sobrepasa el 2,6 %. Para Garelis-Russell falta efectuar aún la determinación correcta del mismo.

Mediante el método de activación se determinó el flujo neutrónico transversal en cajas de elementos combustibles provistas de barras especiales de control. El espacio reservado para el desplazamiento de éstas barras obliga al retiro de algunos elementos combustibles de la caja correspondiente. Es de interés conocer el comportamiento del flujo en esas zonas (gaps) donde el combustible nuclear ha sido sustituido por  $H_2O$ . En Fig. 7 se muestra para el caso de tener 2 zonas correspondientes c/u a 2 elementos retirados, mientras que en Fig. 6 se tiene una sola zona correspondiente al retiro de 7 elementos combustibles.

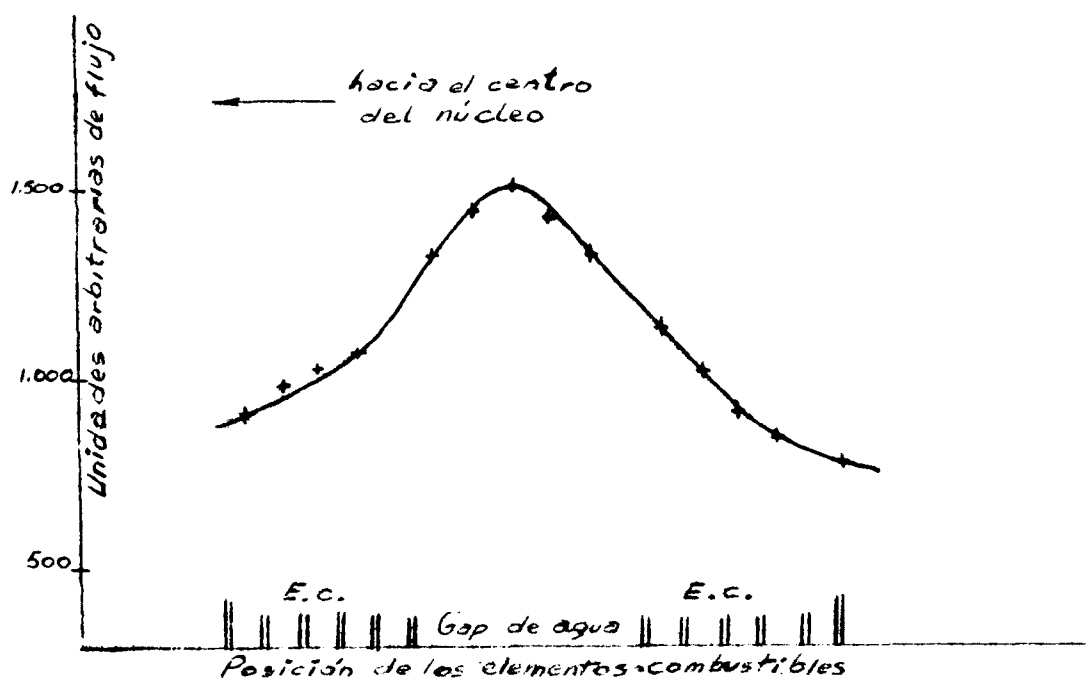


Figura 6



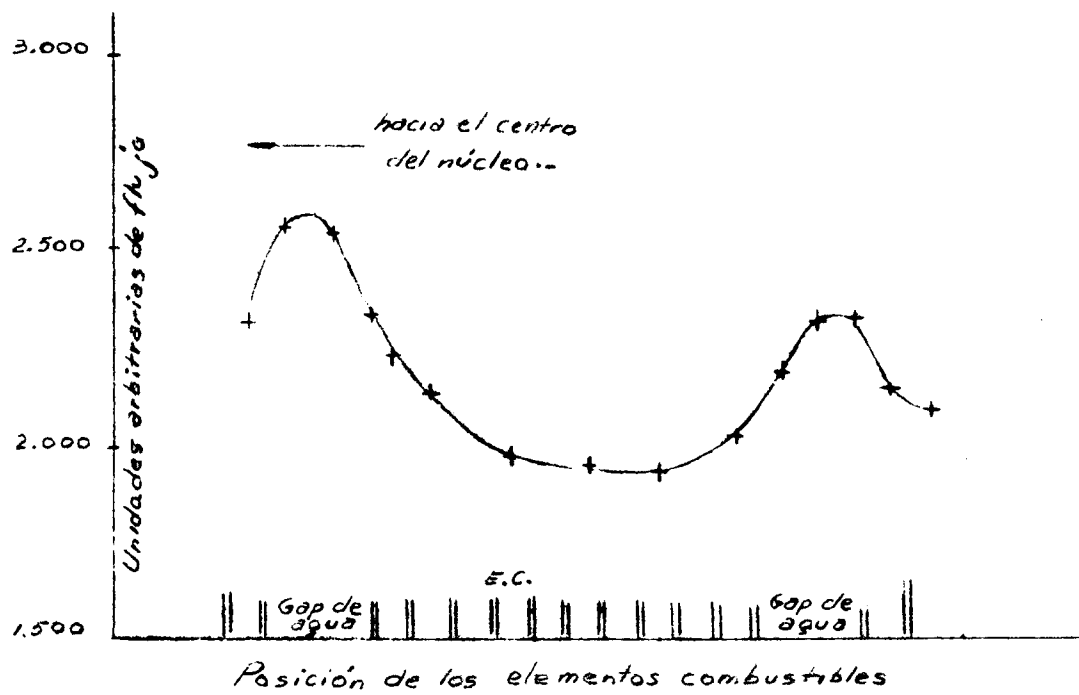


Figura 7

0

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la perturbación que introduce un detector de dimensiones como la del det II en mediciones efectuadas cerca del núcleo, deberá optarse en esos casos por uno más pequeño, p. ej. como el det I cuidando que no se produzca su saturación, como se mostró en, tabla 3 .

Como labor inmediata se efectuarán los ajustes necesarios en el código ANA-II para obtener una concordancia mejor entre los métodos pulsados, junto con la determinación correcta del error standard en el método Garelis-Russell.

El paso final será la medición de un número suficiente de reactividades mediante métodos pulsados y por período asintótico a fin de determinar el intervalo de aplicación y precisión de los mismos. Si los resultados obtenidos presentan adecuada concordancia se contará ya con un procedimiento confiable y rápido para la determinación de reactividades.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- 1) - Pieroni N. ; Rapoport H. ; Ricabarra G. - Inf. N° 1  
julio-agosto 1966.
- 2) - Garellis E. and Russell Jr - Nucl. Sc. Eng. 16 (1963) 263
- 3) - Gozani T. ; EIR-Bericht Nr. 79 (1965).
- 4) - Pieroni N. ; Rapoport H. ; Ricabarra G. - Inf. N° 2  
septiembre-Noviembre 1966 .