

C. I. N.

517

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

CENTRO DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

(PROYECTO)

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE
UN DETECTOR DE POZO PARA EL
CALCULO DEL FLUJO DE UN REACTOR.

MONTEVIDEO - URUGUAY

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE
UN DETECTOR DE POZO PARA EL
CALCULO DEL FLUJO DE UN REACTOR.

Universidad de la República
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES (C.I.N.)

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE
UN DETECTOR DE POZO PARA EL
CALCULO DEL FLUJO DE UN REACTOR.

Ana María Robles Sarrueta
Alvaro Musso Beraldo

MONTEVIDEO - URUGUAY
Setiembre, 1978

R E S U M E N

Se obtuvo experimentalmente la eficiencia intrínseca para un detector de NaI(Tl) de pozo con patrones calibrados de ^{241}Am , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{54}Mn y se determinó un modelo teórico a fin de comprobar la curva obtenida en la práctica. Se calculó, por interpolación, la eficiencia intrínseca para ^{198}Au y se empleó en la determinación del flujo de un reactor nuclear experimental de 10 KW.

I N D I C E

Resumen	1
Agradecimiento	3
I - Introducción	4
II - Eficiencia	6
III - Determinación experimental de la eficiencia del detector de pozo	10
IV - Discusión	12
V - Conclusiones	13
Fig. 1	14
Fig. 2	16
Fig. 3	17
Fig. 4	18
Referencias	19

A G R A D E C I M I E N T O

Los autores expresan su agradecimiento a la Dirección del Centro de Investigaciones Nucleares, en la persona de su Director, Prof. Ing. Quím. Don Héctor J. Mujica, por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo.

Al personal técnico-docente del C.I.N. especialmente a los Profs. Ing. Don Jaime Saliés Gómez, Daniel Marta y Walter Rodríguez Sacco, por su valiosa ayuda y al Prof. Tomás Sóbota, del Centro de Medicina Nuclear por su invaluable colaboración en el Departamento de Cómputos de ese Centro.

Por último, pero no menos a la División Electrónica Nuclear del C.I.N. por su permanente apoyo y a la Sra. Olga Caprario Brugnini por el dactilografiado de este trabajo.

1 - INTRODUCCION

A efectos de determinar el flujo del reactor del Centro de Investigaciones Nucleares (C.I.N.) de 10 KW, operado a baja potencia, en distintos lugares del núcleo, se irradiaron hojuelas de Au y Mn midiéndose la actividad de ^{198}Au y ^{56}Mn en un analizador multicanal con detector de pozo de cristal de NaI(Tl) de 1-3/4" de diámetro y 2" de espesor, con pozo 21/32" de diámetro y 1-35/62" de profundidad.

Para el cálculo de la actividad absoluta, es necesario disponer de datos de eficiencia del detector utilizado, para ^{198}Au y ^{56}Mn , no conociéndose la curva de variación de dicha eficiencia en función de la energía de la radiación gamma incidente.

Se entiende por eficiencia global la probabilidad de que un fotón gamma, absorbido dentro del volumen del cristal, registre un pulso en el contador.. Varía en función de la energía del fotón incidente, de la distancia del detector a la fuente y de la sensibilidad del fotocátodo. Ha sido calculada mediante el producto de la eficiencia intrínseca del detector y la relación AREA PICO/AREA TOTAL del espectro del radionucleido (3), entendiéndose por eficiencia intrínseca la debida estrictamente al proceso de interacción dentro del cristal.

Se conocen las curvas de eficiencia intrínseca para diversos diámetros y espesores a diferentes distancias de cristales planos (1) y se determinó un modelo para cristal de pozo, para una muestra puntual colocada a una distancia $h_0 = 0$ de la cara superior del detector.

Se ha demostrado también que para un cristal de pozo, la eficiencia dentro del mismo es prácticamente igual a la de un cristal plano de las mismas dimensiones.

II - EFICIENCIA

Se determinó el valor de la eficiencia intrínseca a partir de la eficiencia global para muestras calibradas de varios radionucléidos, para un cristal de NaI(Tl) de 1-3/4" de diámetro por 2" de espesor de pozo de dimensiones 21/32" de diámetro, por 1 - 35/62" de profundidad.

La fig. 2 representa la curva de variación de la eficiencia intrínseca para diferentes energías de radiación gamma incidente.

Posteriormente se determinó el modelo teórico de eficiencia intrínseca de un detector de pozo de las mismas dimensiones que el utilizado en la práctica a efectos de comprobar la curva hallada experimentalmente.

La eficiencia intrínseca T(E) de un cristal plano de radio r₀ y espesor t₀ para una fuente puntual ubicada a una distancia h₀ de la cara superior del detector, se define como la fracción de rayos gamma de energía E emitidos por la fuente, que interactúa con el detector y viene dada por la siguiente expresión (1) :

$$T(E) = \frac{1}{2} \int_0^{\tan^{-1} \frac{r_0}{h_0 + t_0}} \frac{1 - e^{-\tau(E) \frac{t_0}{\cos \theta}}}{\cos \theta} \sin \theta d\theta + \int_0^{\tan^{-1} \frac{r_0}{h_0}} \frac{1 - e^{-\tau(E) \left(\frac{r_0}{\sin \theta} - \frac{h_0}{\cos \theta} \right)}}{\cos \theta} \sin \theta d\theta$$

$$\tan^{-1} \frac{r_0}{h_0 + t_0}$$

Dadas las dimensiones reales del material que contiene la muestra, que no permiten hacer medidas dentro del pozo, se determina la expresión de la eficiencia intrínseca para una muestra a una distancia h_0 por encima de la cara superior del cristal :

$$T(E) = \frac{1}{2} \left[\begin{aligned} & \left[\frac{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_1}{h_0 + t_1} \right)}{1 - e^{-\tau(E) \left(\frac{t_0 - t_1}{\cos \theta} \right)}} \text{sen} \theta d\theta + \frac{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_0}{h_0 + t_0} \right)}{1 - e^{-\tau(E) \left(\frac{h_0 + t_0}{\cos \theta} - \frac{r_1}{\text{sen} \theta} \right)}} \text{sen} \theta d\theta + \right. \\ & \left. \frac{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_1}{h_0 + t_1} \right)}{1 - e^{-\tau(E) \left(\frac{r_0 - r_1}{\text{sen} \theta} \right)}} \text{sen} \theta d\theta + \frac{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_0}{h_0} \right)}{1 - e^{-\tau(E) \left(\frac{r_0}{\text{sen} \theta} - \frac{t_0}{\cos \theta} \right)}} \text{sen} \theta d\theta \right. \\ & \left. + \frac{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_0}{h_0 + t_0} \right)}{\text{tg}^{-1} \left(\frac{r_1}{h_0} \right)} \right] \end{aligned} \right.$$

correspondiente a la geometría de la fig. 1A, expresión que se cumplirá siempre que se mantengan las condiciones :

$$\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4$$

Los valores obtenidos para el caso teórico de la muestra sobre la cara superior del detector a una distancia $h_0 = 0, .003, .025, .05, 1.0, \text{ y } 3.0$ cm fueron logrados calculando los

valores de las funciones por programa con una HP-25, dividiendo el intervalo de integración en veinte partes y aplicando luego otro programa para integración numérica por Regla de Simpson.

Estos valores fueron comprobados además por programa con una computadora DIGITAL PDP 8.

De igual forma se calcularon los valores de la función original para cristales planos.

Para muestras en el fondo del pozo y alturas intermedias dentro del mismo, se ha determinado la eficiencia intrínseca para un mismo detector en relación al fondo del pozo y los límites de validéz para las integrales (6).

III - DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DEL DETECTOR DE POZO.

1) Materiales.

Se dispuso de un analizador multicanal marca TMC de 400 canales, con detector de NaI(Tl) de 1-3/4" de diámetro por 2" de espesor y dimensiones del pozo de 21/32" de diámetro por 1-35/62" de profundidad.

2) Determinación de la eficiencia

Se emplearon patrones calibrados de ^{241}Am , ^{57}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs y ^{54}Mn cuyos espectros fueron acumulados en 200 canales por intervalos de 4 y 10 minutos.

Se determinó para cada espectro el área total de los 200 canales y el área comprendida entre $(n/2 + 1)$ canales por encima y por debajo del fotopico, siendo n el número de canales entre el máximo del fotopico y el menor valor entre éste y el Compton, según criterio de Masson (3).

Se calculó la relación :

$$R_E = \text{Area Pico/Area Total}$$

y la eficiencia global :

$$E_{ff0} = \text{Area Pico/tiempo de conteo (seg.)}$$

dividido la actividad del patrón calibrado en desintegraciones por segundo (cps/dps).

Se representó gráficamente la eficiencia global E_G (fig. 4) y la eficiencia intrínseca E_I , calculada como el cociente E_G/R_E (fig. 2) en función de la energía de la radiación gamma incidente. Las curvas obtenidas difieren de las correspondientes para cristales planos ya que las condiciones geométricas son distintas.

De la curva experimental obtenida, se determinó por interpolación la eficiencia del detector para ^{198}Au a fin de calcular la actividad absoluta de Au en una hojuela irradiada en el reactor.

3) Determinación del flujo de un reactor de 10KV

En la determinación del flujo se emplearon hojuelas de Au y Mn en las siguientes posiciones a una potencia de 50 W y una hora de irradiación tomada a partir del momento en que la potencia se estabiliza en el valor indicado, finalizándose la irradiación por Scram :

- A - Una posición de referencia en 7/4' (fig.3) en la que se pone un cilindro de grafito cortado en su parte central a fin de colocar allí una hojuela de cada elemento.
- B - Espadas de acrílico con hojuelas de Au insertadas en diferentes lugares del núcleo del reactor.

IV - DISCUSION

- 1) La eficiencia teórica varía sensiblemente con la distancia del detector a la muestra como puede verse en las curvas calculadas para los distintos valores de h_0 (fig.2).

Las muestras empleadas son patrones calibrados, montadas en laminillas de acrílico circulares de 5 mm de espesor, quedando a una distancia de 25 mm por encima de la cara superior del detector, en el centro de la laminilla.

- 2) En la aplicación del modelo la distancia queda limitada a un valor tal que, la tercera integral I_3 vale cero para

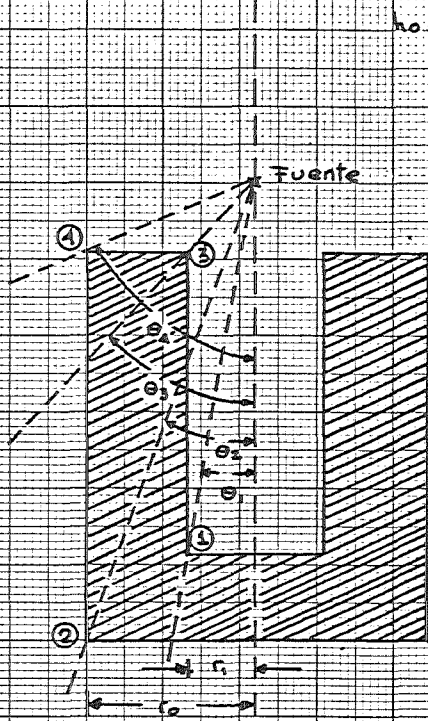
$$\frac{r_0}{h_0 + t_0} = \frac{r_1}{h_0} \quad \text{o sea que para las dimensiones}$$

del detector utilizado $h_0 = 3.03$ cm.

- 3) Los valores de eficiencia encontrados experimentalmente son en general, más bajos que los calculados por el modelo teórico elegido.
- 4) La determinación de la curva de eficiencia ha servido para conocer la actividad absoluta de ^{198}Au , ya que si no se hiciera corrección por eficiencia los valores de flujo obtenidos estarían sobreestimados.

V - CONCLUSIONES

- 1) Para una más exacta determinación del flujo de un reactor nuclear, es necesario hallar la eficiencia del radionucleído producido en el curso de la radiación.
- 2) La eficiencia determinada experimentalmente se corresponde bien con un modelo teórico calculado para un detector de pozo con la fuente ubicada a .25 mm de distancia por encima de su cara superior.
- 3) Existen efectos no considerados en el modelo que disminuyen la eficiencia intrínseca experimental.



(A)

$h_0 = h \text{ cm}$

$r_0 = 2.22 \text{ cm.}$

$t_0 = 5.08 \text{ cm.}$

$r_1 = 0.83 \text{ cm.}$

$t_1 = 3.97 \text{ cm.}$

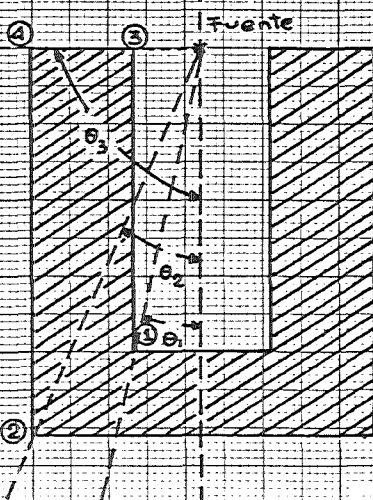
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{t_1 + h_0} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{t_0 + h_0} \right]$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{h_0} \right]$$

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{h_0} \right]$$

$\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4$



(B)

$h_0 = 0 \text{ cm.}$

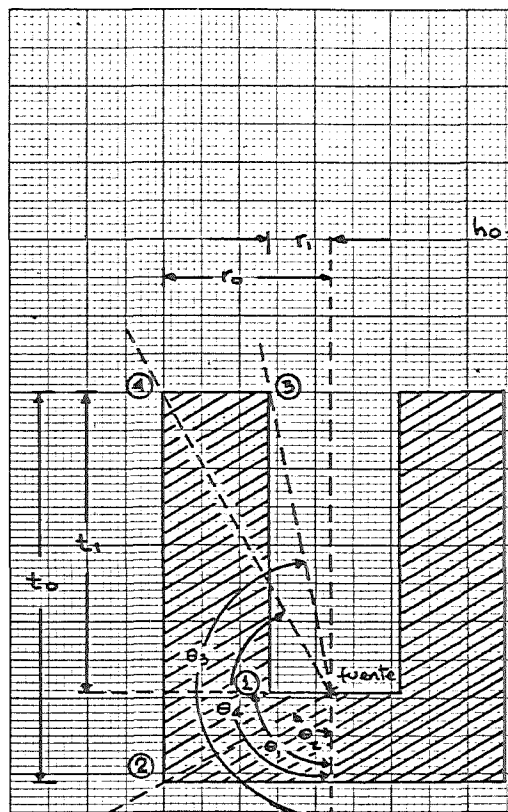
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{t_1} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{t_0} \right]$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left[\frac{\pi}{2} \right] = \theta_4$$

$\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 = \theta_4$

Fial
Detector de Pozo



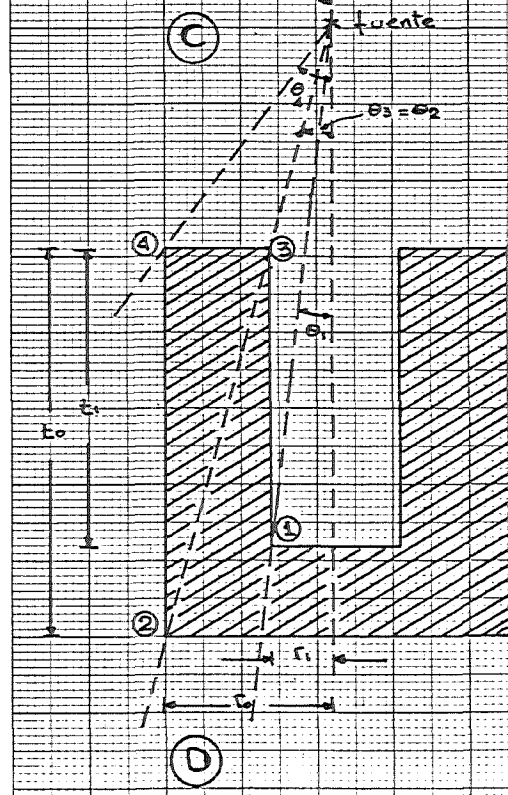
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{t_1} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{t_0 - t_1} \right]$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left[-\frac{r_1}{t_1} \right]$$

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left[-\frac{r_0}{t_1} \right]$$

$$\theta_2 < \theta_1 < \theta_4 < \theta_3$$



$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{t_1 + h_c} \right]$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{t_0 + h_c} \right] = \theta_3 = \tan^{-1} \left[\frac{r_1}{h_c} \right]$$

$$\theta_4 = \tan^{-1} \left[\frac{r_0}{h_c} \right]$$

$$\theta_1 < \theta_2 = \theta_3 < \theta_4$$

Fig. 1
Detector de Pozo

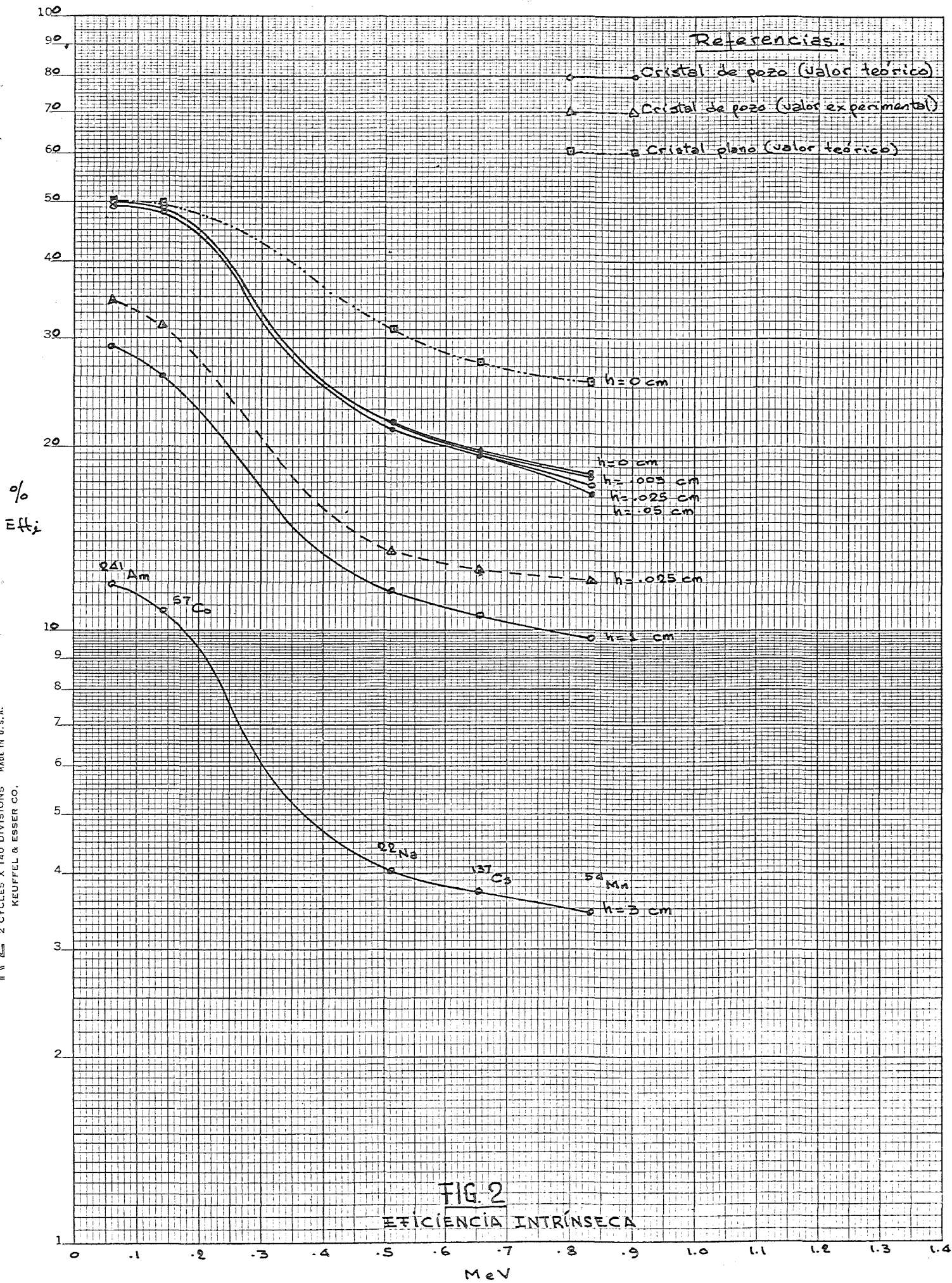
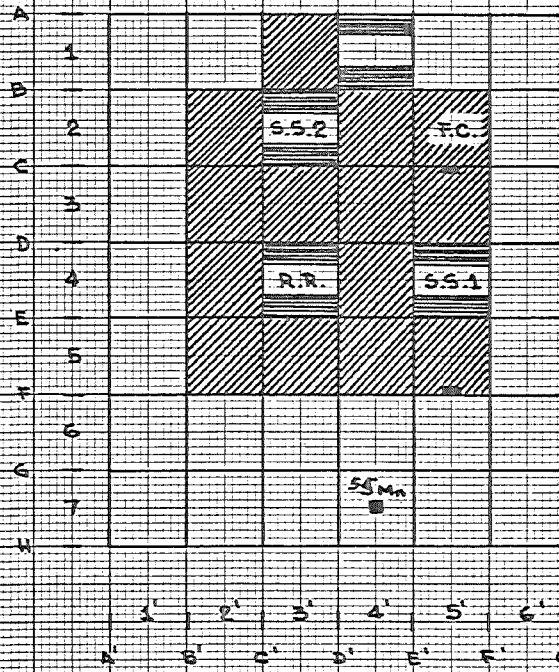


FIG. 2
EFICIENCIA INTRÍNSECA

SEMI-LOGARITHMIC 46 5130
2 CYCLES X 140 DIVISIONS MADE IN U.S.A.
KEUFFEL & ESSER CO.



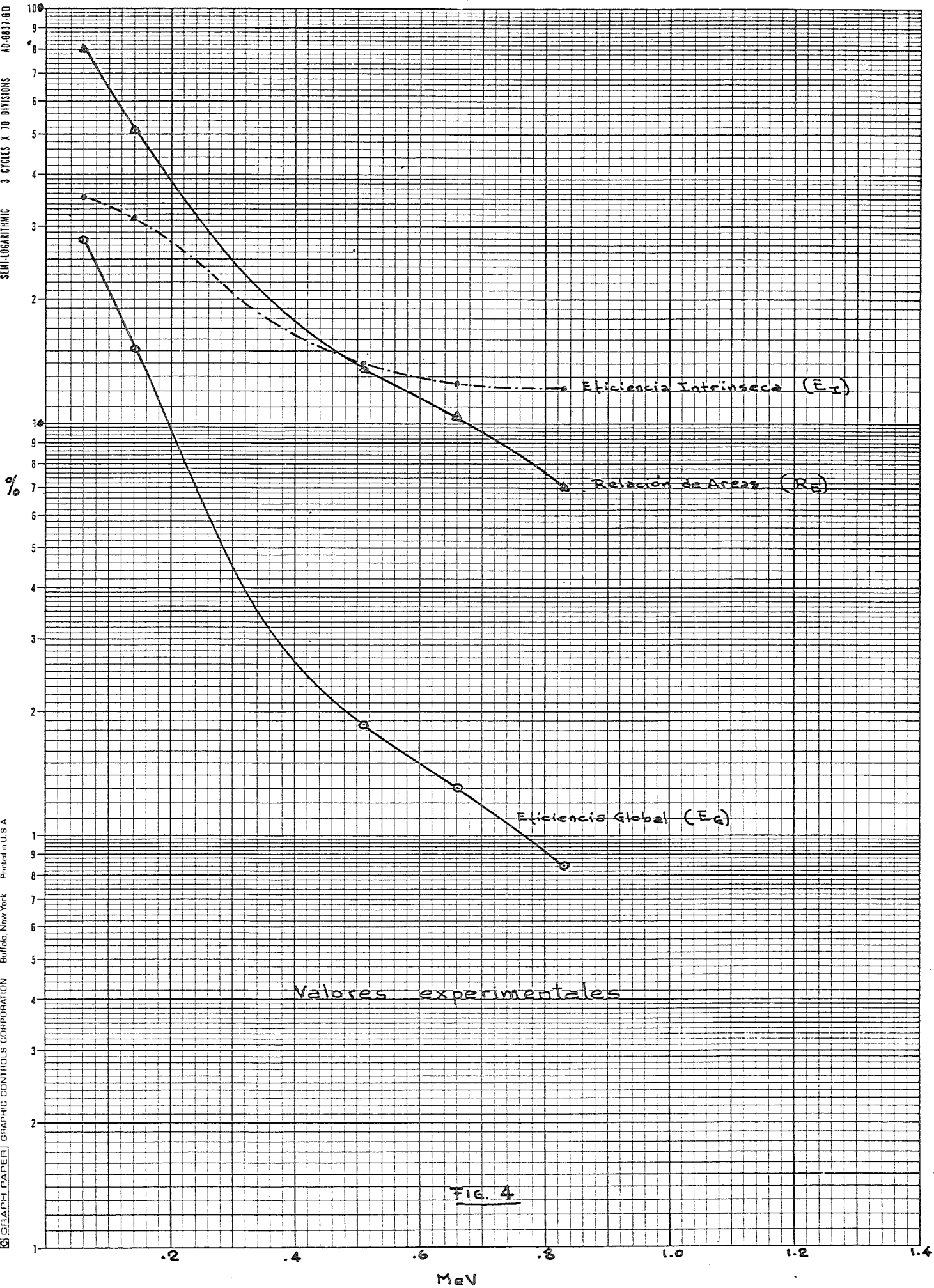
Núcleo del reactor y lugares de irradiación

FIG. 3

AD-9837-B D

SEMI-LOGARTIMIC 3 CYCLES X 70 DIVISIONS

GRAPHIC PAPER GRAPHIC CONTROLS CORPORATION Buffalo, New York Printed in U.S.A.



Valores experimentales

FIG. 4

R E F E R E N C I A S

- (1) CALCULATED EFFICIENCIES OF CYLINDRICAL RADIATION
DETECTORS -
Vegors, S., Marsden, L., and Heath, R.
AEC Research and Development Report. 1958
- (2) INGENIERIA DE REACTORES NUCLEARES
Glasstone, S., Sesonske, A.
Editorial Reverté S.A. 1978
- (3) ANALISIS POR ACTIVACION NEUTRONICA
Travesi, A.
Servicio de Publicaciones de la J.E.N., Madrid 1975
- (4) DIAGNOSTIC NUCLEAR MEDICINE
Potchen, J.
Edit. Alexander Gottshalk 1975
- (5) APPLICATIONS PROGRAMS
Hewlett-Packard HP-25
- (6) CALCULATED EFFICIENCY VALUES FOR WELL-TYPE NaI (TI)
DETECTORS
Holmberg, P., Rieppo, R. and Passi, P.
The International Journal of Applied Radiation and
Isotopes, vol. 23, N° 3 March 1972