

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

INFORME N.º 20

Estudio Experimental de la Relación de Nordheim

por

JUAN A. CHAMERO



BUENOS AIRES

1959

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RELACION DE NORDHEIM

JUAN A. CHAMERO

R E S U M E N

Un método usual para medir la variación de reactividad al sacar un veneno de un reactor en estado crítico consiste en medir el período estable de crecimiento del flujo neutrónico y utilizar la relación de Nordheim. Por otra parte, es posible en un reactor subcrítico comparar una reactividad con otra midiendo los niveles de flujo neutrónico posteriormente a la introducción de dichas reactividades.

El objeto del presente trabajo es comparar los resultados obtenidos por ambos métodos. Previamente verificamos lo siguiente: ubicando un veneno patrón en un cierto punto del núcleo se ha obtenido un valor δk medido por el período estable; agregando luego con el reactor subcrítico venenos iguales al patrón en posiciones simétricas con respecto al centro de carga del núcleo y comparando las reactividades, se comprobó que dentro de ciertos límites hay aditividad de las reactividades, o sea, a n venenos patrón corresponde una reactividad asociada $n\delta k$. En una segunda experiencia se han extraído dichos venenos múltiplo en un régimen crítico y se han medido los períodos estables vinculados a las extracciones.

Se han comparado estos períodos experimentales con los esperados de la relación de Nordheim. Como los parámetros que intervienen en ésta difieren según los autores, se han hecho comparaciones con diversos juegos de valores. En todos los casos se ha comprobado, dentro del rango de los errores del método, la concordancia de los períodos medidos y los calculados.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Para la definición de reactividades múltiplo o submúltiplo de otra dada operamos en régimen subcrítico. La expresión a usar para la medición de reactividades es, por lo tanto,

$$C = \frac{A}{1 - k}, \quad [1]$$

donde

C = número de cuentas detectado en un contador proporcional de F_3B colocado en la posición que muestra la figura 1;

A = coeficiente que depende esencialmente de la configuración geométrica de fuente y detector, así como del poder y espectro de la fuente. Suponemos que para alejamientos del estado crítico menores al 1,5 % es independiente de la multiplicación del medio. Es muy sensible a cambios de geometría del núcleo, como sería una disminución del radio equivalente de éste por extracción de barras;

k = coeficiente de multiplicación efectivo del medio, definido como igual a la unidad para reactor en estado crítico. Como se hizo notar anteriormente, nunca fué inferior a 0,985.

Aceptada la constancia de A , se procedió a su determinación calibrando un veneno patrón colocado en posición a) (fig. 2) de nuestra facilidad crítica *. Este veneno patrón consistía en 6 varillas de plata (1.000), de 0,6 mm de diámetro, colocadas paralelamente al elemento combustible y con una sección eficaz equivalente a la absorción térmica de aproximadamente $0,4 \text{ cm}^2$ cada una. Extraído este veneno del núcleo originariamente en estado crítico, provoca una divergencia del reactor de carácter exponencial. La reactividad positiva agregada al medio por la extracción del veneno está ligada al período estable de crecimiento exponencial T por la relación de Nordheim:

$$\delta k = \frac{k - 1}{k} = \frac{1}{Tk} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \quad [2]$$

expresión deducida en base al modelo de un grupo independiente del

* Este método fué empleado en la facilidad crítica RA-2,5, consistente en un reticulado de barras de U_3O_8 enriquecido al 20 %, de 7,5 mm de diámetro, con envoltura de aluminio, moderador-refrigerante H_2O y reflector de grafito. Como experimento de potencia cero no lleva blindaje, estando el operador protegido por bloques de hormigón dispuestos entre el dispositivo crítico y el puesto de comando. Esto acarrea ciertas dificultades en lo que respecta a la computación experimental de los períodos estables por ser reducida la posibilidad de variación del nivel de potencia.

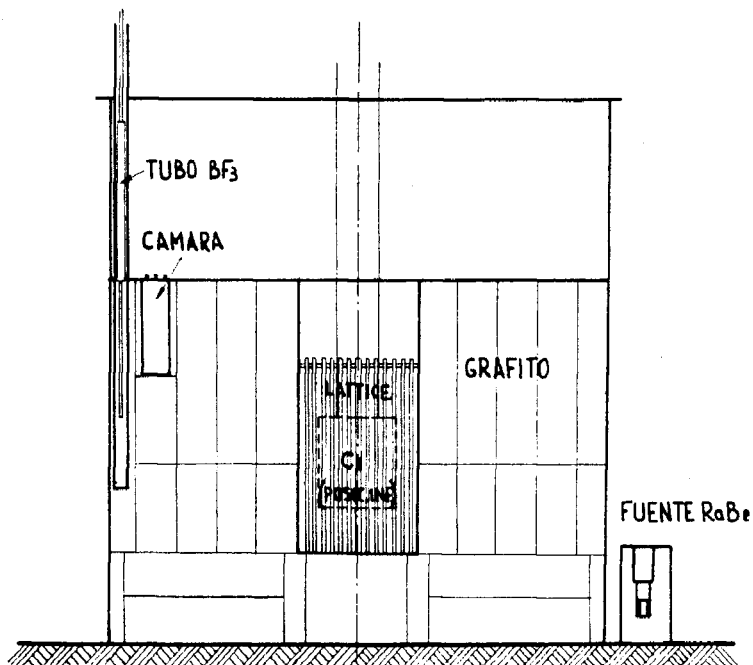
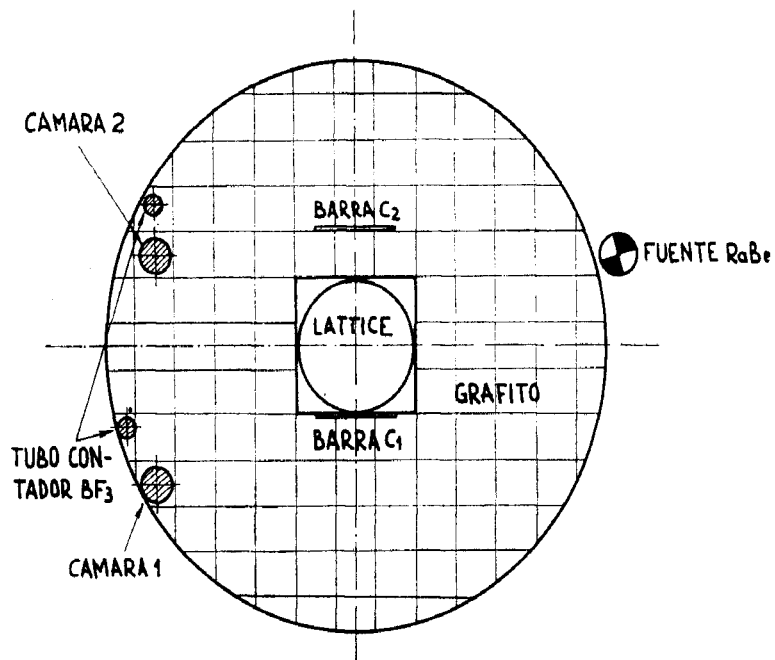


FIGURA 1

espacio y para reactividades introducidas en el tiempo bajo la forma de función escalón ⁽¹⁾, y en la que

$$\delta k = \frac{k - 1}{k} = \text{reactividad, prácticamente igual a } \Delta k = k - 1,$$

dentro de los rangos de aplicación práctica de [2], o sea, para pequeños alejamientos de criticidad;

l = vida media de los neutrones del reactor;

β_i = fracción de neutrones retardados, grupo i ⁽²⁾, ⁽³⁾;

λ_i = constante de relajación de los precursores de neutrones retardados, grupo i ;

T = período estable del crecimiento neutrónico. En nuestro caso las varillas no fueron extraídas instantáneamente, pero al cabo de un tiempo suficientemente largo el reactor "olvida" el proceso mediante el cual fué adquirida esa reactividad asintótica correspondiente a la extracción total de las varillas y al mismo tiempo desaparecen los efectos secundarios debido a los neutrones retardados.

Determinada la reactividad en exceso Δk y suponiendo que los pesos estadísticos a los distintos procesos permanecen inalterados al llevar al reactor a estado subcrítico por extracción de dos elementos combustibles periféricos y diametralmente opuestos, hallamos A mediante la relación

$$A = \frac{C_0 \cdot C_1}{C_0 - C_1} \cdot \Delta k, \quad [3]$$

donde

C_0 = nivel de conteo del reactor subcrítico, $k_0 < 1$;

C_1 = nivel de conteo del reactor subcrítico con el veneno introducido, $k_1 = k_0 - \Delta k$.

Se trató de dar al núcleo una carga cilíndrica con radio equivalente igual a

$$R_{eq} = (N \cdot S/\pi)^{1/2}, \quad [4]$$

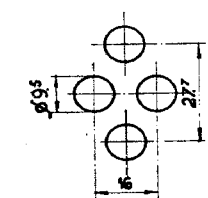
donde

R_{eq} = radio equivalente del núcleo cilíndrico (fig. 2);

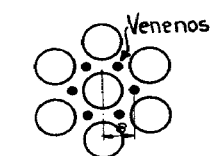
N = número de barras o celdas elementales del lattice;

S = superficie de cada celda.

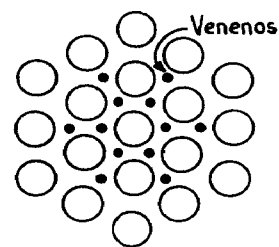
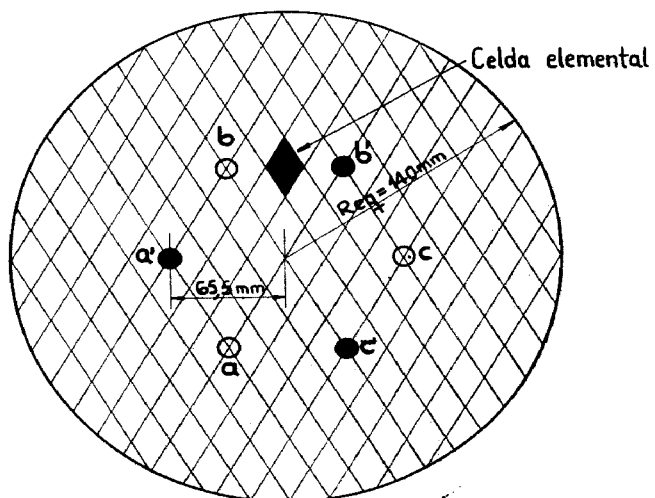
Conociendo este radio equivalente podemos determinar el centro de carga del núcleo y ubicar simétricamente con respecto a él las posiciones $a, a'; b, b'; c, c'$, como se ve en la figura 2. Alrededor de estas posiciones se formaron unidades de venenos constituidos por



CELDA ELEMENTAL



UNIDAD EN $a, a'; b, b'; c, c'$
CON 6 VARILLAS



UNIDAD EN $a, a'; b, b'; c, c'$
CON 12 VARILLAS

LATTICE-ZONAS DE COLOCACION DE LOS VENENOS-FIGURA 2

6 y 12 varillas y con reactividades asociadas Δk_1 que fueron independientes de la posición. Esta independencia se debe a que para los radios correspondientes a las posiciones de los venenos las distribuciones de flujo e importancia neutrónica no son perturbadas por las irregularidades de borde del núcleo reactante. Esto ha sido verificado por mediciones de la laplaciana ⁽⁴⁾.

Algunas experiencias se repitieron con varillas de cobre electrolítico, de 2 mm de diámetro, dispuestas en idéntica forma que las de plata y con una sección eficaz a la absorción térmica similar.

Definido este centro y su equivalencia en lo que respecta a reactividades, se procedió a la siguiente experiencia: se colocaron n unidades simultáneamente ($n = 1, 2, \dots, 6$) en el núcleo y se determinó su reactividad asociada Δk_n mediante la relación

$$\Delta k_n = \frac{C_0/C_n - 1}{C_0/C_1 - 1} \cdot \Delta k_1,$$

donde

C_n = nivel de conteo al introducir las n unidades en el reactor subcrítico.

Las diferencias entre estas reactividades y $n\Delta k_1$ son principalmente debidas a modificaciones de las distribuciones de flujo e importancias neutrónicas y alejamientos del estado crítico excesivos para la aplicación de la expresión [1] ⁽⁵⁾.

Los resultados de las experiencias pueden verse en el siguiente cuadro:

EXPERIENCIAS CON VARILLAS DE PLATA (1.000)

$$\Delta k_1 = 0,001035 \pm 0,000041_{(0,002746)}^{**}$$

Experiencias con unidades de 6 varillas

$$\Delta k_2/2 \Delta k_1 = 1,002 \pm 0,010_{(0,003781)}$$

$$\Delta k_3/3 \Delta k_1 = 1,002 \pm 0,009_{(0,004816)}$$

Experiencias con unidades de 12 varillas

$$\Delta k_3/3 \Delta k_1 = 1,067 \pm 0,009_{(0,008473)}$$

$$\Delta k_6/6 \Delta k_1 = 0,949 \pm 0,008_{(0,01450)}$$

EXPERIENCIAS CON VARILLAS DE COBRE ELECTROLÍTICO

$$\Delta k_1 = 0,000965 \pm 0,000039$$

Experiencias con unidades de 6 varillas

$$\Delta k_2/2 \Delta k_1 = 0,999 \pm 0,010$$

$$\Delta k_3/3 \Delta k_1 = 0,999 \pm 0,009$$

** El número entre paréntesis indica el alejamiento de crítico correspondiente a la introducción de las n unidades.

Teniendo en cuenta estos resultados podemos definir reactividades $n\Delta k_1$ de una manera bastante exacta para alejamientos de crítico suficientemente grandes en lo que respecta a ensayos divergentes. En nuestro caso estudiamos la relación de Nordheim para períodos estables comprendidos entre 37 y 260 seg y con constantes de neutrones retardados dados por tablas I y II.

TABLA I ⁽²⁾		TABLA II ⁽³⁾	
β_1	λ_1	β_1	λ_1
$2,5 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^1$	$1,89 \times 10^{-4}$	$6,08 \times 10^0$
$8,5 \times 10^{-4}$	$1,612 \times 10^0$	$9,36 \times 10^{-4}$	$1,580 \times 10^0$
$2,41 \times 10^{-3}$	$4,560 \times 10^{-1}$	$3,06 \times 10^{-3}$	$3,289 \times 10^{-1}$
$2,13 \times 10^{-3}$	$1,535 \times 10^{-1}$	$1,36 \times 10^{-3}$	$1,260 \times 10^{-1}$
$1,66 \times 10^{-3}$	$3,150 \times 10^{-2}$	$1,74 \times 10^{-3}$	$3,504 \times 10^{-2}$
$2,5 \times 10^{-4}$	$1,246 \times 10^{-2}$	$2,64 \times 10^{-4}$	$1,276 \times 10^{-2}$

Se define un veneno patrón constituido por dos varillas de cobre colocadas tal como se ve en la figura 3 y con un valor de antirreactividad dado por la relación teórica a estudiar. Como en las experiencias anteriores, se define $2\Delta k_1$ y $3\Delta k_1$ y se miden los períodos estables vinculados a la extracción de estas reactividades en régimen crítico. Para puntos intermedios definimos Δk_1 , $2\Delta k_1$, $3\Delta k_1$ y medimos también sus períodos estables asociados.

Las reactividades así definidas dieron períodos levemente menores que los esperados por la relación de Nordheim, como puede apreciarse en las figuras 3 y 4, siendo las diferencias del orden del error del trabajo experimental, pese a las apreciables diferencias entre los valores de las constantes de los neutrones retardados.

Conclusión

La relación de Nordheim (por lo menos dentro del rango de períodos estables estudiados) no nos proporciona valores absolutos de reactividades debido a la dificultosa e incierta computación de las fracciones efectivas de neutrones retardados, pero sí, en cambio, nos es útil para la determinación de reactividades múltiplo o submúltiplo de otra definida como patrón.

Determinación de errores

La determinación de períodos fué hecha con un registrador gráfico Speedomax con velocidad de papel de registro de 131 mm/102 seg. Esta velocidad es óptima dentro del rango de períodos a medir en

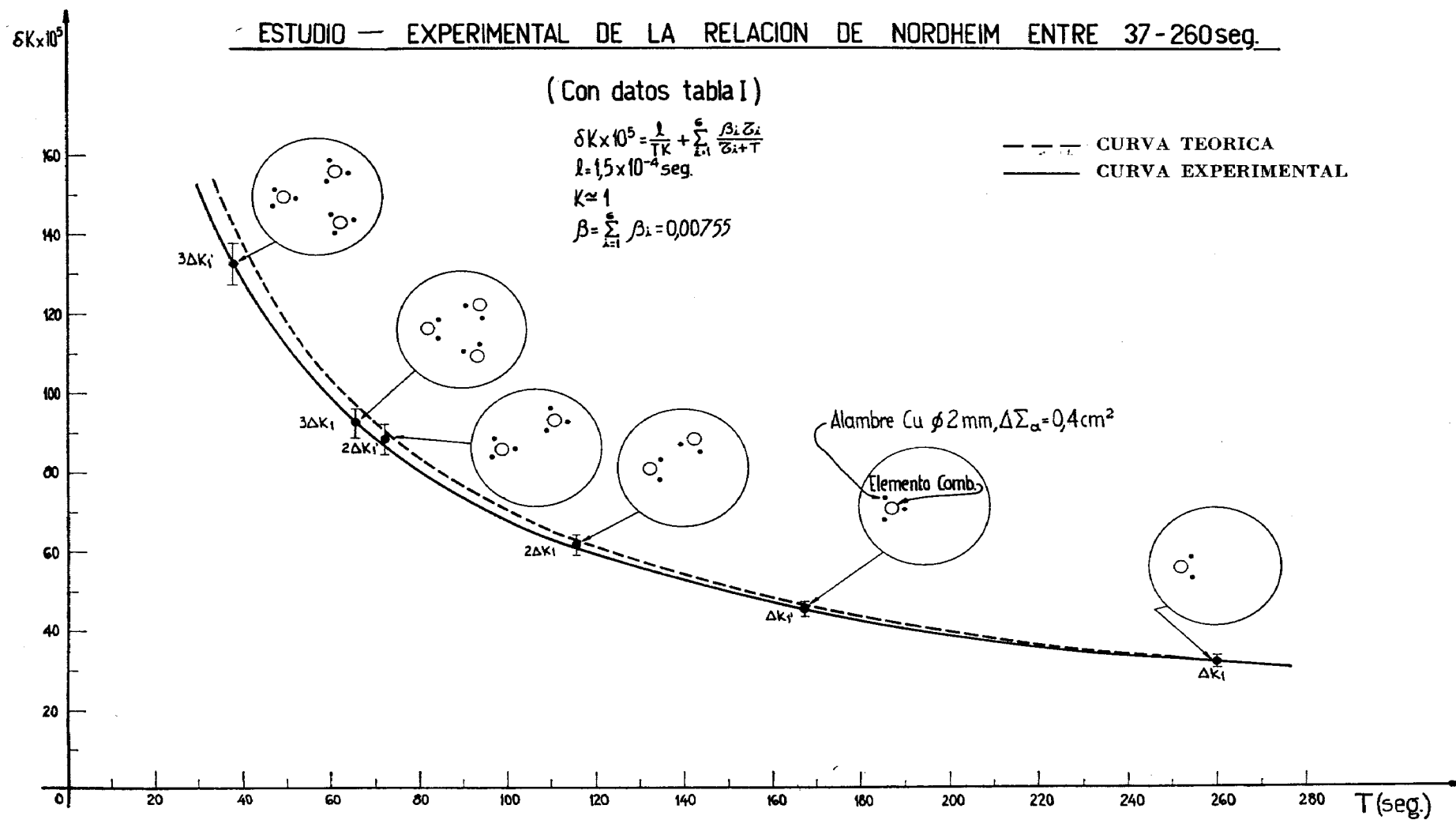


FIG. 3

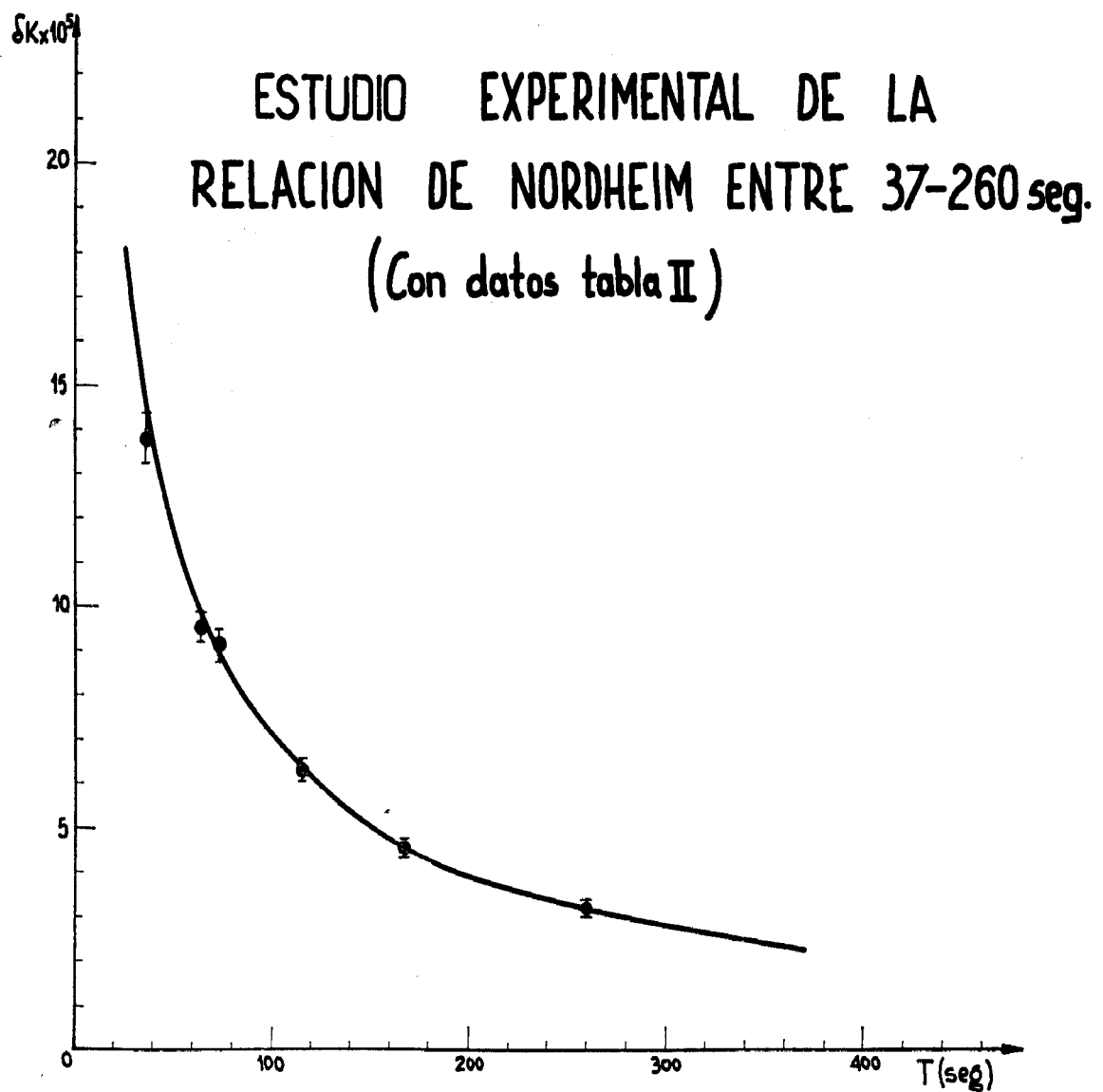


FIG. 4

lo referente a errores gráficos. Con una correcta calibración a plena escala y del cero, este registrador es un instrumento fielmente repetidor (errores menores del 0,3 %), sobre todo para las altas constantes de tiempo empleadas.

Se verificó que los períodos asintóticos se alcanzaban dentro del 1 % en los lapsos predichos por la teoría ⁽⁴⁾, pese a que la extracción de las varillas duraba un tiempo finito. Logrado este período estable se representaron las ordenadas correspondientes a corrientes de cámara (la cámara era perfectamente lineal en la zona de trabajo) en diagrama semilogarítmico. Los períodos, calculados en tres décadas consecutivas de potencia, nunca presentaron dispersiones mayores del 2,5 % del valor medio.

Los errores relativos de período se transfirieron a errores en reactividades mediante el conocimiento de la relación $\frac{\Delta k/k}{\Delta T/T}$ en función de T. También se consideraron los errores debidos a la no perpendicularidad de las varillas mediante el conocimiento de la distribución de los pesos estadísticos a la absorción térmica en sentido radial.

Quisiera agradecer especialmente al licenciado CARLOS DOMINGO por sus sugerencias durante la marcha de la experiencia, en particular sobre aditividad de reactividades. Desearía también hacer extensible mi agradecimiento al personal del RA1, en particular al señor JULIÁ, por su colaboración en la construcción de los dispositivos experimentales, y a los ingenieros SOLANILLA, SARE y DULFANO por sus aportes en lo referente a estudios sobre alcance experimental del método subcrítico.

BIBLIOGRAFIA

1. G. Goertzel: *Reactor Handbook, Reactor Dynamics*, ch., 1, 6.
2. G. R. Keepin y T. F. Wimett: *Geneve Conferences*, P/831.
3. D. J. Hughes, J. Dabbs, A. Kahn y D. Hall: *Phys. Rev.* 73, 111-124 (1948).
4. U. Koppel: *Informe de la CNEA* (en prensa).
5. S. Glasstone y M. Edlund: *The elements of Nuclear Reactor Theory*.
6. B. J. Toppel: *Nuclear Science and Engineering*, 5, 88-98 (1955).

Este folleto terminó de imprimirse
en el mes de Octubre de 1959 en los
Talleres Gráficos de la Comisión
Nacional de Energía Atómica.

