

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

=

INFORME N.º 17

MEDICION DE REACTIVIDADES

por

JUAN A. CHAMERO

||

BUENOS AIRES

1959

5

5

MEDICION DE REACTIVIDADES

JUAN ANGEL CHAMERO

SUMMARY

The measurement of reactivities is made by studying the immediate neutronic answer to a perturbation of the critical parameters of a reactor originally at the critical state.

The method used is applicable to perturbations whose magnitude is out of the experimental range of Nordheim's relation ⁽¹⁾, due to the fact that reactivities over 0.170 β are hardly measurable since the asymptotic period is reached at a high power. Therefore, it is necessary to arrive to criticality working on a power scale extremely low, with much noise and uncertain criticality. Another limitation of the method of stable period is its inapplicability to the measurement of negative reactivities.

In a critical facility like the one used by us * there are other limitations which oblige to abandon the method of stable period. These limitations are for example the maximal neutron flux, consistent with the permissible dose and the activation of the fuel elements.

In this work, we show how it is possible to measure negative and positive reactivities, with an appreciable accuracy, by means of the study of the immediate neutronic answer.

* 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.

TEORIA

Usaremos como modelo cinético ⁽²⁾ el de un grupo independiente del espacio, con fracciones de neutrones retardados corregidos por la importancia de esas fracciones para el sostenimiento de la reacción en cadena con respecto a los neutrones prontos ⁽³⁾.

Adoptamos las siguientes ecuaciones de balance de neutrones para un reactor:

$$\dot{n}(t) = \frac{k(t) - 1}{l} n(t) - \frac{k(t)}{l} \beta_{\text{eff}} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) + S, \quad [1]$$

$$\dot{C}_i(t) = -\lambda_i C_i(t) + \frac{k(t)}{l} \beta_{i,\text{eff}} n(t),$$

siendo

$n(t)$ = número global de neutrones en el reactor;

$C_i(t)$ = número global de precursores de neutrones, grupo i ;

t = el tiempo;

λ_i = constante de desintegración de los neutrones, grupo i ;

S = intensidad de fuente en neutrones por unidad de tiempo;

l = vida media de los neutrones del reactor;

$\beta_{i,\text{eff}} = \epsilon_i \beta_i$ = fracción de precursores efectiva del grupo i , pesada con su factor de importancia; β_i es la fracción real y ϵ_i es la importancia del grupo i para el mantenimiento de la reacción en cadena;

$\beta_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^6 \epsilon_i \beta_i = \epsilon \beta$ = fracción total efectiva de neutrones retar-

dados definida similarmente; $\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i$ es

la fracción total de precursores y ϵ es su importancia promedio;

$k(t)$ = coeficiente efectivo de reactividad, definido igual a la unidad para reactor en estado crítico [$k(0) = 1$]. Es objeto del presente trabajo determinar su apartamiento de la unidad conociendo la respuesta $n(t)$ a una perturbación cualquiera.

Condiciones iniciales:

$$\begin{aligned} n(0) &= 1, & C_i(0) &= \beta_{i,ef} k(0) n(0) / \lambda_i; \\ \dot{n}(0) &= 0, & \dot{C}_i(0) &= 0. \end{aligned}$$

Además, consideraremos $S = 0$.

La integración de estas ecuaciones da como resultado

$$\frac{l^*}{\beta_{ef}} \dot{n}(t) = \frac{k(t) - 1}{k(t) \beta_{ef}} n(t) - \int_0^t n(\tau) f(t - \tau) d\tau \quad [2]$$

donde

$$l^* = \frac{1}{k(t)} = \text{vida media efectiva de los neutrones, que consideraremos como invariante;}$$

$$\frac{\beta_{ef}}{l^*} = \text{pulsación de corte } (^4) \text{ en un diagrama clásico de transferencia de un reactor y que puede ser determinado experimentalmente (no así } l^*, \text{ debido a la indeterminación en } \epsilon);$$

$$\frac{k(t) - 1}{k(t) \beta_{ef}} = \text{reactividad en dólares } (\$); \text{ consideramos más propio utilizar esta magnitud debido, como antes, a la indeterminación de } \epsilon;$$

$$f(t) = \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_{i,ef}}{\beta_{ef}} e^{-\lambda_i t} = \text{función que expresa el decaimiento de la}$$

fuerza efectiva de neutrones (fig. 1). Haciendo la hipótesis de que la importancia de todos los grupos es la misma, o sea,

$$\epsilon_i \cong \epsilon, \text{ resulta que } f(t) \cong \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\beta} e^{-\lambda_i t} \text{ lo}$$

que es de gran importancia, pues los β_i/β son perfectamente conocidos (⁵).

La expresión [2] nos permite hallar reactividades en dólares en todo instante conociendo la respuesta $n(t)$ y $\dot{n}(t)$. Es conveniente modificar esta expresión debido a los errores experimentales en la determinación de $\dot{n}(\tau)$, para lo cual se desarrolla la integral en [2], llegándose a la expresión equivalente

$$\frac{k(t) - 1}{k(t) \beta_{ef}} = \frac{l^* \dot{n}(t)}{\beta_{ef} n(t)} - \frac{f(t)}{n(t)} + \frac{\int_0^t n(\tau) \dot{f}(t - \tau) d\tau}{n(t)} + 1, \quad [3]$$

donde $f(t)$ es una función fuertemente decreciente (fig. 2), lo que equivale a decir que el reactor recuerda al pasado con muy poca

“memoria”, siendo por lo tanto posible desarrollar a la integral en [3] alrededor del límite superior. Esta suposición, que es la esencia del método aproximado de M. Ash (6), tiene mayor sentido para reactividades negativas, donde después de un “shut-down” nunca decrece $n(t)$ con un período menor de 80 seg. Efectuando la aproximación citada queda para la reactividad en dólares la expresión

$$\frac{k(t) - 1}{k(t) \beta_{cr}} \cong -f(t) \frac{1 - n(t)}{n(t)} + \frac{\dot{n}(t)}{n(t)} (c_1 - tf(t) - g(t)), \quad [4]$$

donde

$$c_1 = \frac{1^* + \sum_{i=1}^6 \beta_{i,cr} \tau_i}{\beta_{cr}} \quad (\tau_i = \lambda_i^{-1}),$$

y

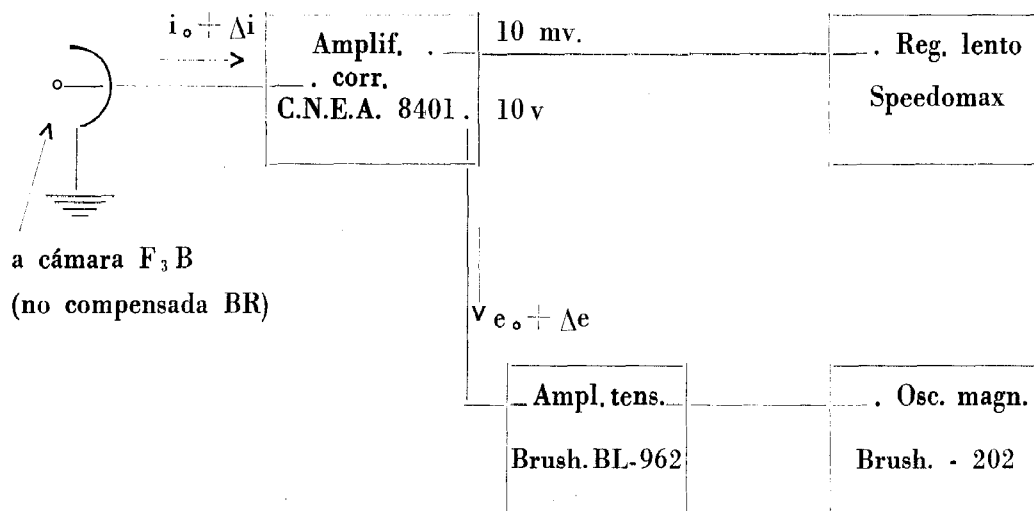
$$g(t) = \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\beta \lambda_i} e^{-\lambda_i t} \quad (\text{fig. 3}).$$

En este trabajo se comparan los dos métodos, o sea, las reactividades dadas por las expresiones [3] y [4].

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Estando el reactor en estado crítico, se introduce una reactividad negativa, dejando caer libremente en el moderador un cilindro de cadmio con una sección eficaz de absorción térmica de $1,4 \text{ cm}^2$. En su caída, que dura aproximadamente 0,3 seg, pasa el cilindro por zonas de importancia creciente. Si conociéramos la ley del movimiento, podríamos determinar el peso estadístico a la absorción en sentido axial. Este ensayo se efectuó 5 veces, encontrándose una dispersión del 2 % entre los valores de la reactividad asintótica (o sea, al llegar el cilindro al centro del núcleo). El reactor se estabilizó con un flujo neutrónico $\phi = 10^6 \text{ neutr/cm}^2 \text{ seg}$, correspondiente a una corriente de cámara $i_0 = 5 \times 10^{-8} \text{ A}$. En esta escala de corriente la cámara es lineal y permite, además, asegurar la criticidad con $\pm 2,6 \times 10^{-1} \%$. La puesta a crítico se efectuó con un registrador gráfico lento (130 mm/min, el eje de los tiempos) que a la corriente i_0 presentaba un ruido menor del 1 %. El transitorio provocado por el agregado de la reactividad negativa fué detectado por un registrador rápido (5, 25, 125 mm/seg. las tres velocidades del eje temporal), de constante de tiempo igual a 0,0004 seg. Puede asegurarse que el transitorio neutrónico es fielmente reproducido, pues las diferencias entre las constantes de tiempo son muy apreciables (se considera con bastante aproximación al transitorio neutrónico como un proceso exponencial puro con un período equivalente de aproximadamente 0,3 seg). Se intentó medir la reactividad asintótica en un ensayo divergente mediante la relación de Nordheim, pero no fué posible debido a que el período asintótico iba recién a ser logrado a una potencia extremadamente alta.

El cotejo entre mediciones efectuadas por período y por el estudio de la respuesta neutrónica en los primeros instantes, no pudo ser hecho debido a que reactividades que determinan un período medible producen un "prompt-jump" demasiado pequeño, y si se pretende amplificar éste, también se amplifica notoriamente el ruido debido al bajo nivel de trabajo. Aun logrado salvar este inconveniente, se tendría una gran indeterminación en el "cero" (lógicamente, si se quiere amplificar exclusivamente el "prompt-jump", es necesario compensar la componente continua i_0 correspondiente al nivel crítico). El circuito empleado es el indicado en el esquema.



Esquema del circuito detector-registrador.

La cámara es de F₃B no compensada y de característica perfectamente lineal en la zona de trabajo. El amplificador de corriente es un micro-microamperímetro (7), cuya exactitud en el rango de corriente empleado es del 2 % del fondo de escala y cuyo corrimiento del cero es el 1 % en 24 horas. Debido a su baja impedancia de entrada, tiene una constante de tiempo de 0,00015 seg en la escala de trabajo. Con el objeto de medir la constante de tiempo del equipo detector completo, o sea, desde cámara a registro gráfico, se suplantó a la cámara por un generador de corriente que excitaba al equipo detector con ondas cuadradas de constante de tiempo despreciable (menor de 10⁻⁶ seg) y se midió el "rise-time" en el registrador, obteniéndose un valor de 0,004 seg.

Una vez obtenido el registro, se procede a graficar $n(t)$, $\dot{n}(t)$ y $n(\tau) f(t - \tau)$, como se aprecia en figuras 4 a, 4 b, 5. La integración de estas últimas curvas para valores crecientes de t se hicieron por regla de Simpson y planímetro, no difiriendo los resultados en más del 1 %. Con los datos de esta integración se procede a graficar $\frac{k(t) - 1}{k(t) \beta_{ef}}$ en función del tiempo, como se ve en figura 6.

Se observa en estas curvas que a partir de los 3 seg el valor asintótico de la reactividad es bien definido. Debido al ruido, es

más probable cometer un error en las proximidades del origen, siendo, por lo tanto, recomendable hallar la reactividad asintótica para un t suficientemente alejado del origen y del instante final de la introducción de la reactividad asintótica, a fin de que posibles errores en el "prompt-jump" sean recordados con poca "memoria".

La diferencia sistemática entre la solución exacta y la aproximada es muy pequeña y tiende a un mínimo. En nuestro caso, transcurridos 4 seg, es menor del 2,5 %.

Recomendamos este método para la medición de distribuciones de importancia y pesos estadísticos a los distintos procesos, tales como absorción, dispersión, moderación, etc.

Quisiera agradecer al personal del RA1 por su amplia colaboración, puesta de manifiesto durante toda la experiencia, y en especial al señor MANFREDO KOPP, del Departamento de Electrónica de la CNEA, por sus sugerencias sobre optimización de las constantes de tiempo de los equipos y por sus trabajos en la puesta a punto de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

1. B. J. Toppel: *Nuclear Science and Engineering*, 5, 88-98 (1959).
2. G. Goertzel: *Reactor Handbook (Physics, Dynamics)*, ch., 1, 6.
3. A. F. Henry: *Nuclear Science and Engineering*, 3, 52-70 (1958).
4. R. E. Skinner y D. L. Hetrick: *Nuclear Science and Engineering*, 3, 573-594 (1958).
5. G. R. Keepin, T. F. Wimett y R. K. Zeigler: *Phys. Rev.*, 107, 1044-1049 (1957).
6. M. Ash: *ANL-5134, Reactor Engineering Division Quarterly Report*, junio 1-agosto 31 (1953).
7. M. Kopp y S. Pinasco: *Informe N° 3, C.N.E.A.* (1958).

REPRESENTACION DE $f(t) \approx \sum_{n=1}^6 \frac{A_n}{\beta_n} e^{-\beta_n t}$ DESDE 0 a 100 SEG

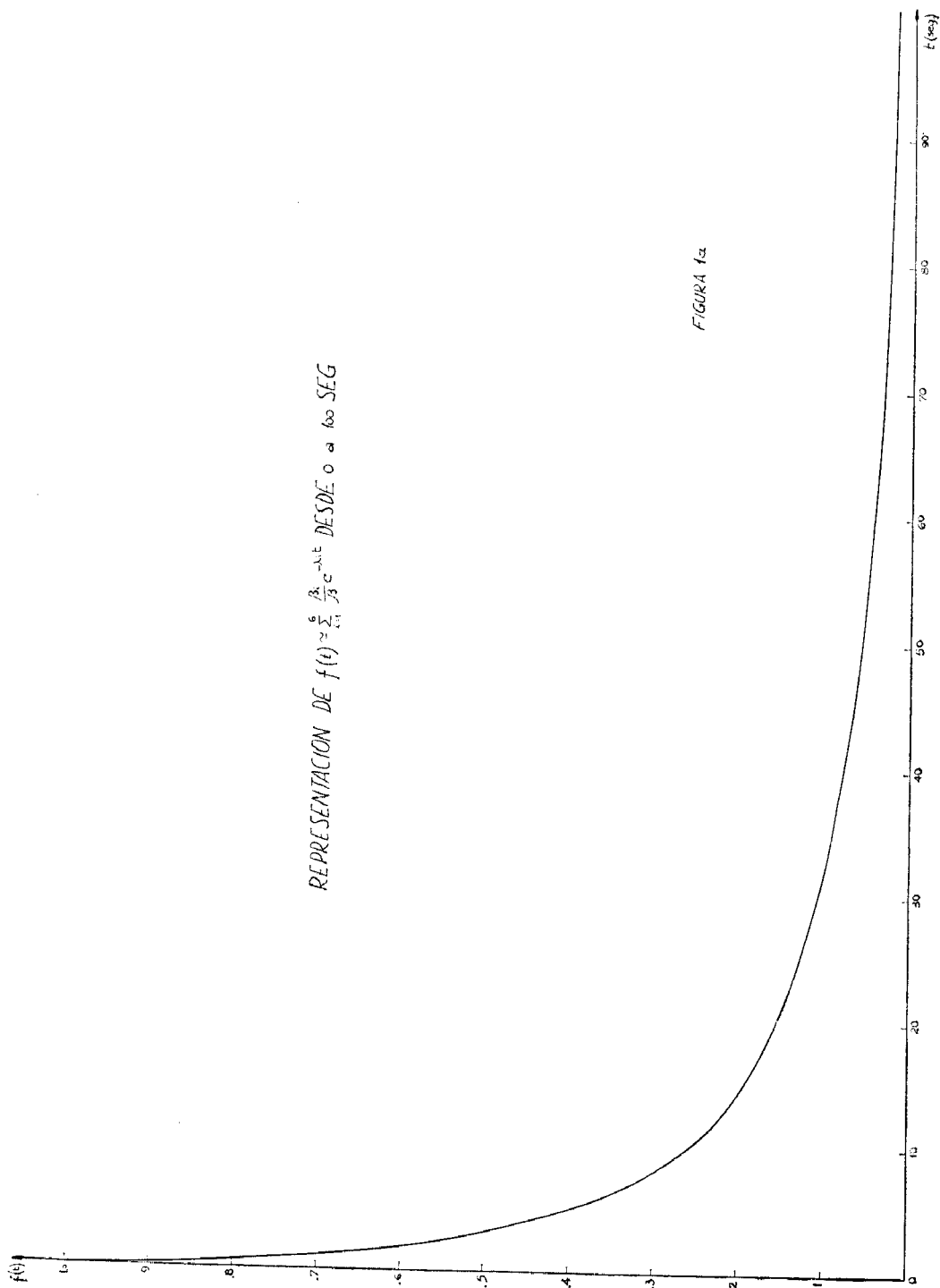


FIGURA 1a

REPRESENTACION DE $f(t) \approx \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{\beta} e^{-\lambda_i t}$ DESDE 0 a 5 SEG.

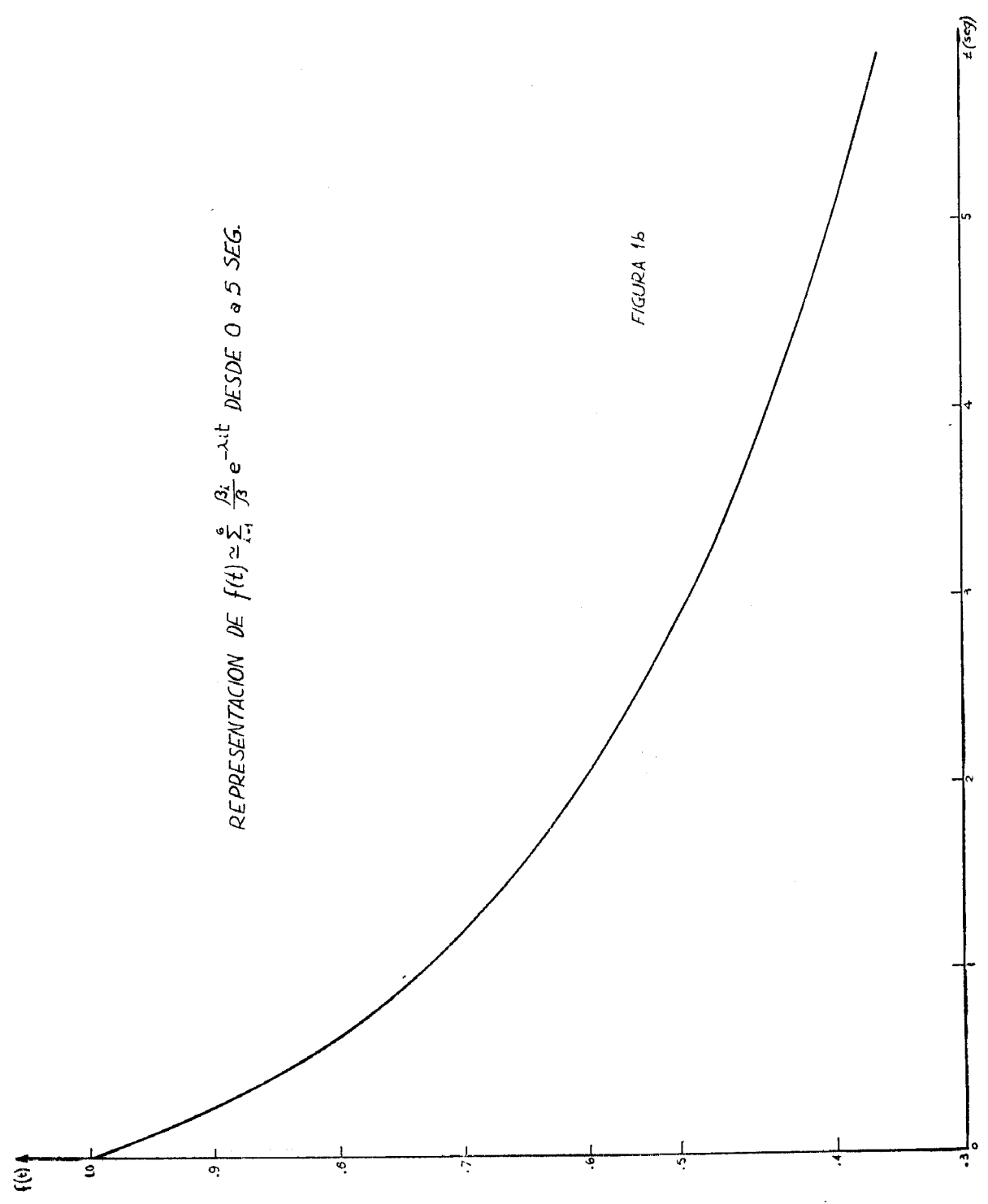


FIGURA 1b

REPRESENTACION DE $-f(t) \approx \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i \lambda_i}{\beta} e^{-\lambda_i t}$

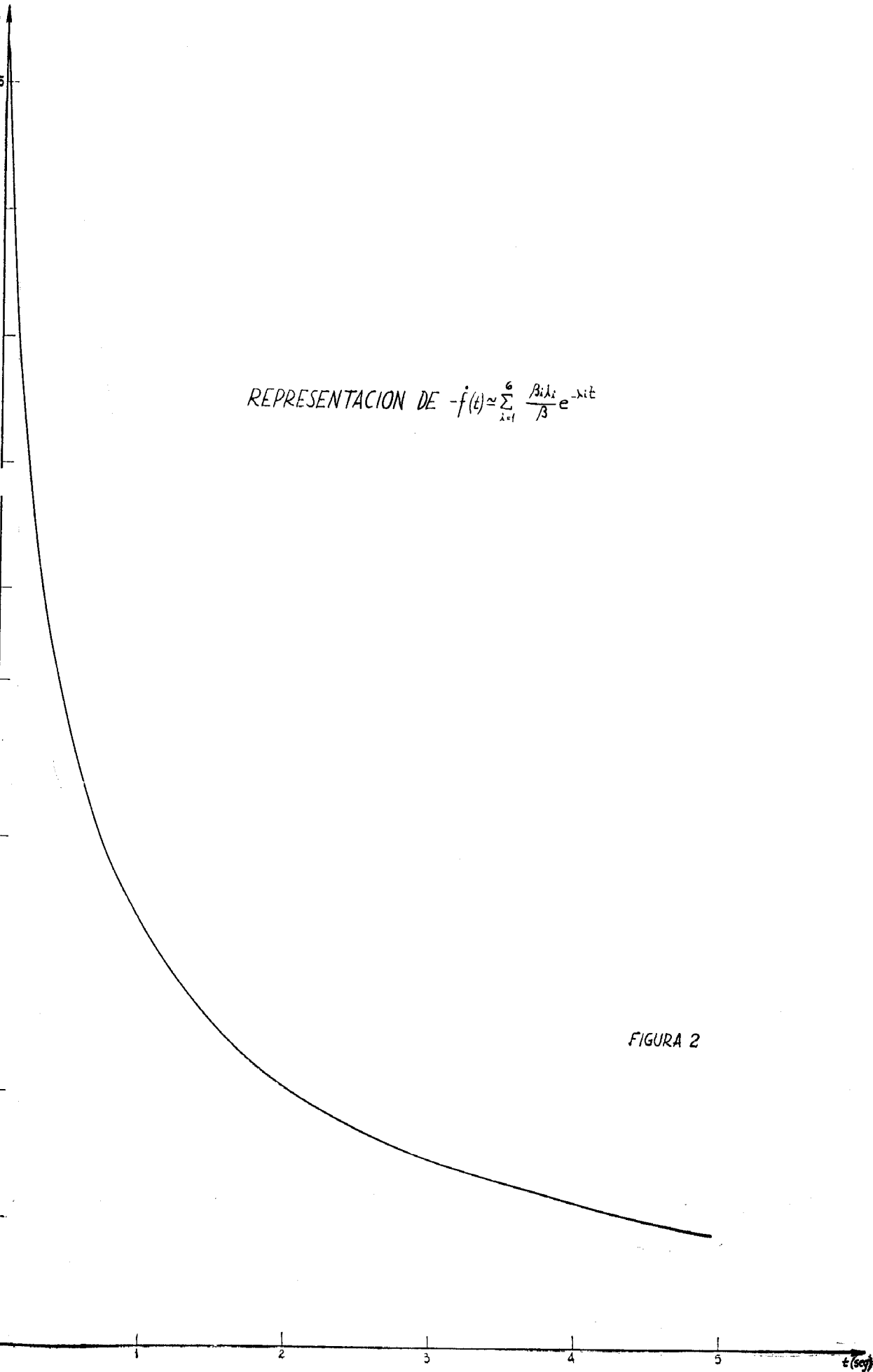
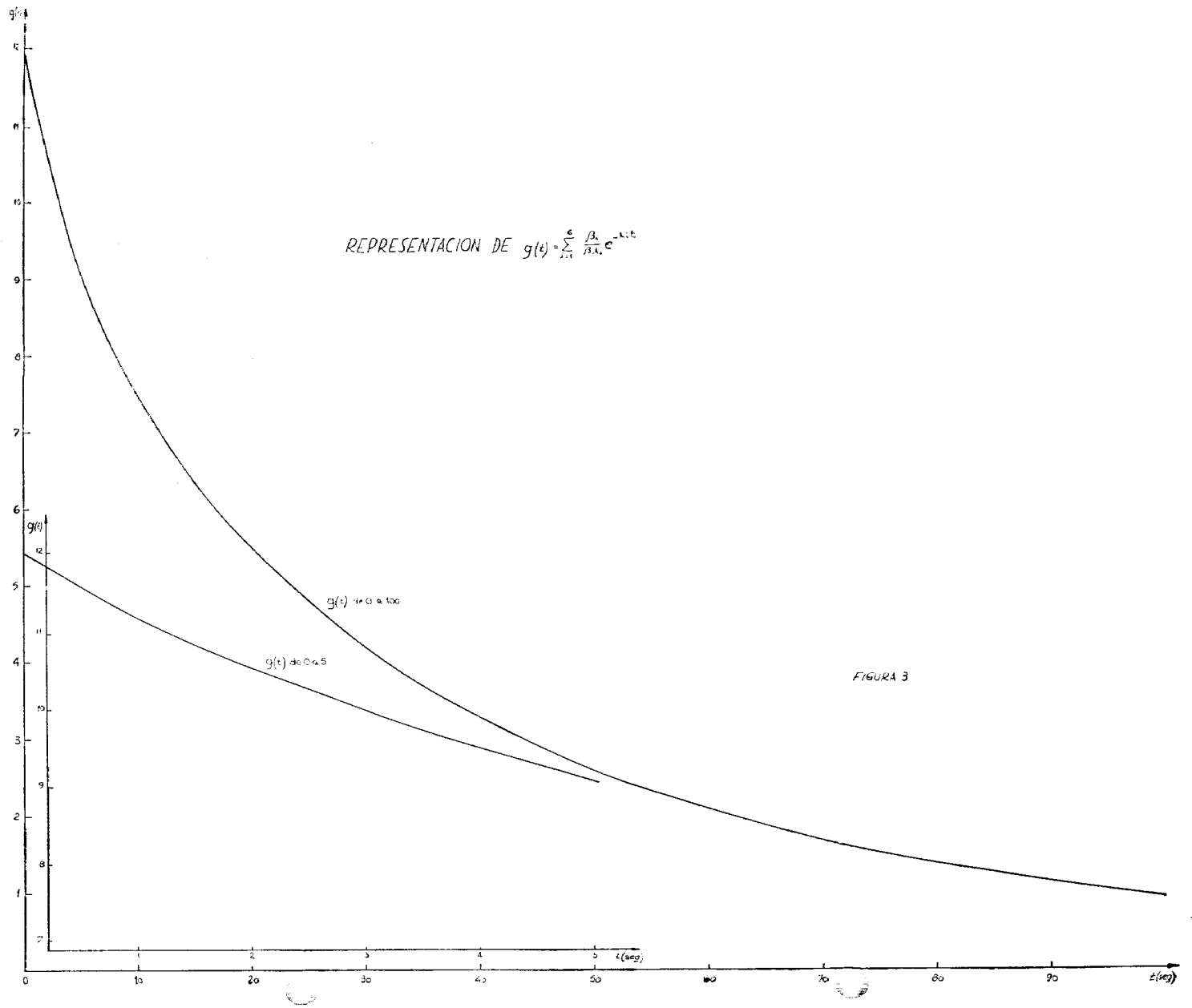
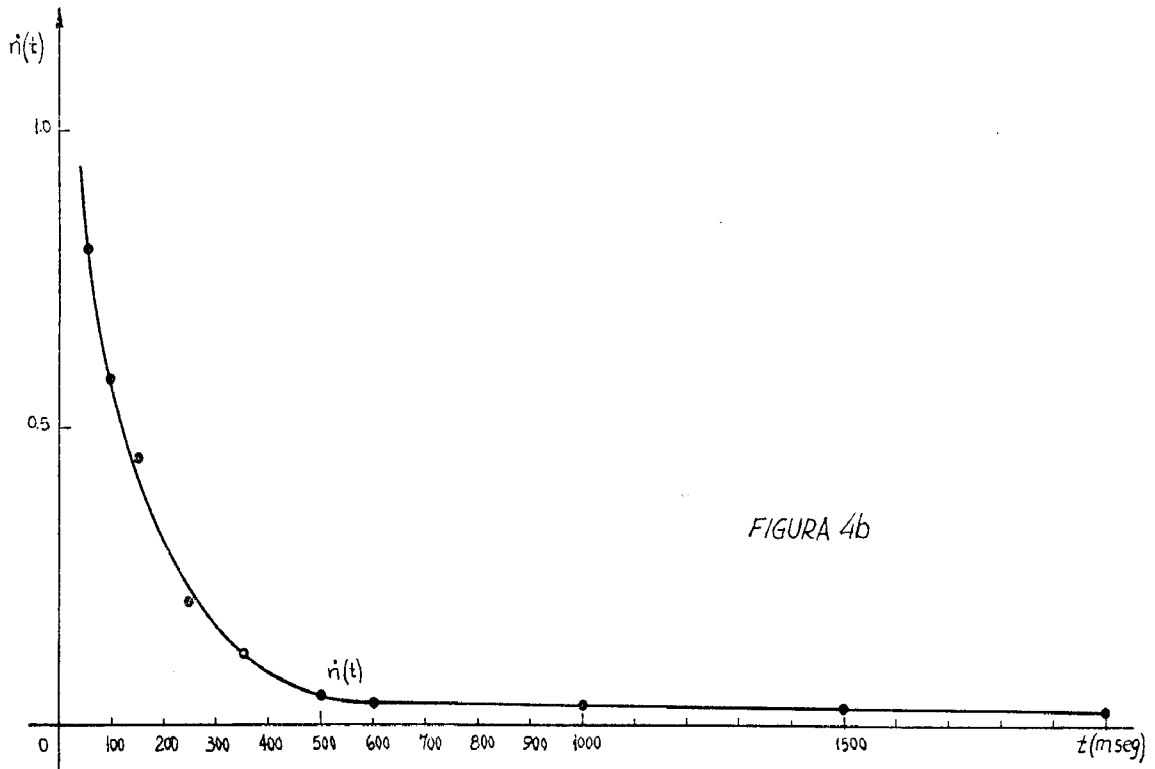
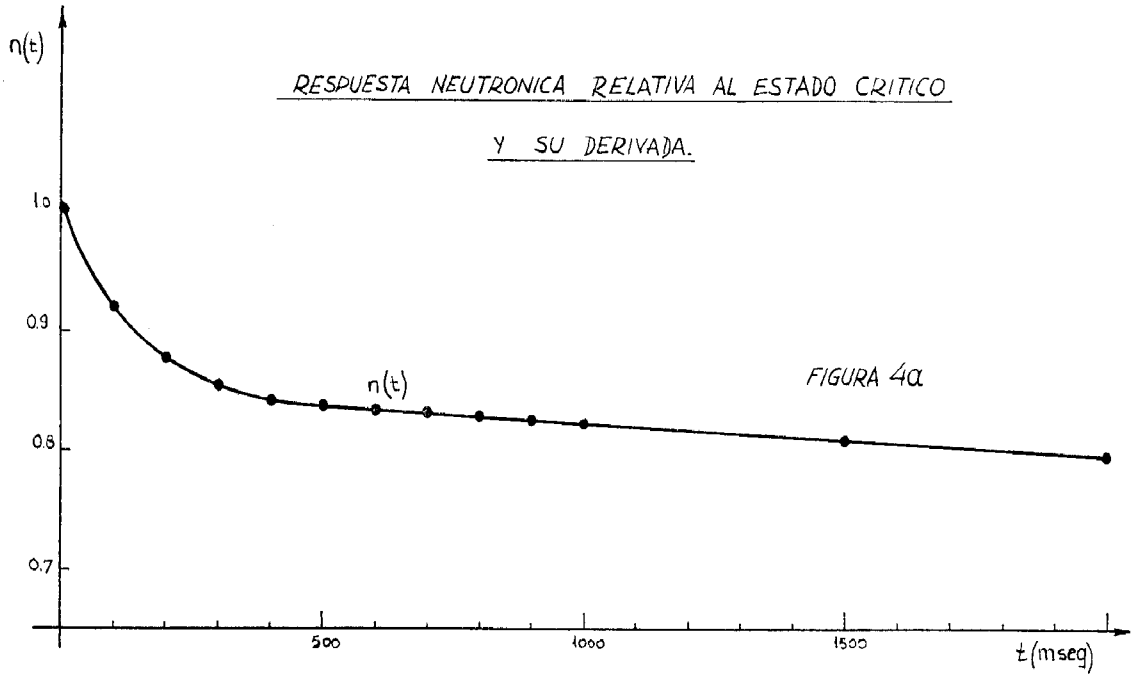
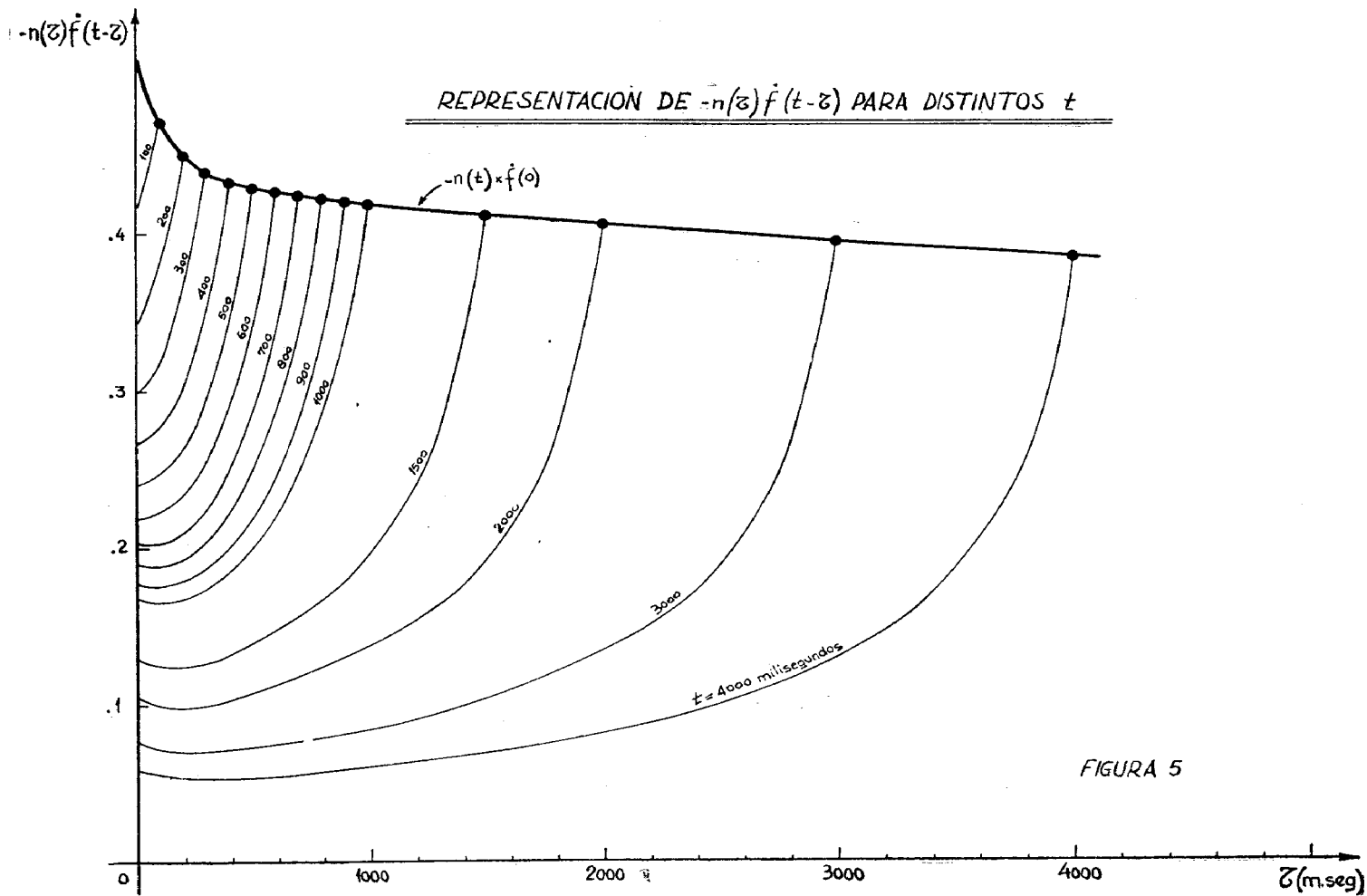


FIGURA 2

REPRESENTACION DE $g(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{\beta_{i1}} e^{-\lambda_i t}$







REACTIVIDAD EN DOLARES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

— (●) Reactividad lograda resolviendo gráficamente las ecuaciones de cinética
 - - - (▲) " " " " mediante el método aproximado de Ash

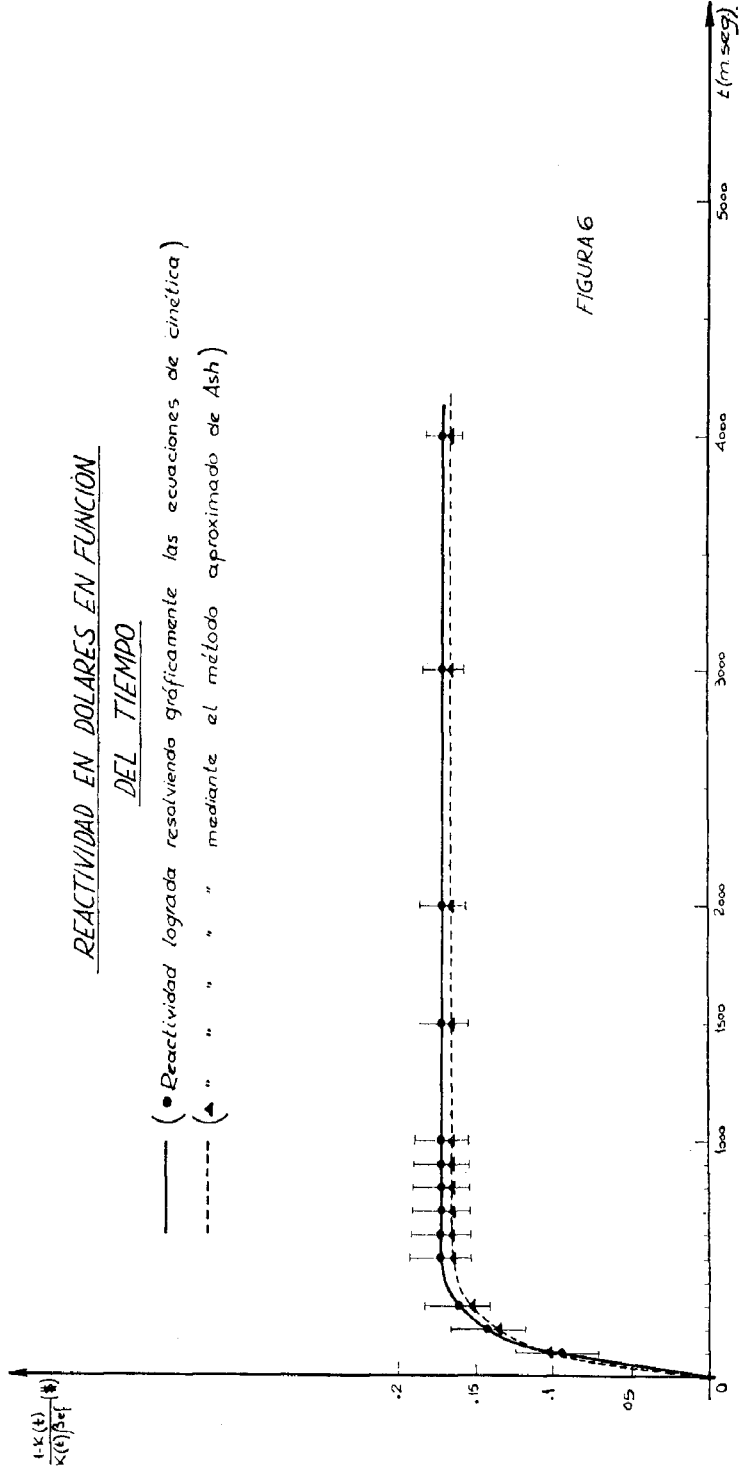


FIGURA 6

