

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	1967

08. 67. 03



Física de Reactores

PARAMETROS NUCLEARES

EN UNA CONFIGURACION DEL RA-3

N. Plaroni - H. Rapoport - G. Ricabarra

M. D. B. Ricabarra - R. F. Turjanski,

Diciembre 1967

Los autores agradecen la cooperación y sugerencias aportadas por el Ing. E. Elder.

Quedan también reconocidos al Ing. G. Martinez, Jefe del RA-2, por el apoyo prestado, y a las siguientes personas que participaron y colaboraron en las experiencias: C. Corderi, A. Di Bella, J. Gaudio, R. Mazzola, L. Petrucci, R. Pulichino y R. Schwedler.

Síntesis

Se resumen brevemente estudios preliminares efectuados en un núcleo similar al que utilizará el RA-3 en sus primeras operaciones.

Estos estudios comprenden determinación de reactividades de barras de control, supercriticidad del núcleo y vida media efectiva de neutrones instantáneos mediante métodos de neutrones pulsados, y mediciones de flujos térmicos y epitérmicos é índice espectral mediante técnicas de activación.

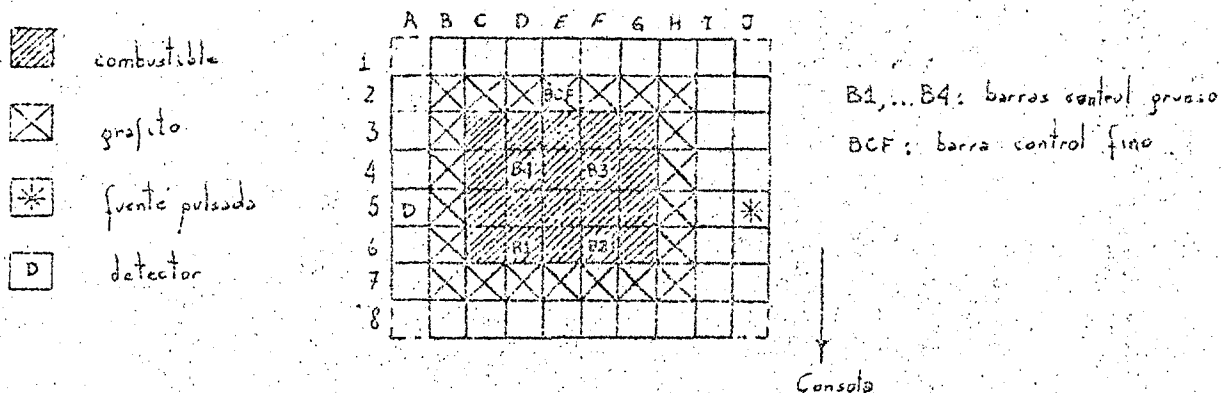
Introducción

En la facilidad crítica RA2 se han determinado reactividades y distribuciones de flujos en un núcleo similar al que utilizará el Reactor Nuclear de Experimentación y Producción (RA-3). El objeto de estas mediciones es suministrar los datos y conocimientos necesarios para la operación confiable y segura del nuevo reactor.

El núcleo consta de 20 cajas de elementos combustibles (tipo MTR) dispuestas en una configuración rectangular 4 x 5, rodeado lateralmente con grafito e inundado en agua. Las barras de control grueso, en número de 4, se ubican dentro de cajas especiales de elementos combustibles, mientras que una barra de control fino se encuentra en el reflector de grafito.

La disposición del núcleo sobre la grilla, junto con la denominación de las distintas posiciones, se muestran en Fig. 1.

(La denominación ha sido adaptada a la que se utiliza en el RA-3).



Configuración del RA2

Fig. 1

Medición de reactividades

Para estas mediciones se utilizaron la fuente pulsada de neutrones, analizador multicanal y dispositivos de detección y contaje de la División Física de Reactores.

Básicamente la técnica empleada (ver referencias bibliográficas /1/) consiste en inyectar un pulso de neutrones en el medio multiplicativo y observar el comportamiento transitorio de la densidad neutrónica en función del tiempo. Relacionando los datos experimentales con propiedades físicas del medio es posible determinar la reactividad del sistema. Existen varios métodos, /2/ y /3/, que necesitan como dato común la constante de decaimiento α del "modo fundamental" de los neutrones instantáneos en la curva respuesta del sistema /1/. Este parámetro se determinó en cada caso ajustando los valores experimentales por cuadrados mínimos utilizando el código ANA-III para cálculo mediante computadora /4/. Una vez obtenidos los valores de α , mediante el código ANA-II se calcularon las reactividades correspondientes según los métodos de Garelis-Russell, Cozani y Sjöstrand, /2/, /3/ y /5/. Los cálculos se efectuaron en la computadora BULL de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Manualmente se realizaron los cálculos según el método de Simmons-King /2/, que da la reactividad como

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha_c} - 1 \quad (1)$$

donde

β = reactividad en dólares

$$\alpha_c = \frac{\beta}{\lambda} = \text{cte. de decaimiento en el sistema crítico}$$

β = fracción efectiva de neutrones retardados

λ = vida media efectiva de neutrones instantáneos

La determinación de α_c se logró de dos maneras:

- a) por extrapolación, /2/, cuyo resultado se muestra en el gráfico de Fig. 2, obteniéndose

$$\alpha_c = (85.5 \pm 1.5) \text{ seg}^{-1}$$

- b) determinando por el método del período asintótico la subcriticidad de un estado particular del sistema, no demasiado alejado de crítico, y midiendo con neutrones pulsados el α correspondiente.

Se obtuvo

$$\beta = .250$$

$$\alpha = (107.0 \pm .7) \text{ seg}^{-1}$$

De (1)

$$\alpha_c = \frac{\alpha}{\beta + 1} \quad (2)$$

Reemplazando resulta

$$\alpha_c = (85.6 \pm .6) \text{ seg}^{-1}$$

Este último valor de α_c se utilizó en la aplicación del método de Simmons-King.

Suponiendo

$$\beta = .0065$$

se obtiene

$$\lambda = \frac{\beta}{\alpha_c} = (7.59 \pm .05) \times 10^{-5} \text{ seg}$$

Las reactividades obtenidas según los distintos métodos se muestran en Tabla I.

Tabla I

Barra	α (seg ⁻¹)	Reactividades según los distintos métodos (en dólares)			
		Gerald-Russell	Gozani	Simmons-King	Sjöstrand
B1	385.6 ± 2.2	3.382 ± .039	3.493 ± .042	3.504 ± .041	2.812 ± .032
B2	379.2 ± 3.4	3.359 ± .046	3.443 ± .049	3.430 ± .050	2.842 ± .035
B3	666.7 ± 2.5	6.663 ± .106	6.783 ± .121	6.789 ± .062	5.567 ± .097
B4	662.0 ± 15.7	6.788 ± .198	6.919 ± .242	6.734 ± .191	5.548 ± .191
BCF	147.6 ± 1.2	—	Periodo: 7.733 ± .010	.724 ± .025	—

Se indican solamente los errores estadísticos; los errores sistemáticos, debidos a las aproximaciones asumidas en cada método, no se tienen en cuenta.

El método de Sjöstrand es aproximadamente válido en estados cercanos al crítico. No sorprende entonces que en los casos de Tabla I. sus valores difieran bastante respecto a los otros métodos. Eliminando los resultados de Sjöstrand, los valores promedios se dan en Tabla II.

Tabla II

Valores promedios de las reactividades de las barras de control

(sigue en página siguiente)

Tabla II

Valores promedios de las reactividades de las barras de control

Barra	reactividad	
	valores	p.c.m.
B1	$3.460 \pm .040$	2249 ± 26
B2	$3.411 \pm .048$	2217 ± 31
B3	$6.748 \pm .096$	4384 ± 62
B4	$6.814 \pm .210$	4429 ± 137
BCF	$.728 \pm .018$	473 ± 12

Como era de esperar, dada la simetría del sistema, coinciden los valores de B1 y B2, y los de B3 y B4.

A fin de investigar la existencia de "efecto-pantalla" de las barras entre sí, se midió la reactividad conjunta de B2 y B4, obteniéndose

$$\text{reactividad (B2 + B4)} = (10.224 \pm .115) \text{ dólares}$$

De Tabla II se obtiene

$$\text{react. B2} + \text{react. B4} = (10.225 \pm .182) \text{ dólares}$$

lo que demuestra que las barras no se perturban apreciablemente entre sí en lo referente a sus valores de reactividad.

Este último resultado permite determinar la supercriticidad del núcleo sumando directamente las reactividades correspondientes a las barras introducidas en las distintas posiciones de criticidad. Utilizando las curvas diferenciales de Fig.^s 3, 4 y 5, se obtienen los resultados de Tabla III.

Tabla III

Posición de barras para estados críticos (% extraídas)					Reactividad de las barras introducidas (en dólares)
B1	B2	B3	B4	BCF	
100	54	100	0	100	8.25
52	100	0	100	100	8.27
100	100	60	0	100	8.36
58	100	78	0	100	8.48

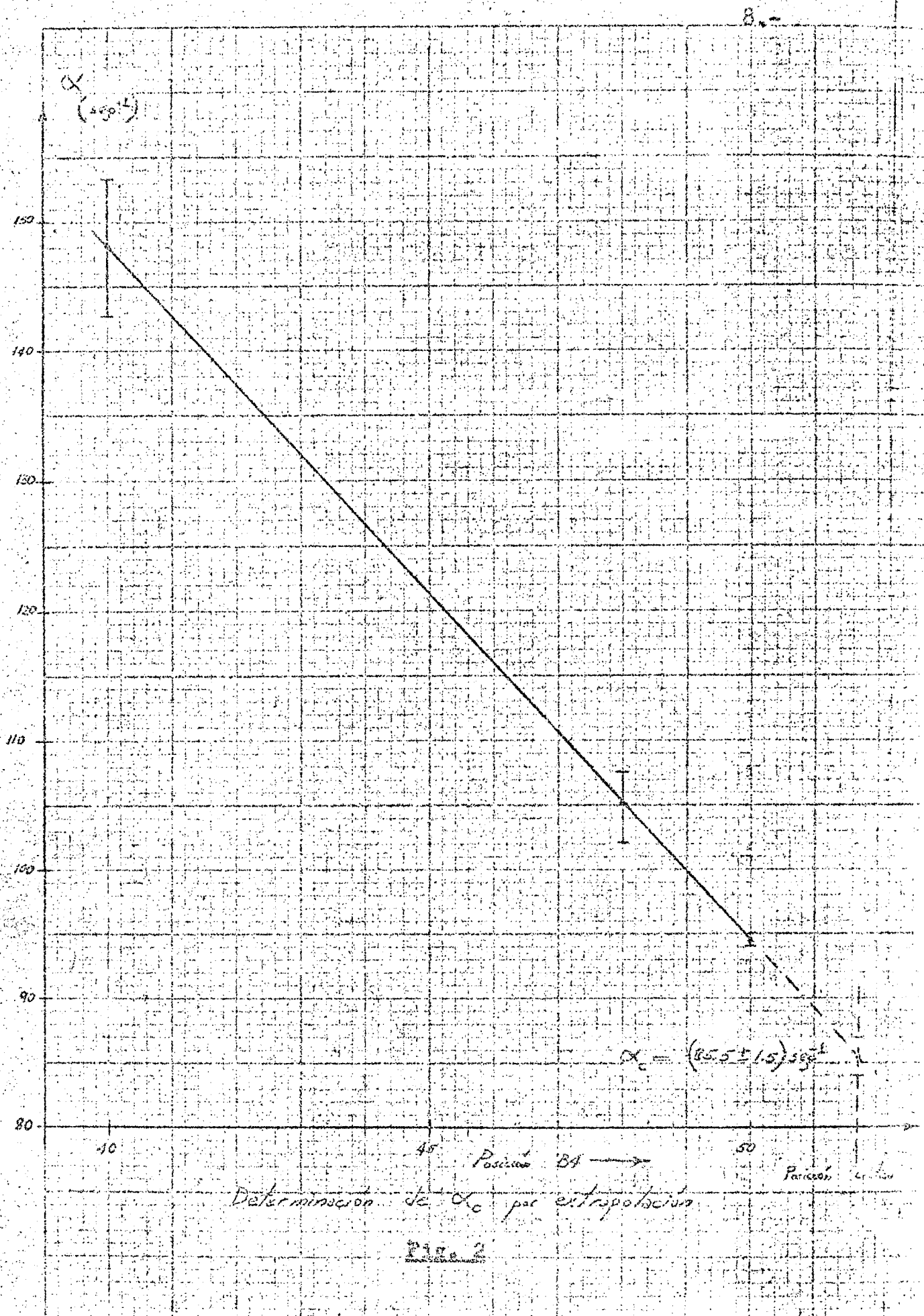
Tomando valores promedios se obtiene:

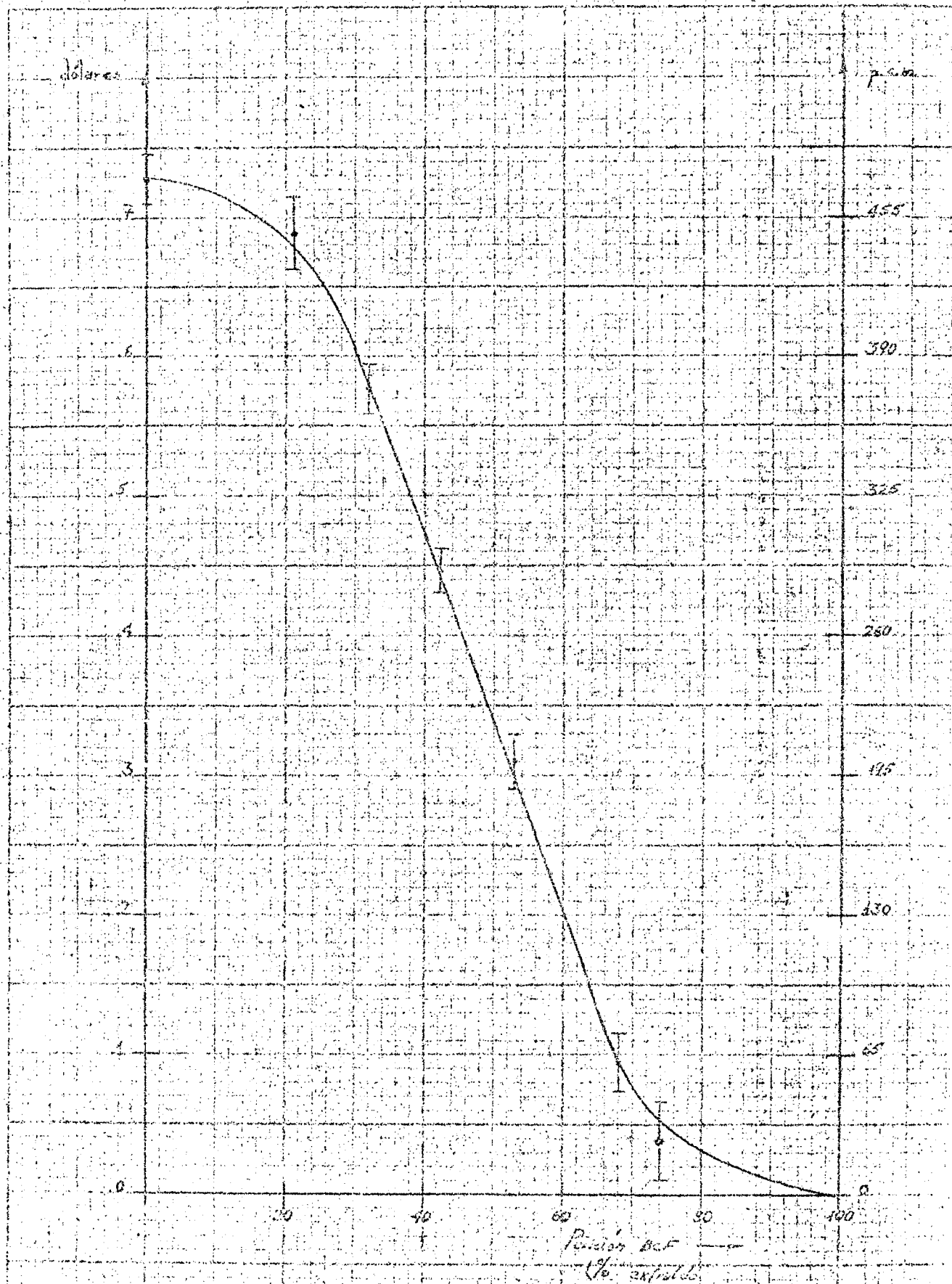
$$\begin{aligned}\text{Reactividad núcleo} &= (8.34 \pm .10) \text{ dólares} \\ &= (5420 \pm 65) \text{ p.c.m.}\end{aligned}$$

Aplicando nuevamente la no existencia de perturbación entre las barras, con ayuda de Tabla II se obtiene:

$$\begin{aligned}\text{Exceso de reactividad disponible para controlar} \\ \text{al reactor (shut-down reactivity)} &= (12.8 \pm .4) \text{ dólares} \\ &= (8320 \pm 260) \text{ p.c.m.}\end{aligned}$$

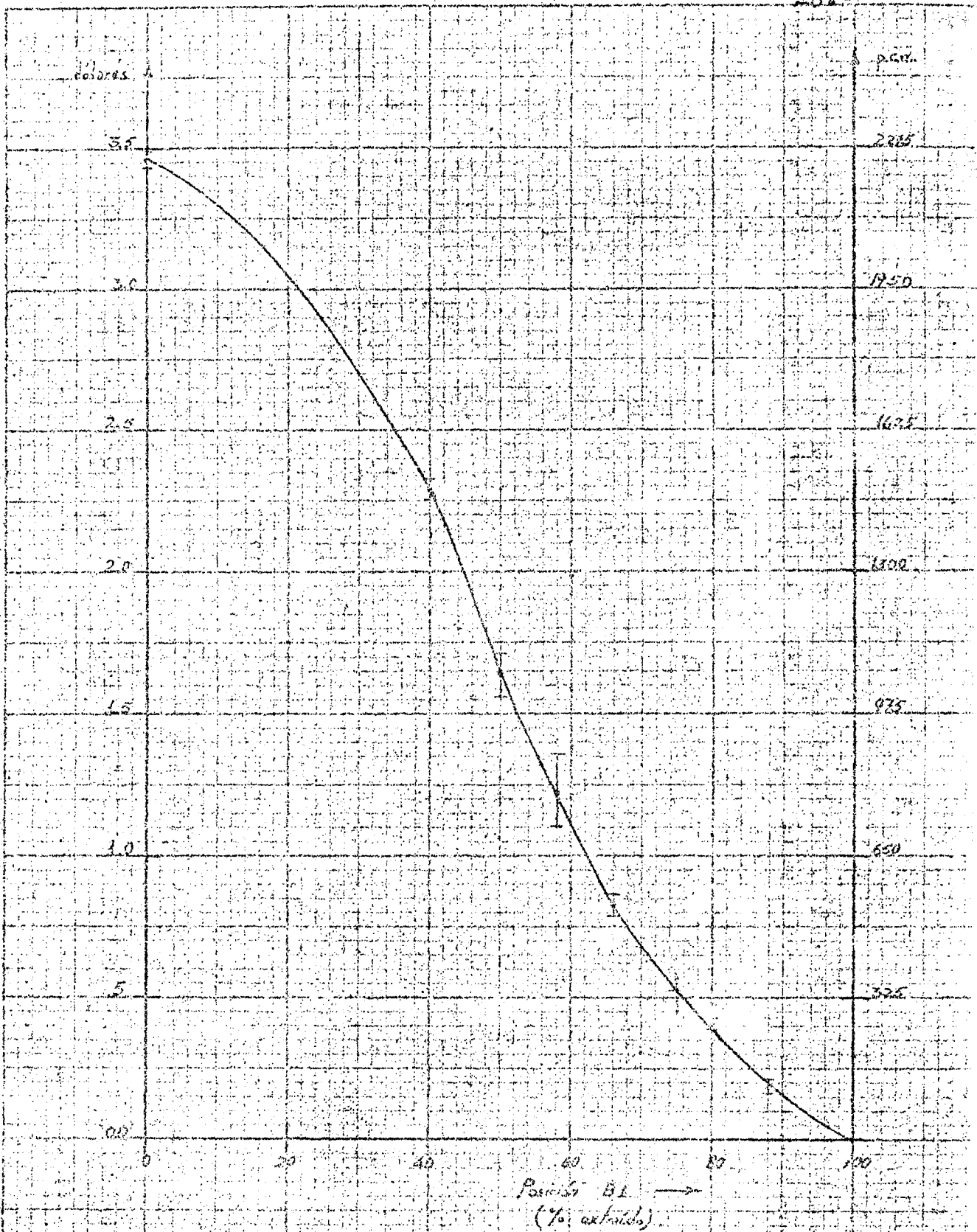
HEWLETT-PACKARD MODEL 5470A
 02700-001
 FOR USE ON ANALOG TAPE RECORDER
 10 MINUTE TAPES





Reactividad diferencial: barras de control fino

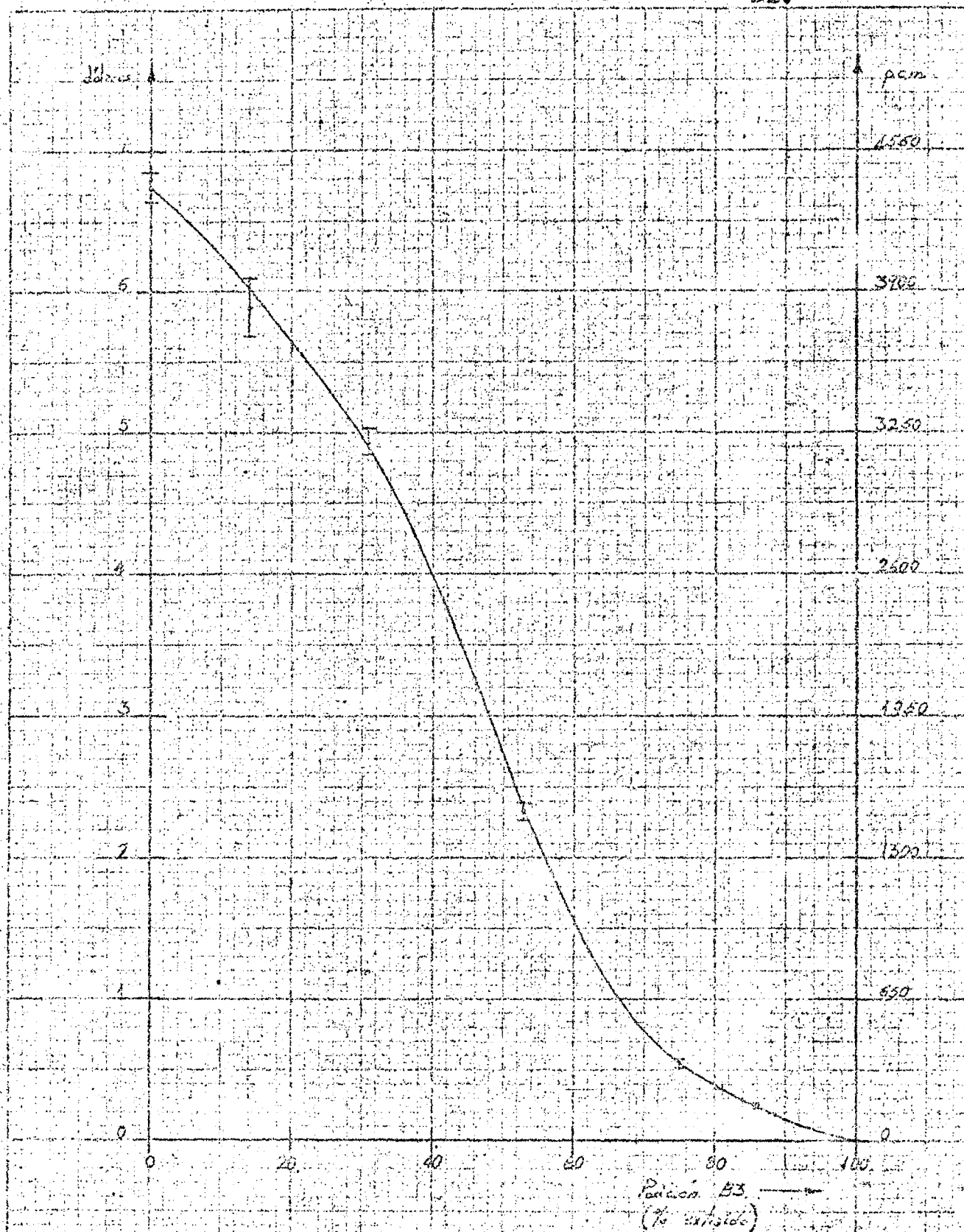
Figura 3



Reactividad diferencial barra 1

(se supone igual comportamiento para barra 2)

Fig. 1



Reactividad diferencial barra 3

(se supone igual comportamiento para barra 4)

Fig. 2

Distribución de flujo térmico y epitérmico

Las distribuciones de flujo en la configuración 4x5 reflejada con grafito, con 8 dólares de exceso de reactividad, se midieron para la posición de barras de control siguiente: Barra 1= 58-60%, Barra 2=100%, Barra 3= 76-80%, Barra 4= 0%, Barra Fina= 90-100%.

Método de medición

Las mediciones se hicieron en forma automática con un sistema compuesto de un cambiador de desplazamiento horizontal, que introduce cada muestra por elevación en un cristal de INa de pozo, blindado con plomo; un equipo imparte las órdenes de arranque y corte de la medida, impresión de la actividad e intervalo de medición y cambio de muestra.

El cristal de pozo está completamente blindado con plomo, de modo que pudo mantenerse un fondo inferior al 2% del conteo.

Para evitar hacer extrapolaciones exponenciales de la actividad se usó como generador de pulsos del reloj la actividad de una muestra del mismo período que el de la actividad a medir.

Para ello se midió la velocidad de conteo de una muestra del mismo material que las hojuelas usadas (In116,54 min.) en un espectrómetro, se introducen los pulsos del espectrómetro en la 1ª década del reloj del sistema automático de modo que funciona como un reloj exponencial.

La actividad de la muestra usada como reloj se ajustó a 5000 c/seg. al iniciar la medición, para evitar problemas de tiempo muerto y asegurar una estadística entre 0.1 y 0.3% durante el tiempo de la medición.

Para asegurar una buena estadística se usaron como detectores hojuelas de In de 100 mg/cm² de espesor y 0.5 cm de diámetro.

Los factores de depresión de flujo en la hojuela son constantes del detector que no afectan la forma de las curvas de flujo térmico y epitérmico. La diferente depresión de flujo externo en el grafito y en el moderador es despreciable para el diámetro de las hojas usadas. El error en el peso de las hojuelas es despreciable ($< 0.3\%$).

Para determinar el flujo térmico y epitérmico se midieron distribuciones de muestras desnudas y cubiertas de cadmio. El espesor de las cajas de cadmio usadas es de 0.5 mm.

Como soportes para introducir las muestras se usó lucite en el moderador y aluminio en el reflector. En algunos casos donde se requerían espesores muy delgados para introducir las muestras se usaron láminas de celuloide en el moderador.

Se midieron simultáneamente 25 a 30 muestras con una estadística mejor que el 0.5%.

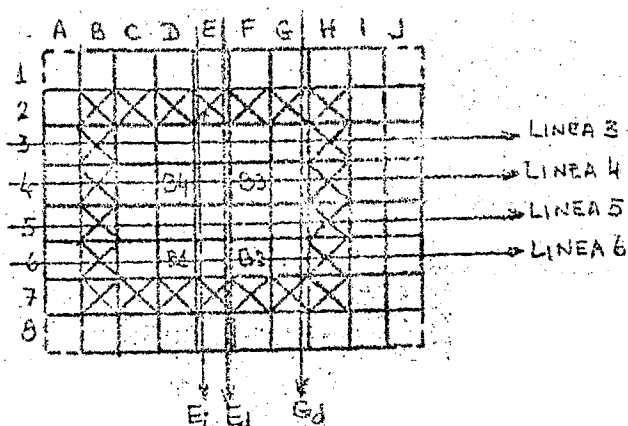
Distribuciones horizontales

Se hicieron cuatro distribuciones horizontales en el sentido normal a las placas de combustible, ubicando las hojuelas en el centro del moderador entre dos elementos y a la altura media del combustible, siguiendo los ejes (3), (4), (5) y (6), fig.6. En la línea (5) se midió la distribución a través del reflector (caja B5).

En sentido paralelo a las placas de combustible se hicieron 3 distribuciones: en la línea E₃-E₄-E₅-E₆-E₇ entre las placas 18 y 19 y en el grafito (E_d, fig.6), en E₃-E₄-E₅-E₆ entre los elementos 1 y 2 (E₁, fig.6) y G₃-G₄-G₅-G₆ entre chapas 18 y 19 (G_d, fig.6).

Distribuciones verticales

Se midió la distribución vertical en la caja E₅ en el centro del



Ejes según los cuales se realizaron
las distribuciones horizontales

Fig. 6

moderador entre los elementos 8 y 9. En la interfase con el reflector de grafito (B_5-C_5) se hizo una distribución vertical según un eje equidistante de los bordes. También se midió en la caja D_6 , en las proximidades de la barra de control 1, entre los elementos 6 y 7. Se tomó como cata, cero la altura media del combustible.

Las distribuciones de flujo se repitieron dos veces, en algunos casos, líneas (3) y (E1), sólo se verificaron uno o dos puntos de referencia en cada caja. Las distribuciones bajo cadmio se hicieron una vez y se repitió un punto de referencia en cada caja. Además se hizo una distribución general desnuda y bajo cadmio colocando una hoja entre los elementos 8 y 9 de cada caja.

Se usó siempre como testigo una hojuela ubicada en la caja E_5 entre las placas 8 y 9. Las distribuciones bajo cadmio se obtuvieron con una reproducibilidad de $\pm 2\%$.

Algunas distribuciones bajo cadmio se obtuvieron por interpolación de las otras curvas, en esos casos se indica en las figuras con un triángulo $\triangle$

Para normalizar las curvas de actividad epitérmica a total, se midió la relación de cadmio de una distribución vertical con hojas de 100 mg/cm² de In, colocando alternadamente hojas desnudas y bajo cadmio, con un testigo en E₅ entre 8 y 9 y se repitió invirtiendo las posiciones. Se obtuvo una R_{cd} constante entre -10 y + 5 cm alrededor del centro.

Resultados

De la actividad de una hoja desnuda (A_B) y bajo cadmio (A_{cd}) es posible obtener la actividad térmica y epitérmica (A_{ep1}), proporcionales al flujo térmico y epitérmico (ϕ_t y ϕ_{ep1}) :

$$A_B = A_t + A_{ep1}$$

$$A_{ep1} = F_{cd} A_{cd}$$

F_{cd} es un factor que corrige por absorción de neutrones epitérmicos bajo el corte de cadmio. Es función del espesor de Cd y del In. Para 100 mg/cm² de espesor de In y 0.5mm de espesor de Cd
F_{cd} = 1.28 /6/.

los resultados obtenidos se resumen en las curvas de distribución de ϕ_t y ϕ_{ep1} :

En la configuración medida se nota una fuerte perturbación debida a las barras de control introducidas y a los canales de agua que quedan donde las barras de control están retiradas.

La influencia de la paredes laterales de aluminio entre caja y caja se manifiesta claramente en la distribuciones E₁, E₄ y G₄.

Las dispersiones que se observan en algunos puntos de las distribuciones (3), (4), (5) y (6), se atribuyen a la dificultad de ubicar los soportes de las hojuelas en la proximidad de las barras de control.

Medición del índice espectral

Para conocer la relación de flujo epitérmico a térmico en el núcleo es preciso reducir al mínimo la depresión de flujo térmico y epitérmico en el detector /7/. Para ello, se usaron aleaciones de In-Pb con una concentración de 0.2% de In y se hicieron hojuelas de 0.1 mm de espesor y 5 mm de diámetro, con un espesor de 0.28 mg/cm² de In.

La depresión térmica es despreciable y el factor de depresión en la resonancia es de $G_r = 0.959$.

La homogeneidad de la aleación se aseguró irradiando hojas de igual peso, en el mismo flujo y calibrando según la actividad relativa. Se seleccionaron las hojas con igual factor de calibración dentro del 0.5 %.

Se midió la relación de Cd de una distribución vertical como se indicó para hojas gruesa, la medida se hizo usando las mismas hojas en la dos irradiaciones.

De la relación de Cd se obtuvo el índice espectral $r\sqrt{T/T_0}$ (r de Wescott) /8/, mediante la expresión /7/:

$$r\sqrt{T/T_0} = \frac{1}{(FR_{cd}-1)\frac{S_0 G_r}{g} + FR_{cd}\left(\frac{1}{KF} - \frac{W}{g}\right)}$$

donde

$$R_{cd} = 1.690 \pm 0.017$$

$$S_0 = 18.7, \quad W = 0.310, \quad G_r = 0.959$$

$$F = 0.97, \quad g = 1.021, \quad 1/K = 0.499 \text{ para } E_{cd} = 0.51$$

Obteniéndose para el punto de referencia $E_5(8-9)$:

$$r\sqrt{T/T_0} = 0.0864$$

$$y \quad \lambda = \frac{\phi_{\text{ex}}}{\phi_t} \quad \text{de la expresión:}$$

$$\lambda = \frac{r \sqrt{\frac{T}{T_b}}}{1 - r \sqrt{\frac{T}{T_b}} b}$$

$$b = \frac{4}{\sqrt{\mu \pi}}, \text{ tomando } \mu = 4$$

Se obtiene:

$$\lambda = 0.096$$

Conociendo λ en un punto de referencia y las distribuciones de flujo térmico y epitérmico es posible obtener λ_x en cualquier punto mediante la relación:

$$\lambda_x = \left(\frac{\phi_{epi}}{\phi_t} \right)_x \cdot \frac{\lambda}{\frac{\phi_{epi}}{\phi_t}}$$

Apéndice

Factor de forma

Si definimos el factor de forma como la relación entre el flujo térmico medio en el núcleo y el flujo térmico en el punto de referencia (E₅ entre 8 y 9), $f = \bar{\phi} / \phi_r$, es posible obtener una estimación de la potencia.

Del análisis de las curvas de flujo térmico se obtuvo $f = 0.65$

Para obtener un valor más ajustado es necesario hacer una distribución fina en todas las cajas de control.

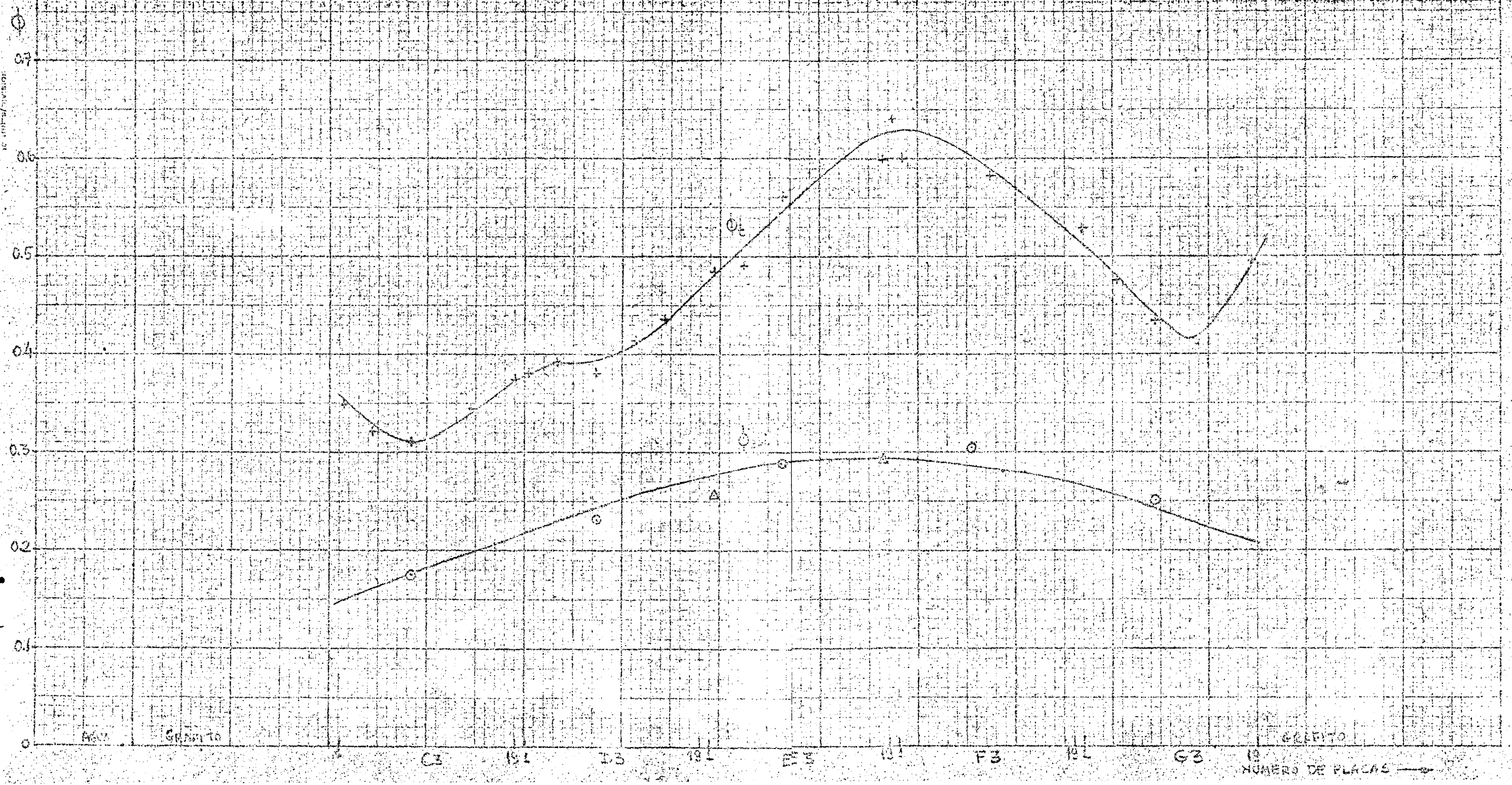
En una primera aproximación la potencia térmica referida al flujo en E₅ (8-9) es:

$$P = 4,51 \times 10^{-11} \times G_u \times f \times \phi_r$$

donde P es la potencia expresada en vatios, G_u la masa de U_{235} en gramos, f el factor de forma definido más arriba y ϕ_r el flujo en E₅(8-9) en neutrones por cm² y segundo. La constante de la expresión anterior se calculó tomando la sección eficaz de fisión del U_{235} , $\sigma_f = 580 \cdot 10^{-24}$ cm² y la relación de fisiones a energía, $c = 3.3 \cdot 10^{10}$ fis./vatio seg.

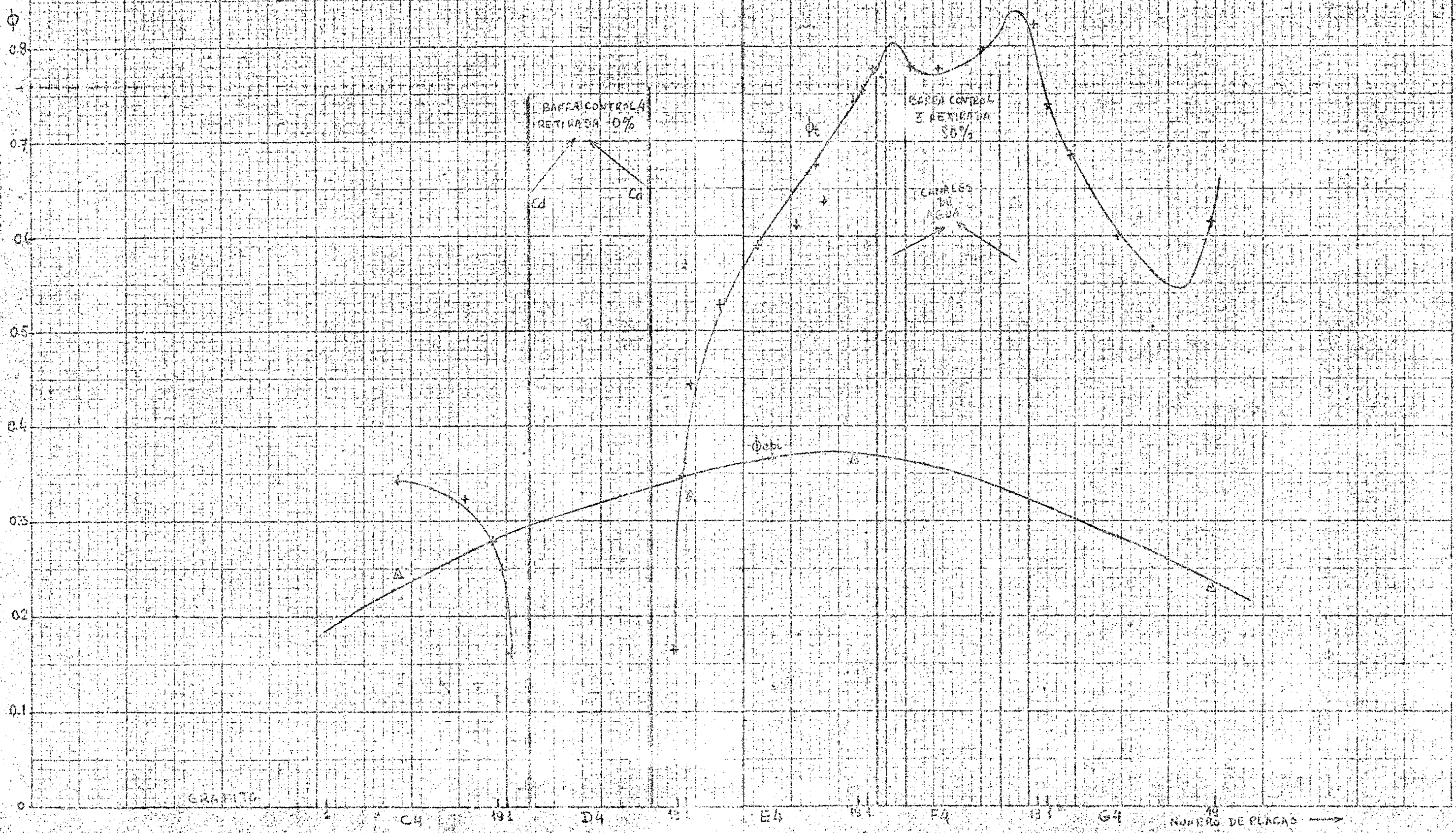
HEWLETT-PACKARD/ROSELEY DIVISION
82704005
FOR USE ON ANALOGUE REPRODUCERS
IN INCH/INCH

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUJO TERMICO (Φ_t) Y EXTERMINO (Φ_{ext}) LÍNEA 3



DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUJO TERMICO (Q_t) Y EPITERMICO (Q_{ep}) LINEA A

NEWLETT-PACIFIC MASSACHUSETTS DIVISION
0.0001 INCH
FOR USE ON AUTOMATIC PENCIL
IN 1/2 INCH DIVISION

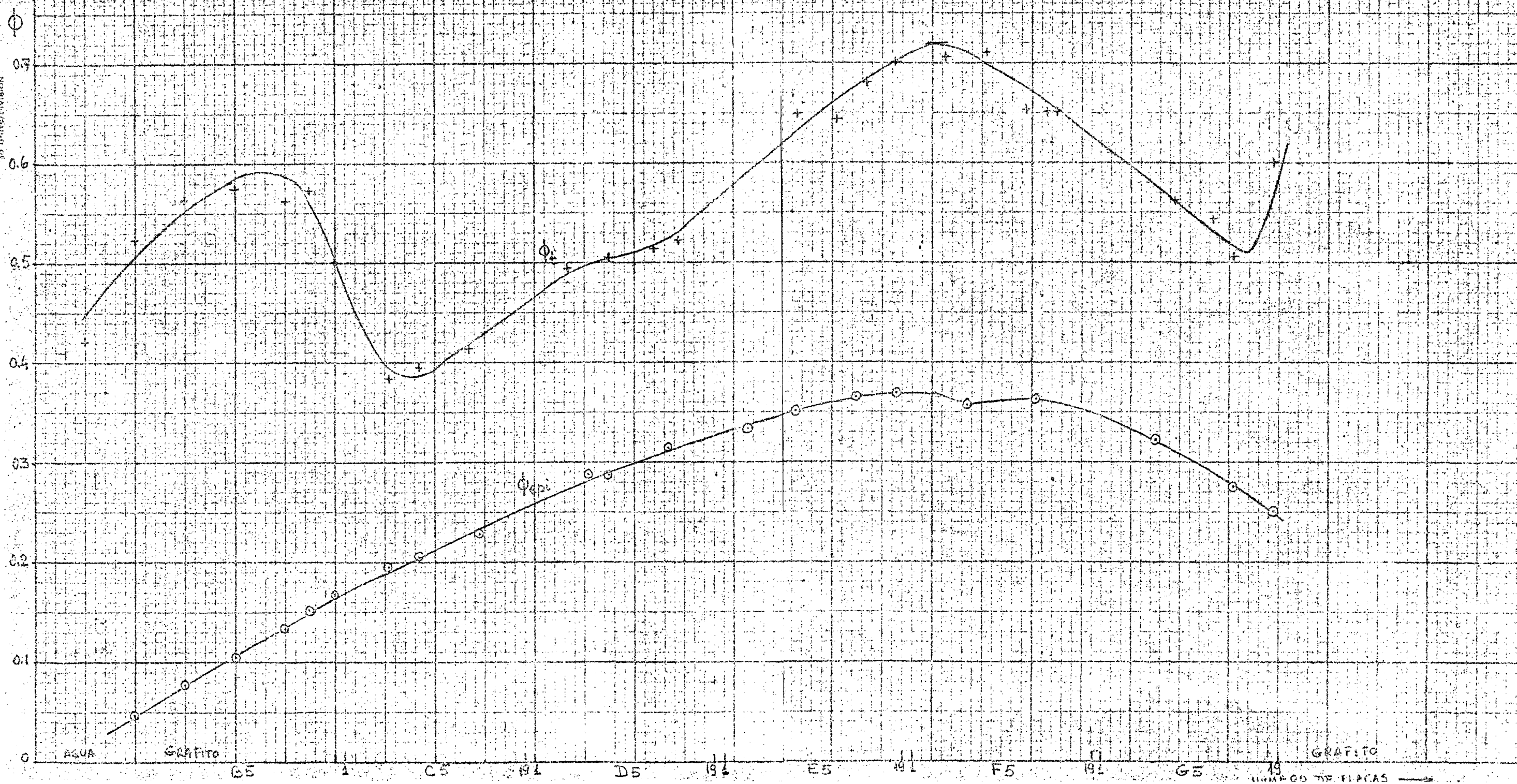


GRAPHIC

NUMERO DE PLACAS →

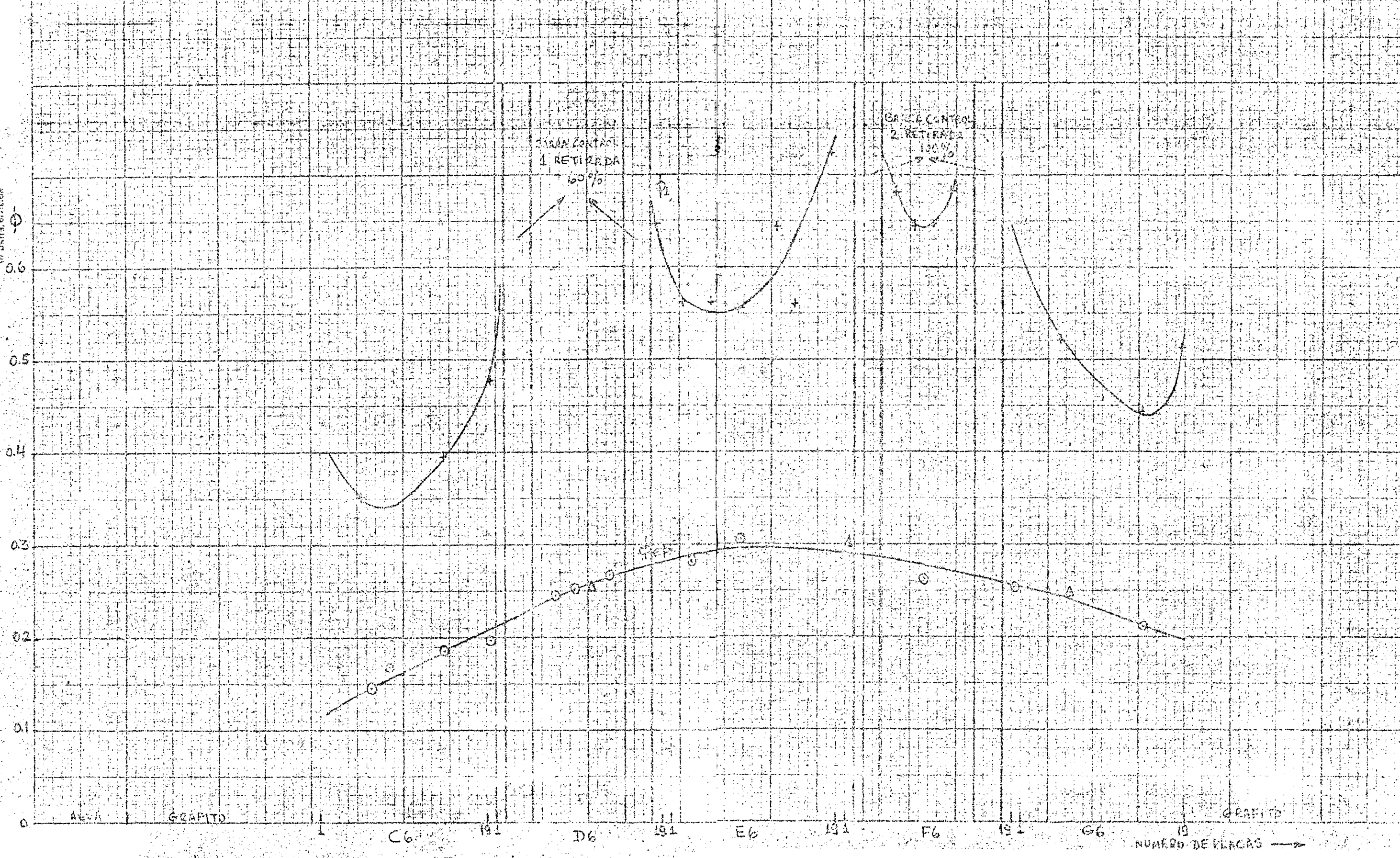
HAWLETT-PACKARD/MOSLEY DIVISION
B276-1002
FOR USE ON AUTOGRAPH RECORDERS
50 UNITS/DIVISION

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUIDO TERMICO (ϕ_t) Y EPITERMICO (ϕ_{epi}), LINEA 5



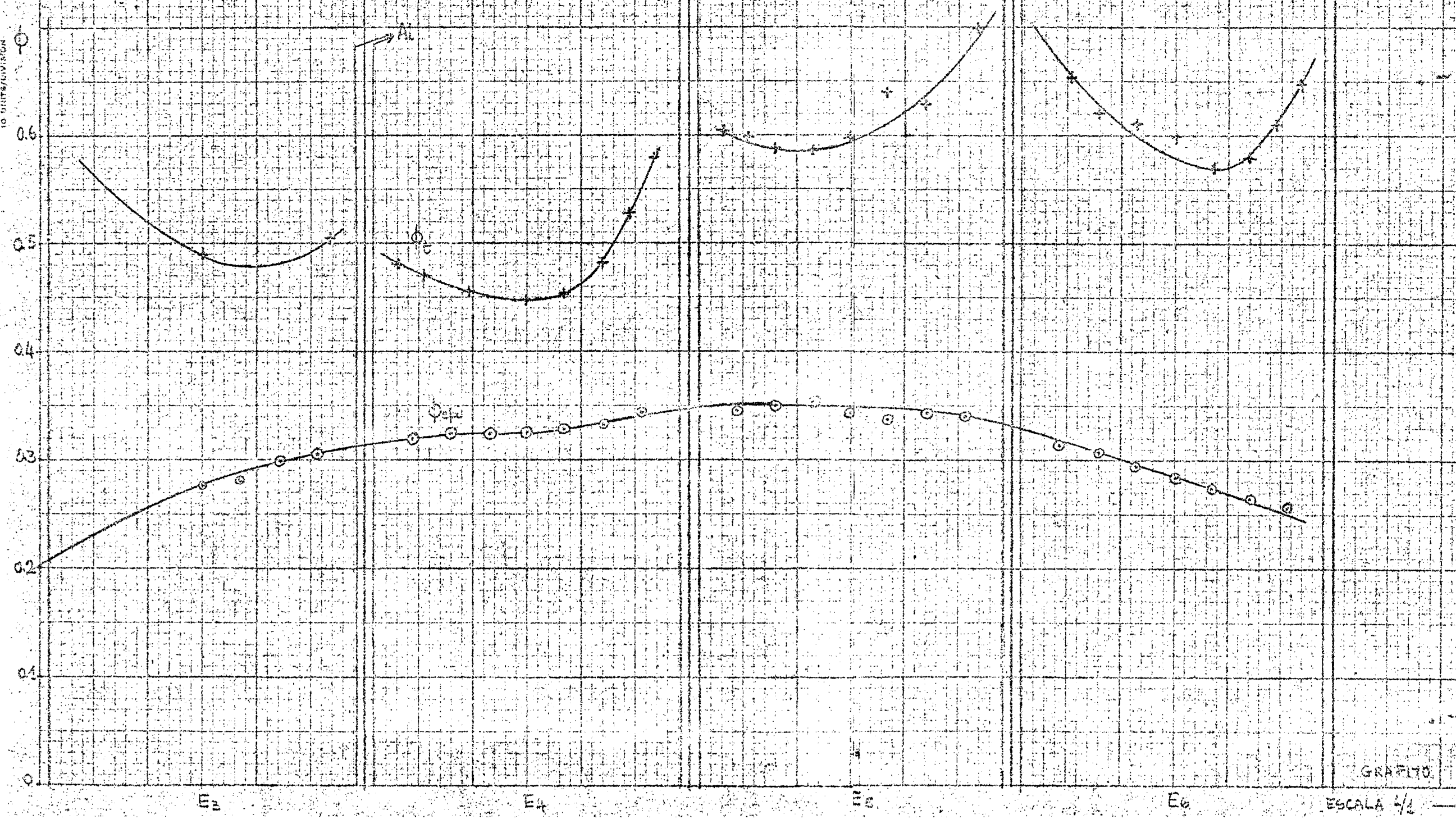
REVISIT PASCHARD/NOBLE DIVISION
2701005
FOR USE ON AUTOCORRELATION
IN UNITS, GIGHER

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FUSION TERA CO (O) Y EPITERMICO (O) LIN 1



DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUJO TERMICO (Q_x) Y EPITERMICO (Q_{ep}) LINEA E1

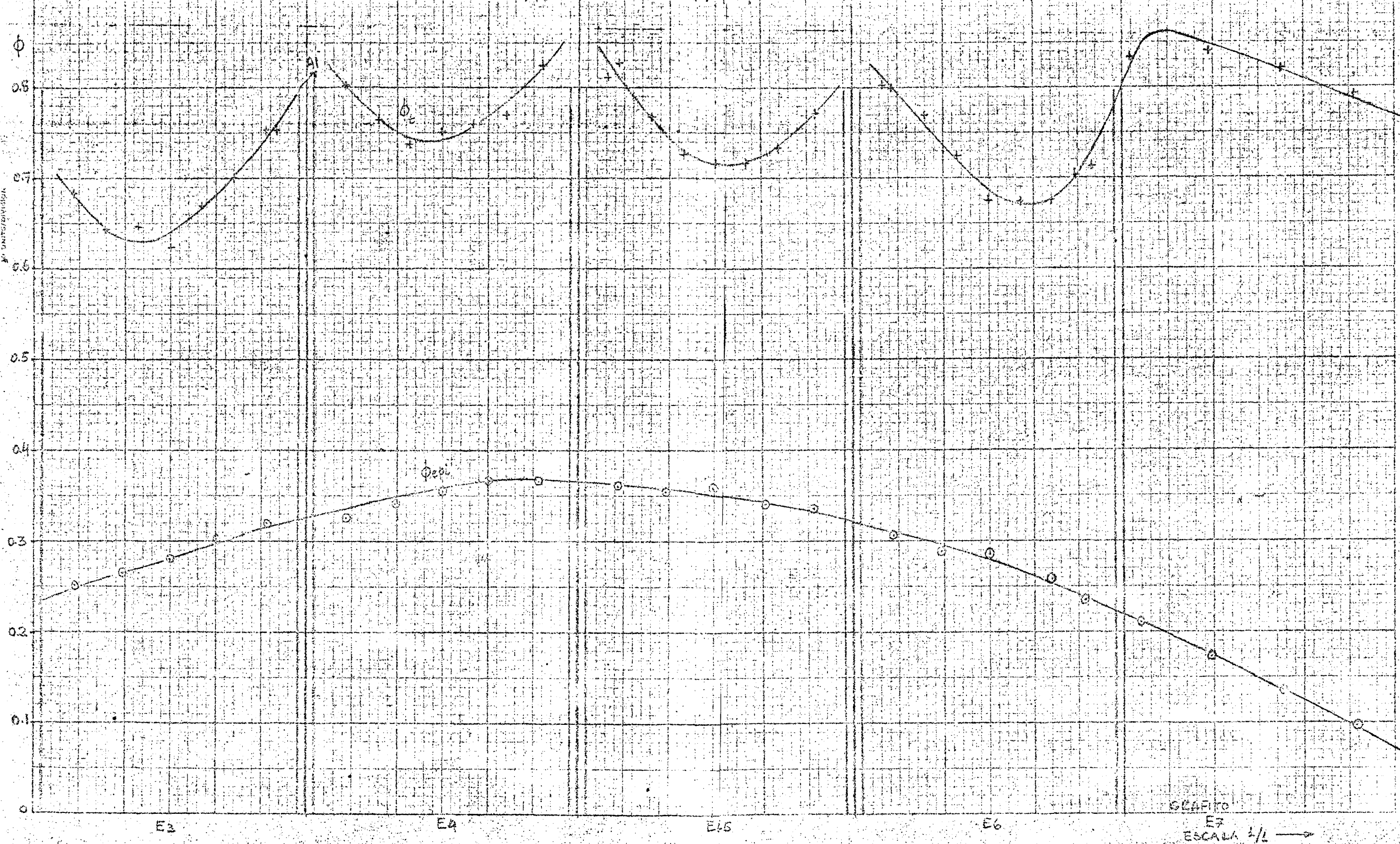
HEWLETT-PACKARD/MUSCLEY DIVISION
0270-1003
FOR USE ON AUTOGRAPH RECORDERS
10 UNITS/DIVISION



GRAFITO

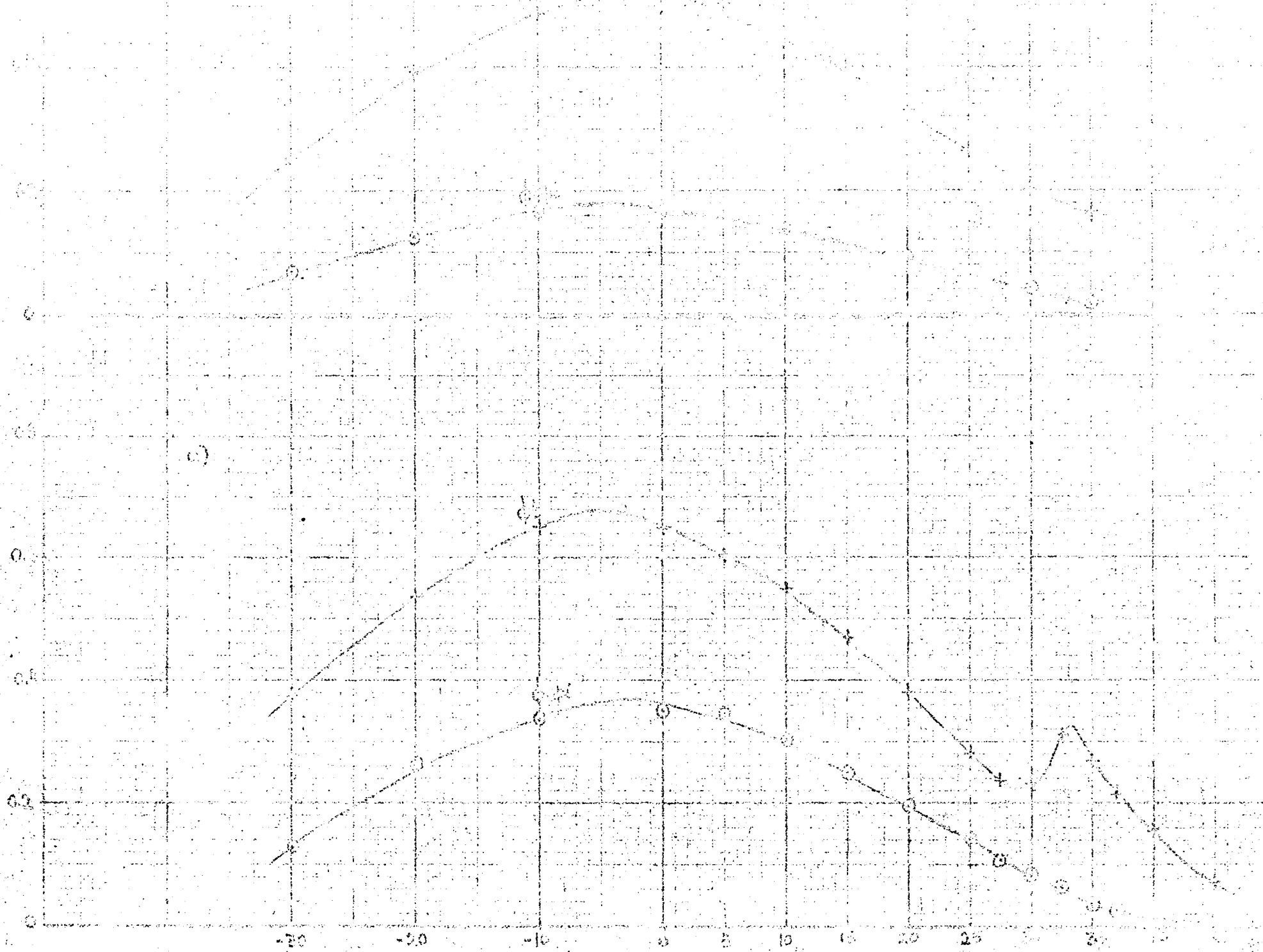
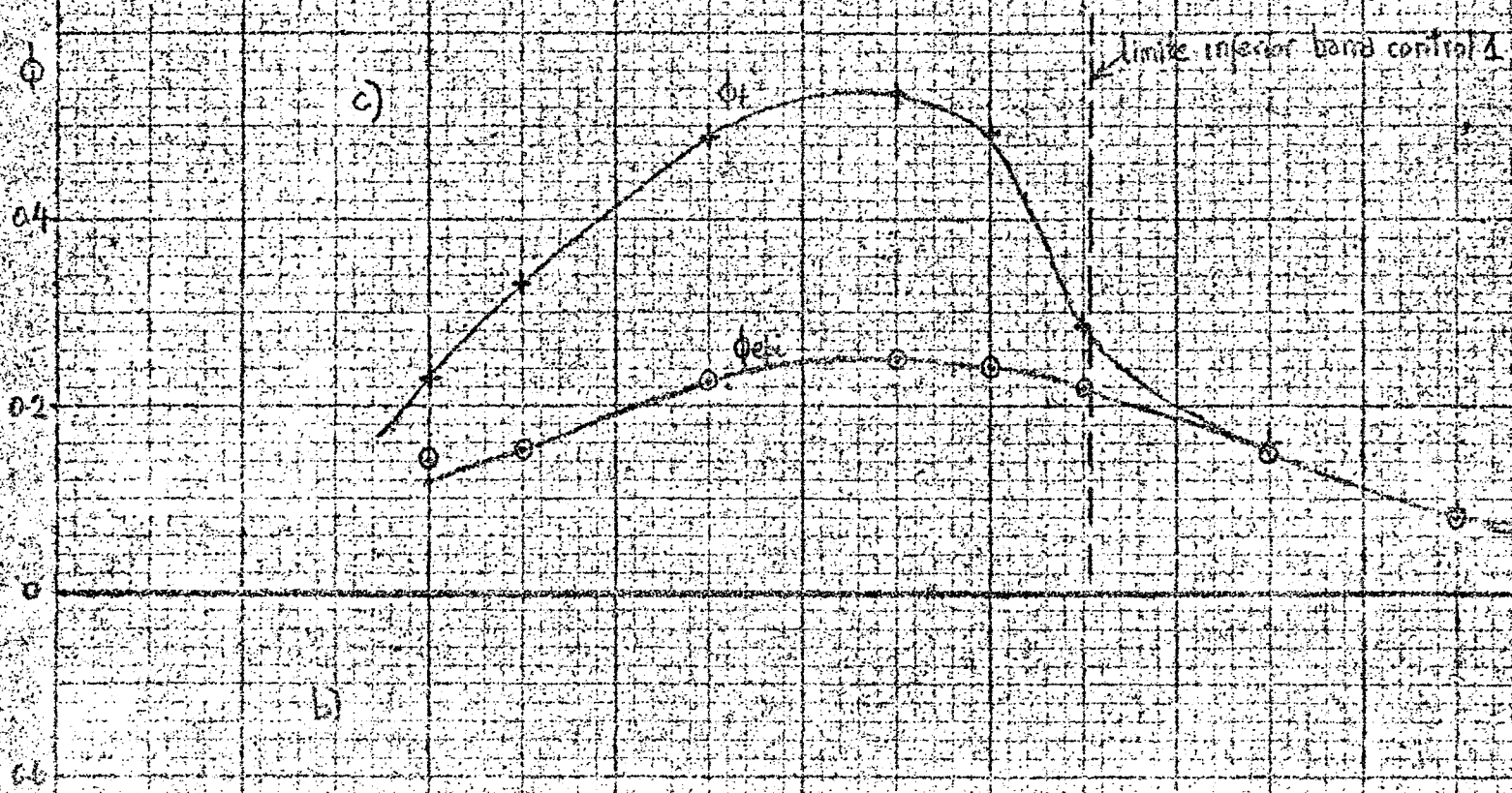
ESCALA 1/1

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUJO TERMICO (Φ_t) Y EPI TERMICO (Φ_{ep}) LINEA E₃



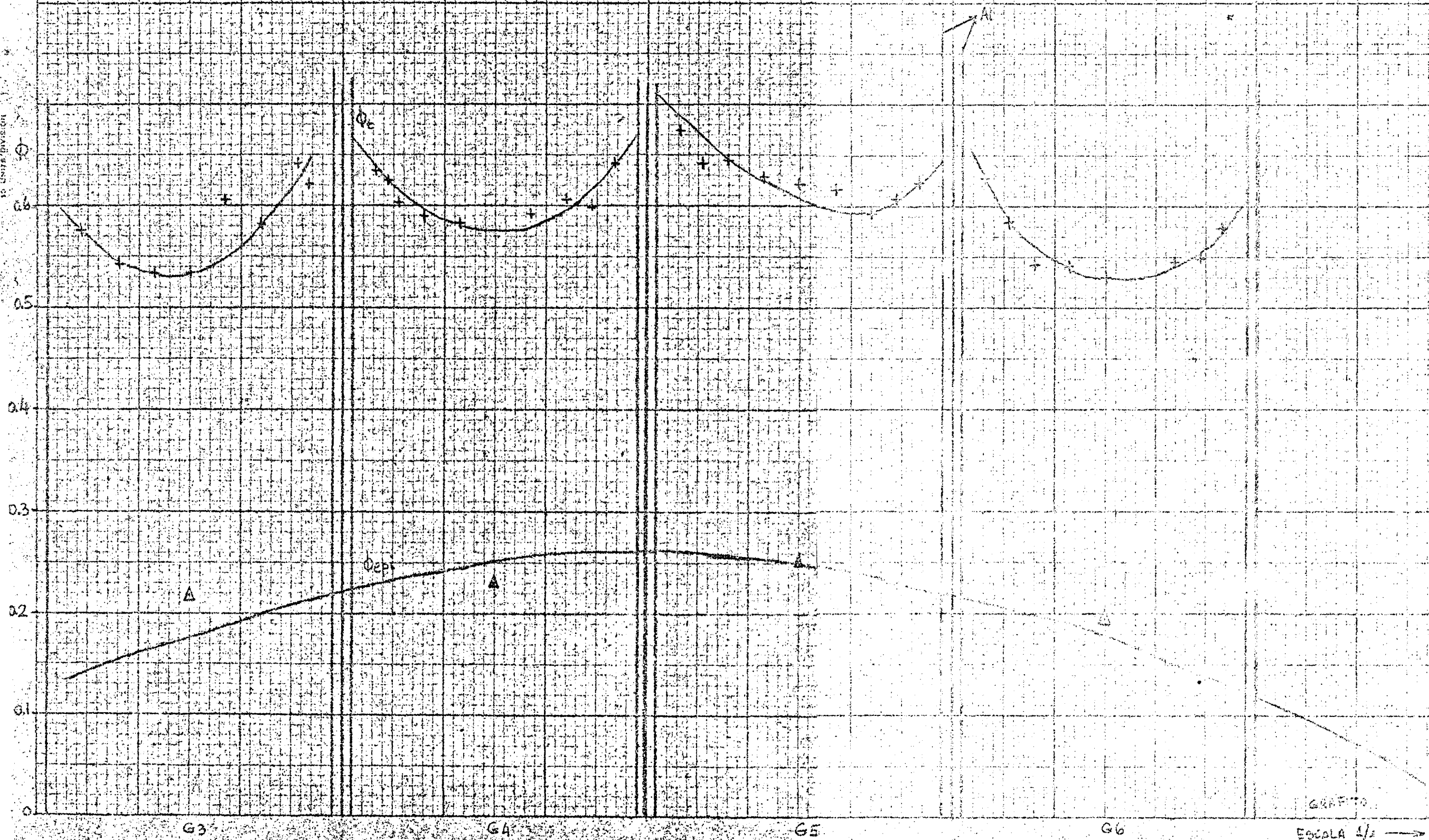
DISTRIBUCIONES VERTICALES DE FLUJO TERMICO (ϕ_t) Y EPITERMICO (ϕ_{et})

- a) En E5 entre placas 8-9
- b) En interfase B5-C5
- c) En D6 (barra de control 1) entre placas 6-7



HEWLETT-PACKARD/MODEL 1000
0270-1000
FOR USE ON AUTOGRAPH RECORDERS
10 UNITS/DIVISION

DISTRIBUCION HORIZONTAL DE FLUJO TERMICO (Φ_e) Y EPITERMICO (Φ_{ep}) LINEA G.



Referencia bibliográfica

- 1.- E.Pasquini, N.Pieroni, Introducción a Métodos de Neutrones Pulsados, Junio 1966.
- 2.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe No 1, Agosto 1966.
- 3.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe No 2, Noviembre 1966.
- 4.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe No 3, Abril 1967.
- 5.- N.G.SjEstrand, Ark.Fys. 11 (1957)233.
- 6.- K.H.Beckurts, K.Wirtz, Neutron Physics, Spriner-Verlag, New York, 1964.
- 7.- G.Ricabarra, M.D.B.Ricabarra, R.F.Turjanski, Medición de Integrales de Resonancia de Activación, Parte 1, 1967.
- 8.- C.H.Westcott, AECL-1101, 1960.

Referencia Bibliográfica

- 1.- E.Pasquini, N.Pieroni, Introducción a Métodos de Neutrones Pulsados, Junio 1966.
- 2.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe N° 1, Agosto 1966.
- 3.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe N° 2, Noviembre 1966.
- 4.- N.Pieroni, H.Rapoport, G.Ricabarra, Neutrones Pulsados, Informe N° 3, Abril 1967.
- 5.- N.G.Sjöstrand, Ark.Fys. 11 (1957)233.
- 6.- K.H.Beckurts, K.Wirtz, Neutron Physics, Springer-Verlag, New York, 1964.
- 7.- G.Ricabarra, M.D.B.Ricabarra, R.F.Turjanski, Medición de Integrales de Resonancia de Activación, Parte 1, 1967.
- 8.- C.H.Westcott, AECL-1101, 1960.

