

02.68.21

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO B.6.1968

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

Física de Reactores

FLUJO DE NEUTRONES EN EL NUCLEO Y

FACILIDADES DE IRRADIACION DEL RA-3

L.C. de PORTO-M.T.BANG-J.J. GIL GERBINO

CNEA - Re-57

DEPARTAMENTO DE REACTORES

Física de Reactores

FLUJO DE NEUTRONES EN EL NUCLEO Y

FACILIDADES DE IRRADIACION DEL RA-3

L.C. de PORTO-M.T.BANG-J.J. GIL GERBINO

CNEA - Re-57

Los autores agradecen la cooperación y sugerencias aportadas por el Dr. G.Ricabarra y la Ing. D.B. de Ricabarra; al Lic. H.Rapoport y al Ing. E.Elder por la ayuda prestada.

Quedan reconocidos además a los señores D.E.Saccone, L.C.Meisegeier, J.J.Kunst y en general al personal — técnico operador del RA-3.

RESUMEN

El presente informe resume las actividades del grupo de física - del RA-3 en el año 1971, en lo que se refiere a la medición de - flujo de neutrones en el núcleo del reactor y las distintas faci-
lidades de irradiación.-

El RA-3 es un reactor del tipo pileta, moderado con agua y con - núcleo de uranio enriquecido al 90%, cuyos elementos combusti---
bles son del tipo MTR. La Potencia normal de trabajo es de 4MW.-
Conjuntamente con los métodos empleados se detallan los paráme---
tros que definen el flujo de neutrones en:

- I) Interior del núcleo.
- II) Columna Térmica.
- III) Haces.
- IV) Cajas de irradiación de muestras.

Con ello se pretende dar a conocer las posibilidades que ofrece el RA-3 tanto en los lugares usuales de irradiación como en aque-
llos aun poco utilizados.-

INTRODUCCION:

El método empleado para medir flujos consiste en irradiar muestras de sección eficaz conocida y medir la actividad producida, la cual estará relacionada con el flujo de neutrones y los parámetros que lo definen.-

En los casos en que se trata de separar la contribución a la actividad producida por los neutrones térmicos de aquella producida por los epitérmicos se emplea el método de la relación de cadmio, que relaciona la actividad de los detectores irradiados en un mismo punto desnudos y cubiertos con cadmio.-

Para la teoría general del método de activación nos remitimos a las publicaciones (3), (9) y (11), mencionadas en la bibliografía. Aquí nos limitaremos a transcribir las definiciones y relaciones utilizadas en el presente trabajo.-

Se define la relación de cadmio de un determinado detector como:

$$R_{cd} = \frac{A_d}{A_{cd}} \quad -1-$$

Donde:

A_d : Actividad del detector desnudo.

A_{cd} : Actividad del detector cubierto de cadmio.

Por otro lado, la actividad del detector desnudo se expresa como

$$A_d = \phi_{th} \sigma(T_0) \sqrt{\frac{T_0}{T}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} g(1+b) \left(G_{th} + \sqrt{\frac{T}{T_0}} \frac{50 G_r}{9} \right) \quad -2-$$

Donde:

ϕ_{th} : Flujo térmico de neutrones = $n \bar{v}$

n : Densidad de neutrones.

$\bar{v}$: Velocidad media de los neutrones en el campo Maxwelliano de velocidades.-

$\sigma(T_0)$: Sección eficaz térmica para neutrones de energía

$E = 0.025 \text{ ev} = kT_0$; $T_0 = 293.6 \text{ }^\circ\text{K}$.

g : Factor que corrige la desviación de la sección eficaz del comportamiento " $1/v$ ".

r : Índice espectral según formalismo de Westcott.

$$r = \frac{\lambda}{1 + \lambda b} \quad - 3 -$$

$$\lambda = \frac{\phi_{epi}}{\phi_{th}} \quad - 4 -$$

ϕ_{epi} : Parámetro que define el flujo en la región epitérmica ($0.2 \text{ ev} < E < 0.5 \text{ Mev}$), donde $\phi(E) = \frac{\phi_{epi}}{E}$

b : Constante para reactores moderados por agua del tipo - del RA-3 = 1.128.-

T : Temperatura neutrónica.

ϕ_{th} : Factor de autoabsorción térmica.

ϕ_r : Factor de autoabsorción en la resonancia.

$$S_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{I'}{\sigma(T_N)}$$

I' : Integral de resonancia a dilución infinita.

La relación de cadmio y el índice espectral utilizado en el formalismo de Westcott, pueden relacionarse mediante:

$$r = \sqrt{\frac{I}{T_0}} \cdot \frac{1}{(R_{cd} - 1) \frac{S_0 \phi_r}{g} + R_{cd} \left(\frac{1}{u} - \frac{E_w}{g} \right)} \quad - 5 -$$

Donde:

$$\frac{1}{u} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{KT}{E_{cd}}}$$

E_{cd} : Energía de corte del cadmio, depende del espesor utilizado.

F : Factor muy proximo a uno, que corrige la depresión del flujo en la resonancia provocada por el cadmio.

w : Factor proporcional a la parte de la resonancia absor-

bida por el cadmio.

De manera que conociendo los parámetros que definen la sección eficaz del detector a utilizar es posible obtener ϕ_{th} y λ a partir del observable que es la actividad del detector.

En el cuadro 1 se encuentran las características de los diferentes detectores utilizados.

CUADRO N° 1

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS COMO DETECTORES

E_{α} E_{β} E_{γ} E_{nto}	ABUND. $^{100}_{100}I_{CA}$	σ_a [barns]	σ_s [barns]	$\sigma_{act.}$ [barns]	$P_{E_{\alpha}, I_{D_0}}$	N_{gr}^{22} $\times 10^{-22}$	g [40°C]	S_0	$\frac{1}{K}^+$	N^+	F^+	ϕ [mm]	S $\frac{mgr}{cm^2}$	G_{tl}	Gr
Au	$^{197}_{100}Au$ (100)	98,5	9,3	98,5	$^{198}_{100}Au$ 2,70d	0,3055	1,0064 (11)	17,7 (13)	0,462 (12)	0,089 (13)	0,998 (13)	3	30	0,97	0,42
In	$^{115}_{115}In$ (95,77)	194	2,2	160	$^{116}_{115}In$ 54m	0,525	1,023 (11)	18,7 (13)	0,462 (12)	0,335 (13)	0,960 (13)	5	—	—	—
Cu	$^{63}_{63}Cu$ (69,1)	381	7,2	4,41	$^{64}_{63}Cu$ 12,87h	0,948	1,000	0,79 (7)	—	0	1	5	21	1	0,94
Mn	$^{55}_{55}Mn$ (100)	13,2	2,3	13,2	$^{56}_{55}Mn$ 2,58h	1,097	1,000	0,93	—	—	—	3	45,22	0,97	0,78

+ Valores para espesores de G_d de 0.8 mm y $E_{Cd} = 0.6$ ev.

Los valores de la primer parte del cuadro fueron extraídos de (3).

Los números que se encuentran entre paréntesis en la segunda parte del cuadro indican la referencia en la bibliografía.

I.-- NUCLEO

Se midió la distribución de flujo de neutrones en el interior del núcleo con la configuración que muestra la fig.(1), empleando hojuelas de cobre de 5 mm.de diámetro cuyas características muestra el cuadro 1.

El principal inconveniente experimental, fue el de introducir -- las muestras que se utilizaron como detectores, entre las placas de los elementos combustibles separadas 1.3 mm, las cuales se en encuentran sumergidas en agua a una profundidad de 9.5m.

Para ello se fabricaron portamuestras con flejes de duro-aluminio de 0.25 mm de espesor, levemente curvados a lo ancho para que permitiera su introducción dentro de las placas combustibles. Ver -- fig. (2).

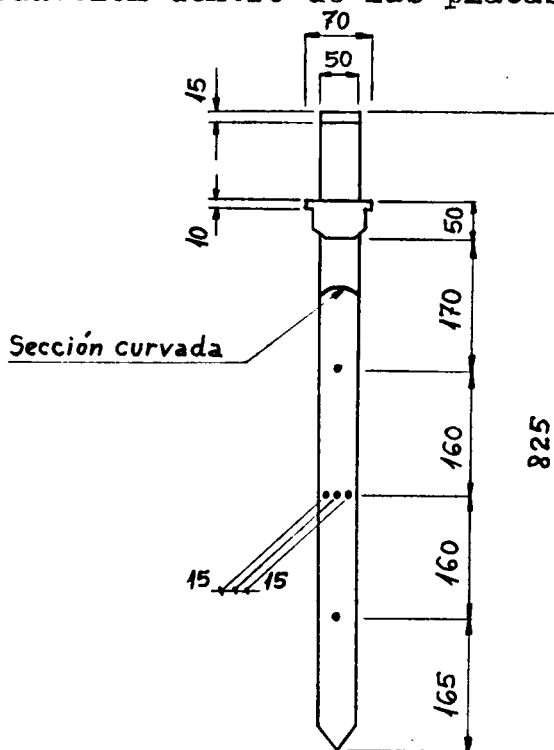


FIG. 2

Las aletas laterales permiten el apoyo de la espada en las cajas combustibles, las de menor ancho, el centrado. Los agujeros del -- centro coinciden con el plano medio del núcleo y los demás, ubicada dos en el eje de simetría de la espada, se encuentran a interva--

los regulares de ocho centímetros. Dentro de estos se colocaron las hojuelas de Cu de 5 mm de diámetro.

Salvo en las distribuciones verticales, normalmente se ubicaron cinco hojuelas, tres horizontales separadas 16 mm y tres verticales a 16 cm cada una.

una vez armada la espada, se engancha en una herramienta diseñada al efecto, se baja a través del agua, y se introduce en la separación prevista entre las placas del núcleo.

La recuperación, después de la irradiación, se facilita mediante un hilo atada a la espada.

Se realizaron ocho irradiaciones, en cada una de las cuales se introdujo un promedio de diez espadas, lo cual significó la medición del flujo aproximadamente en 400 puntos del núcleo.

Para realizar las experiencias se tomaron las siguientes precauciones:

- a) Se mantuvo el reactor sin funcionar durante cuatro días, lapso suficiente como para permitir decaer al Xe, principal veneno del reactor, con el propósito de mantener constante las condiciones de irradiación.
- b) En las distintas irradiaciones el punto crítico se logró con las mismas posiciones de las barras de control.

El tiempo de irradiación osciló alrededor de 15 minutos con el reactor operando a baja potencia, aproximadamente 10 KW.

Las cajas de elementos combustibles son del tipo M.T.R. y constan de 19 elementos combustibles compuestos de láminas de aleación de uranio metálico enriquecido en U^{235} al 90% en aluminio, prensadas entre dos placas de aluminio. El espesor total de la placa es de 1.5 mm.

A los efectos de identificación de las placas, estas se numeran -

en orden del 1 al 19, agregando la posición que la caja ocupa en el núcleo.

Los espacios entre placas se identifican con la numeración de las placas que los limitan. Por ej.: E4-18-19 indica el espacio entre las placas 18 y 19 en la caja E4.

La separación comprendida entre dos placas combustibles pertenecientes a dos cajas contiguas se denominan interfase. por la disposición del núcleo, éstas se encuentran sólo a lo largo de las - filas (números); se identifican por ej.: I(E-F)4.

La altura de las placas combustibles es de 655 mm y su ancho 65.8 mm.

Una vez irradiadas las hojuelas de Cu se procedía a medir su actividad relativa, luego de una hora, tiempo suficiente para permitir decaer al Cu^{66} . la medición se repetía tres ó cuatro veces, y en cada una de ellas se acumulaban alrededor de 100.000 cuentas de manera que el error estadístico fuese despreciable.

El conteo se realizó sin ventana en el discriminador, con un nivel de base de 400 Kev, considerando la energía del rayo γ de -- 511. Kev proveniente del decaimiento β^+ del Cu^{64} . La dispersión de - las diferentes medidas no superó en general al 1%.

La pesada de las hojuelas, del orden de 4mg, se llevó a cabo en una balanza con precisión de 0.001 mg, con lo cual el error por pesada es despreciable.

El fondo se midió intercalando cada cinco muestras una plancheta vacía. Debido a la diferente posición de las muestras con respecto al detector, a medida que el mecanismo automático las mide el fondo presenta variaciones, por lo que a cada actividad se le descontó un fondo calculado considerando una variación lineal entre los fondos en que fue medida. Normalmente no supero el 2% de la -

actividad.

El error en la medición del tiempo está limitado por la dispersión en la frecuencia de línea, base con la cual opera el timer del equipo. Esta es del 1%.-

El equipo utilizado para ésta, y en general para todas las mediciones relativas de las experiencias del presente informe, es un espectrómetro monocanal cuyo detector es un cristal de INa de 1.5"x1.5", con electrónica a base de transistores. Cuenta además con un cambiador automático de planchetas con capacidad para 100 muestras. La hojuela es medida el tiempo que se prefija en el timer y el conteo impreso; luego es retirada del detector y se introduce la siguiente. La operación se realiza a intervalos regulares, lo cual permite calcular la hora de medición de cada muestra. El tiempo muerto del equipo se midió con el método usual de comparar el decaimiento de una muestra activada de período conocido con el medido en el equipo. El analizador operó en las mismas condiciones de la experiencia, es decir sin ventana. Se determinó que el tiempo muerto variaba notablemente con la actividad de la muestra disminuyendo a medida que el conteo disminuía. Por lo cual carece de sentido definir un tiempo muerto. En cambio se determinó un factor de corrección para cada conteo; cuando éste es menor de 200.000 cuentas/minuto la corrección es despreciable (0.3%).

En la medición de la distribución de flujo en el núcleo se utilizó como punto de referencia la facilidad de irradiación que ofrece el tubo neumático.

Debido a que el Cu, detector utilizado, presenta una sección eficaz del tipo $1/v$, análoga al comportamiento de la sección eficaz de fisión del U^{235} , la relación de actividades del Cu con respecto al punto de referencia, es decir el tubo neumático, resulta --

proporcional al "fission rate" del U^{235} .

Esta relación es la que se representa en los gráficos. El gráfico (1) muestra una distribución vertical a lo largo de un elemento combustible cercano a una barra de control (5 cm) retirada 55%. A esto es debida la depresión del flujo que puede observarse en la parte superior del elemento, lo cual provoca un desplazamiento del máximo hacia abajo. Este efecto, en mayor o menor grado según la posición con respecto a las barras, se presenta en todas las distribuciones verticales, según se observa en los gráficos (8) a (13) donde el flujo en el nivel superior (16 cm del centro) siempre resulta menor que en el punto simétrico (-16 cm del centro). El efecto de la barra de control sobre el flujo aparece claro en el gráfico (10). En la caja D 4 la barra está retirada el 55%. Esta se compone de dos placas, una se introduce entre las placas 1 y 4, y la otra entre las 16 y 19. Los elementos 2, 3, 17, y 18 se omiten en las cajas con barras de control.

De manera que el flujo en la caja adyacente G 4 está perturbado por la barra semiintroducida. Se observa que la perturbación alcanza el nivel superior y medio puesto que la barra está introducida hasta casi el plano medio.

Por otra parte en G4 la barra está más retirada y no alcanza a afectar el nivel medio.

El aumento relativo del flujo en contacto con el reflector, que aparece en casi todos los gráficos, se debe al máximo relativo que se produce a pocos centímetros fuera del núcleo.

Debido a la imposibilidad práctica de introducir las "espadas" en las cajas que contienen a las barras de control, y en la central E4, no se pudo medir el flujo en ellas.

Muchos puntos de las interfaces no han sido tenidos en cuenta de-

bido a que la posición de las "espadas" era incierta.

Los flujos a lo largo de las columnas (gráficos 2 a 7) presentan discontinuidades en las separaciones entre cajas debido a que las paredes laterales de las cajas son de aluminio y no contienen uranio. Es decir, corresponde a una discontinuidad en la distribución de uranio.

Por último, el gráfico (14) muestra el promedio del flujo en cada caja, siempre referido al neumático. Para ello se ha tenido en cuenta la distribución vertical y horizontal.

El cociente del flujo medio del núcleo sobre el flujo del neumático es:

$$\frac{\bar{\phi}_L}{\phi_{TN}} = 1.16 \quad - 7 -$$

En realidad, este valor indica la relación de actividades del Cu, por lo cual, según se explicó anteriormente, puede interpretarse como la relación de los "fission rates".

El flujo en el neumático se midió con Mn^{55} . La actividad absoluta se determinó mediante la comparación con una fuente patrón de Mn^{54} , ambas medidas en un multicanal marca T.M.C. con detector de Ge (Li), y aprovechando el β^- del Mn^{56} , en un contactor proporcional de flujo continuo 4π .

La actividad hallada, computada a fin de irradiación, dividida por la sección eficaz macroscópica del Mn^{55} , puede interpretarse directamente como el flujo de fisión en el tubo neumático. Ello se justifica por ser también el Mn un detector $1/v$.

$$\phi_{TN} = (0.46 \pm 0.02) 10^3 \frac{n}{\text{cm}^2 \text{seg}} \quad - 8 -$$

para $14.5 \mu\text{A}$ de lectura correspondiente a la cámara compensada, equivalente aproximadamente a LMW.

Para pasar a la relación de flujos térmicos hay que descontar la componente epitérmica tanto en el núcleo como en el tubo neumático,

de la relación 7.

Para ello se consideró un valor medio del índice espectral en el núcleo, obtenido de mediciones efectuadas en la facilidad crítica RA-2, (8), de las mismas características que el RA-3:

$$\bar{r} \sqrt{\bar{f}} = 0.084 \text{ y } \bar{\lambda} = 0.093 \quad - 9 -$$

El índice espectral en el tubo neumático se obtuvo del promedio de 10 medidas de la R_{Cd} , 5 de las cuales se realizaron con aleaciones Au-Pb (0.2%), y el resto con In-Pb (0.2%). Estas aleaciones presentan cierta dispersión en la concentración, que se midió irradiándolas al mismo tiempo en el mismo flujo, y comparando sus actividades específicas, lo cual permite calcular un factor de corrección.

La R_{Cd} se obtuvo irradiando simultáneamente en el lugar deseado un detector cubierto de Cd (0.8 mm de espesor) y dos desnudos equidistantes del primero, tal que la actividad media de ambos detectores desnudos da A_B en el punto en que se midió A_{Cd} . El índice espectral resulta:

$$r_N \sqrt{\frac{I}{T_0}} = 0.0186 \pm 0.0008$$

con lo cual la relación 7 queda:

$$\frac{\phi_{th}}{\phi_{th}^{TM}} = 1.64$$

Por otro lado el flujo térmico en el neumático es:

$$\phi_{th}^{TM} = (0.50 \pm 0.02) 10^{13} \frac{W}{cm^2 \cdot sec}$$

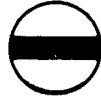
y el flujo térmico medio en el núcleo resulta:

$$\bar{\phi}_{th} = 0.82 \times 10^{13} \frac{W}{cm^2 \cdot sec}$$

CONFIGURACION DEL NUCLEO



CAJA DE ELEMENTOS
COMBUSTIBLES



GRAFITO



CAJA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES CON BARRA DE CONTROL

NUCLEO

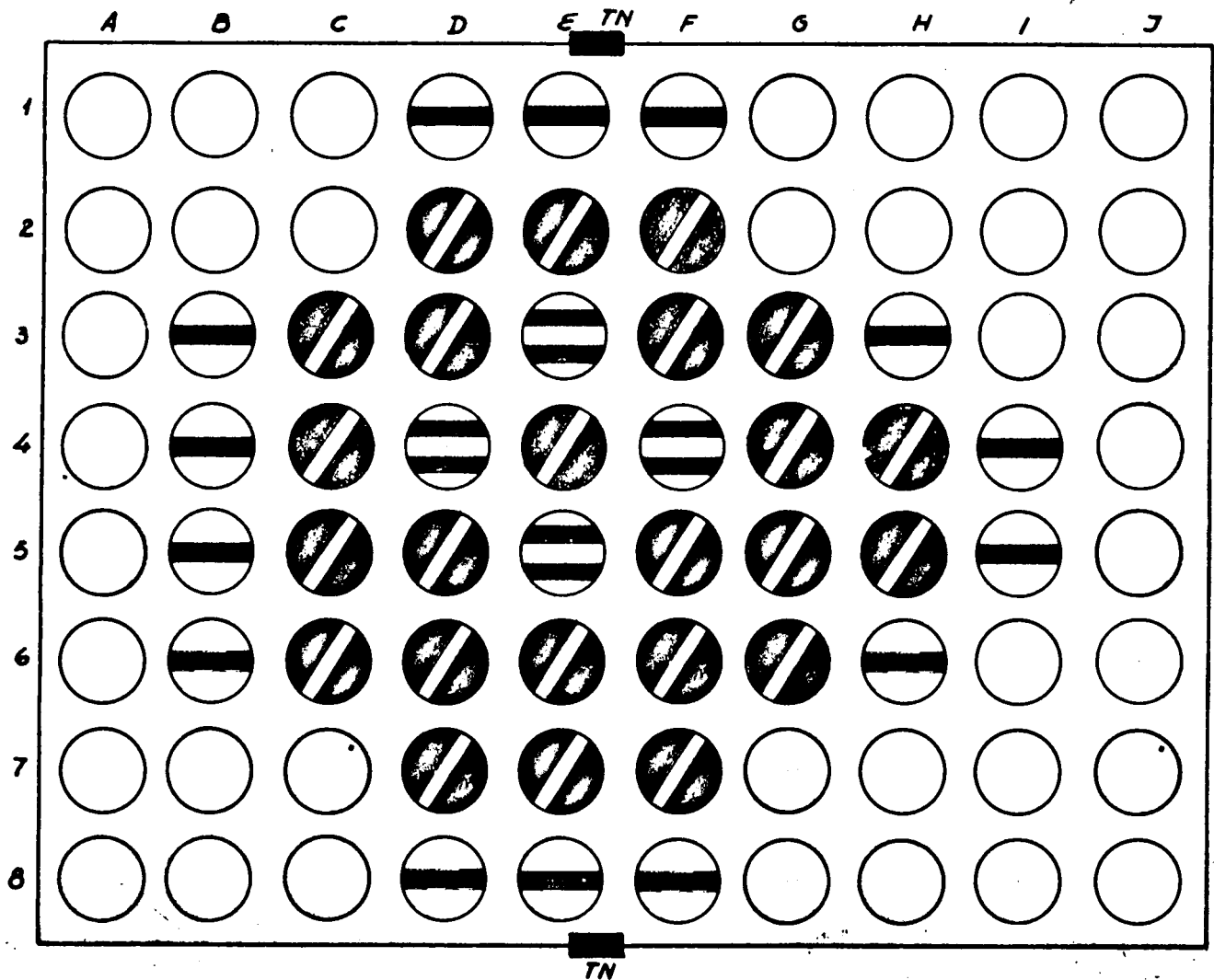
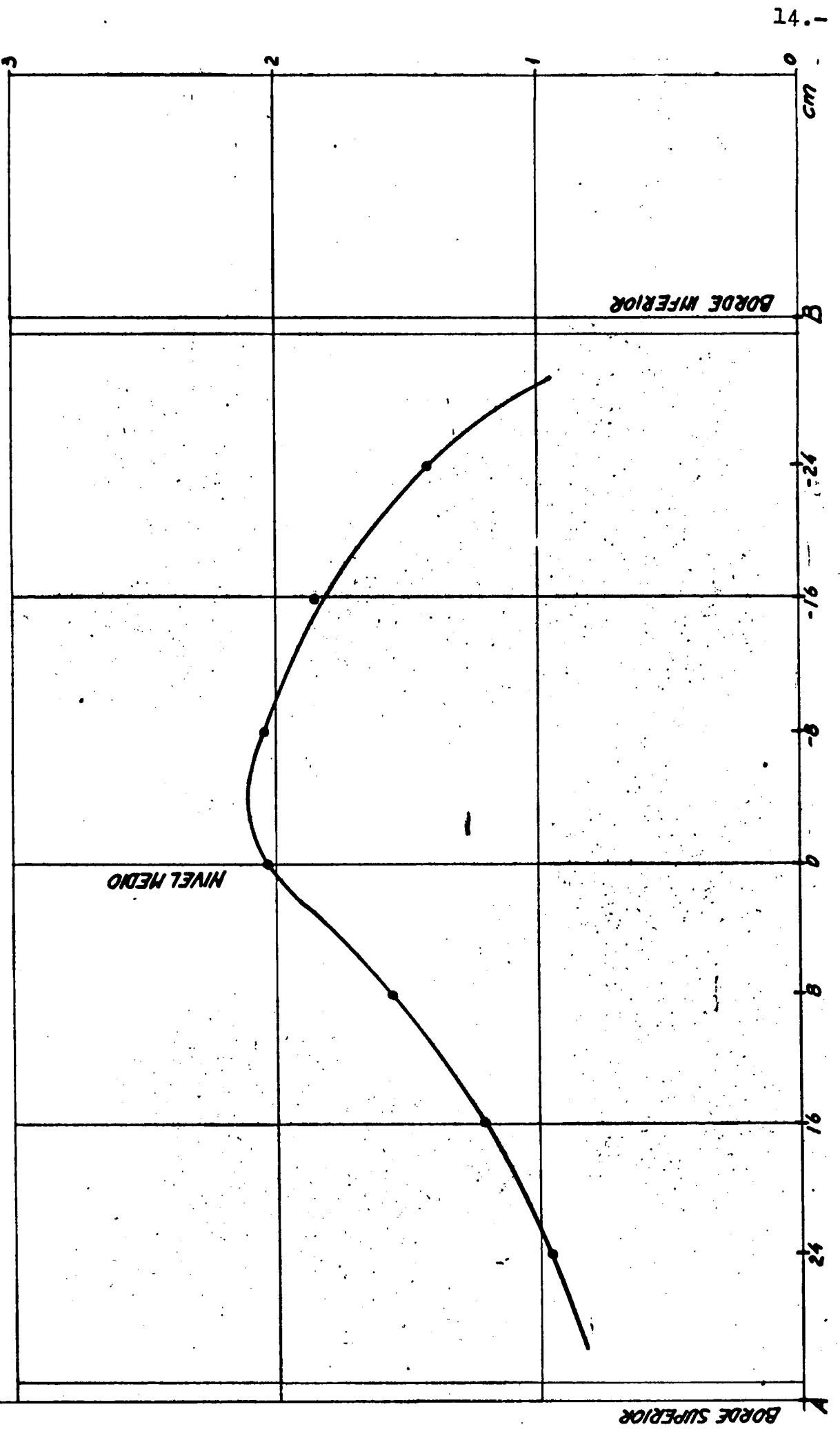


Fig. 1

FLUJO RELATIVO
DISTRIBUCION VERTICAL EN C4(5-6)
GRAFICO 1 AB = 65.5cm



FLUJO RELATIVO

● **ENTRE PLACES 5-6**

X ENTRE PLACAS 13-14

			H ₄	H ₅		
		G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	
F ₂	F ₃	B _C	F ₅	F ₆	F ₇	
E ₂	B _C	E ₄	B _C	E ₆	E ₇	
D ₂	D ₃	B _C	D ₅	D ₆	D ₇	
X ↑↑	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	↑↑	

CONFIGURACION DEL NUCLEO

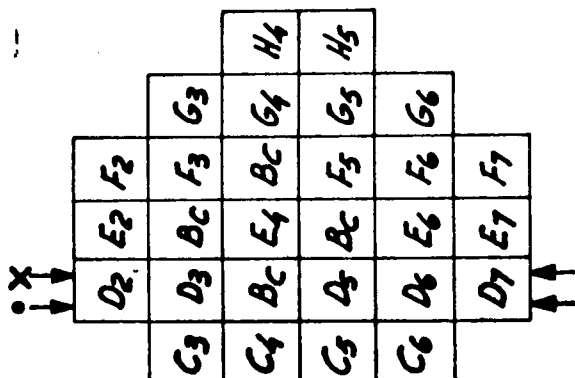
REACTOR RA-3

COLUMNA : D
GRAFICO : 3

FLUJO RELATIVO

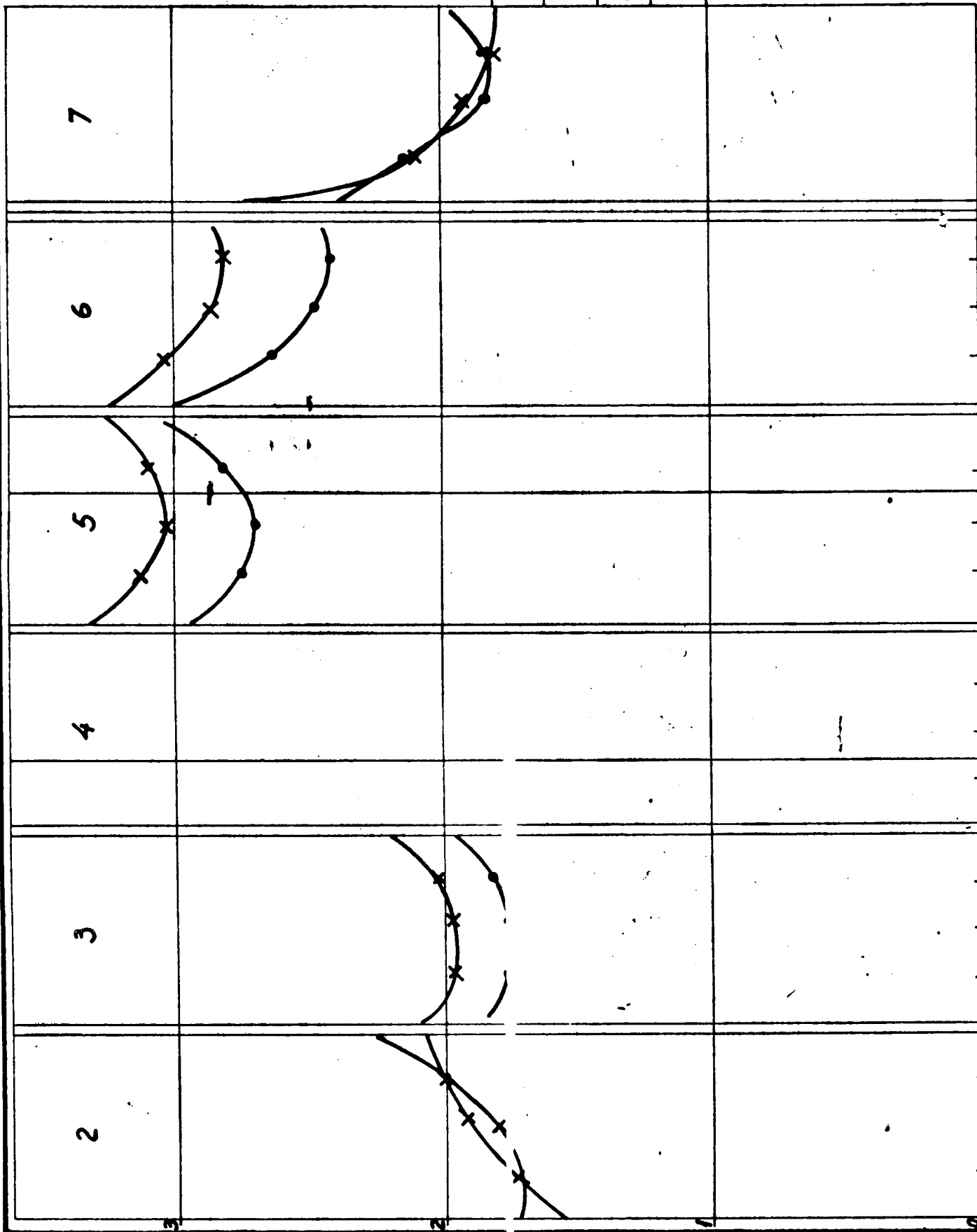
• ENTRE PLACAS 5-6

X ENTRE PLACAS 13-14



CONFIGURACION DEL
NUCLEO

REACTOR RA-3



COLUMNA E

GRAFICO 4

FLUJO RELATIVO

• ENTRE PLACAS 5-6

x ENTRE PLACAS 13-14

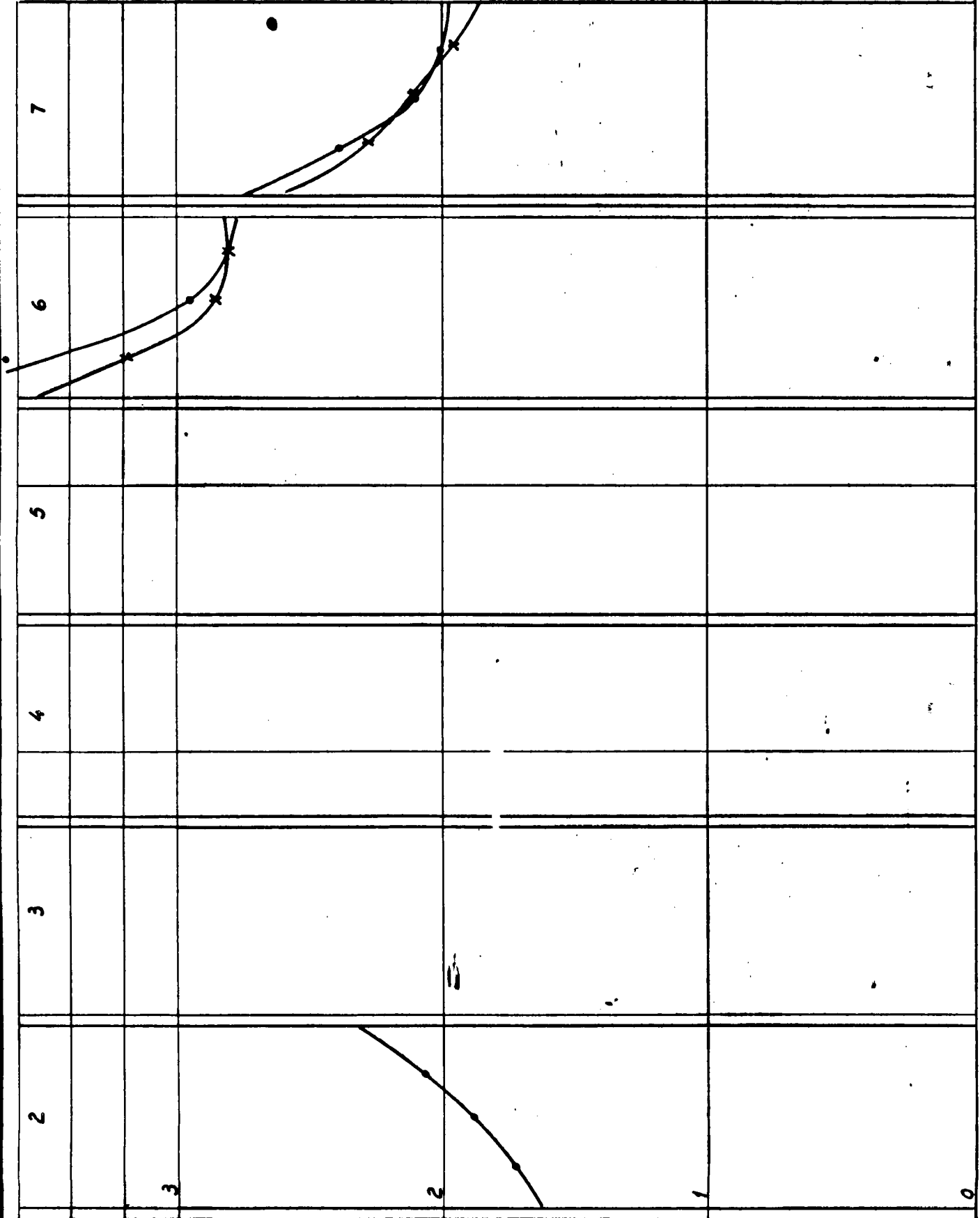
• x

	D2	E2	F2	
C3	D3	Bc	F3	G3
C4	Bc	E4	Bc	G4
C5	D5	Bc	F5	G5
C6	D6	E6	F6	G6
	D7	E7	F7	

CONFIGURACION DEL
NUCLEO

REACTOR RA3

17.-



COLUMNAS
GRAFICOS

7

6

5

4

3

2



FLUJO RELATIVO

• ENTRE PLACAS 5-6

x ENTRE PLACAS 13-14

D2	E2	F2	
D3	BC	F3	G3
BC	E4	BC	G4
D5	BC	F5	G5
D6	E6	F6	G6
D7	E7	F7	

CONFIGURACION DEL
NUCLEO

REACTOR RA3

FLUJO RELATIVO

• ENTRE PLACAS 5-6

x ENTRE PLACAS 13-14

7

6

5

4

3

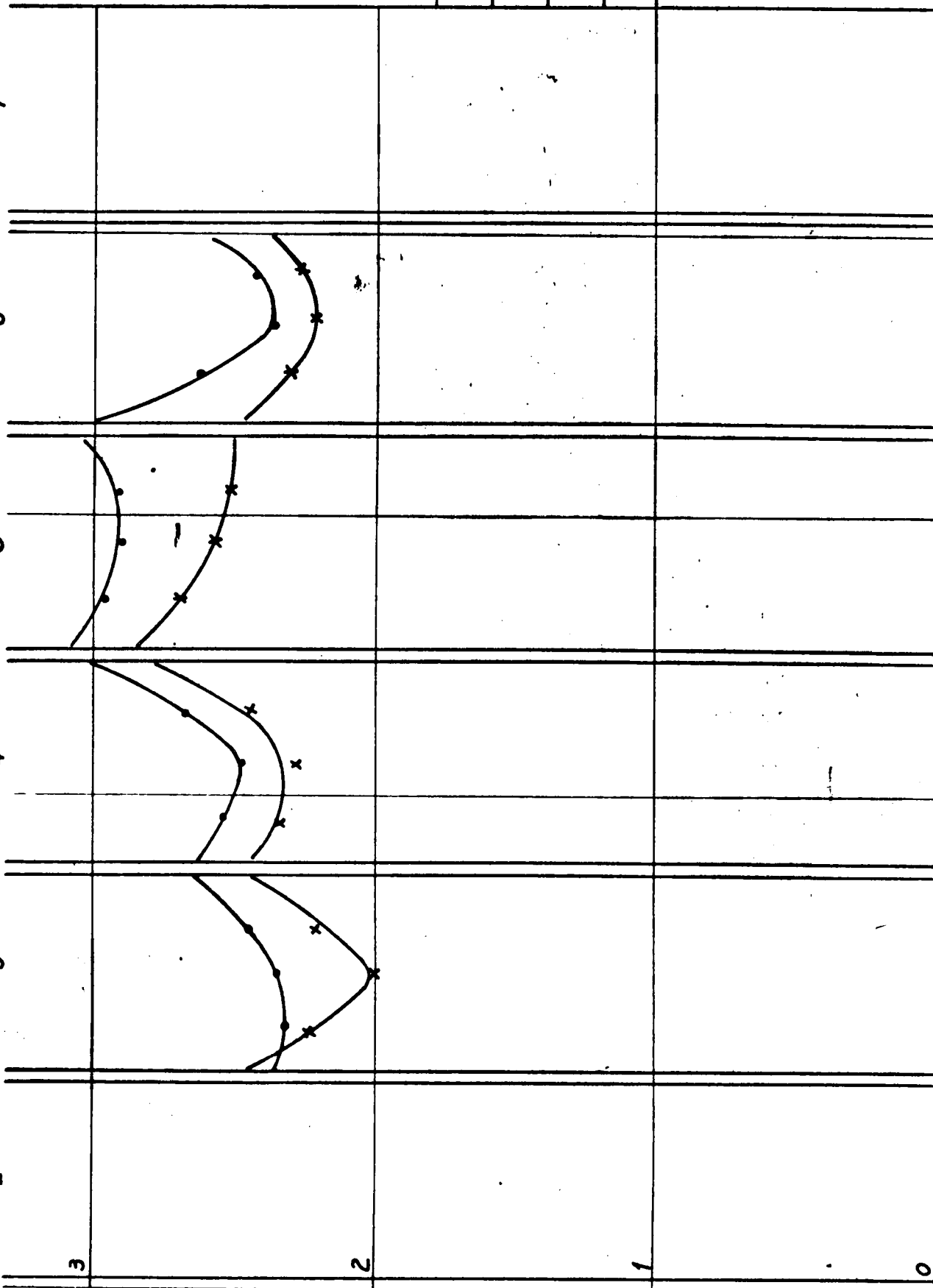
2

3

2

1

0



D2	E2	F2	• x
D3	Bc	F3	G3
Dc	E4	Bc	G4
D5	Bc	F5	G5
D6	E6	F6	G6
D7	E7	F7	↑↑

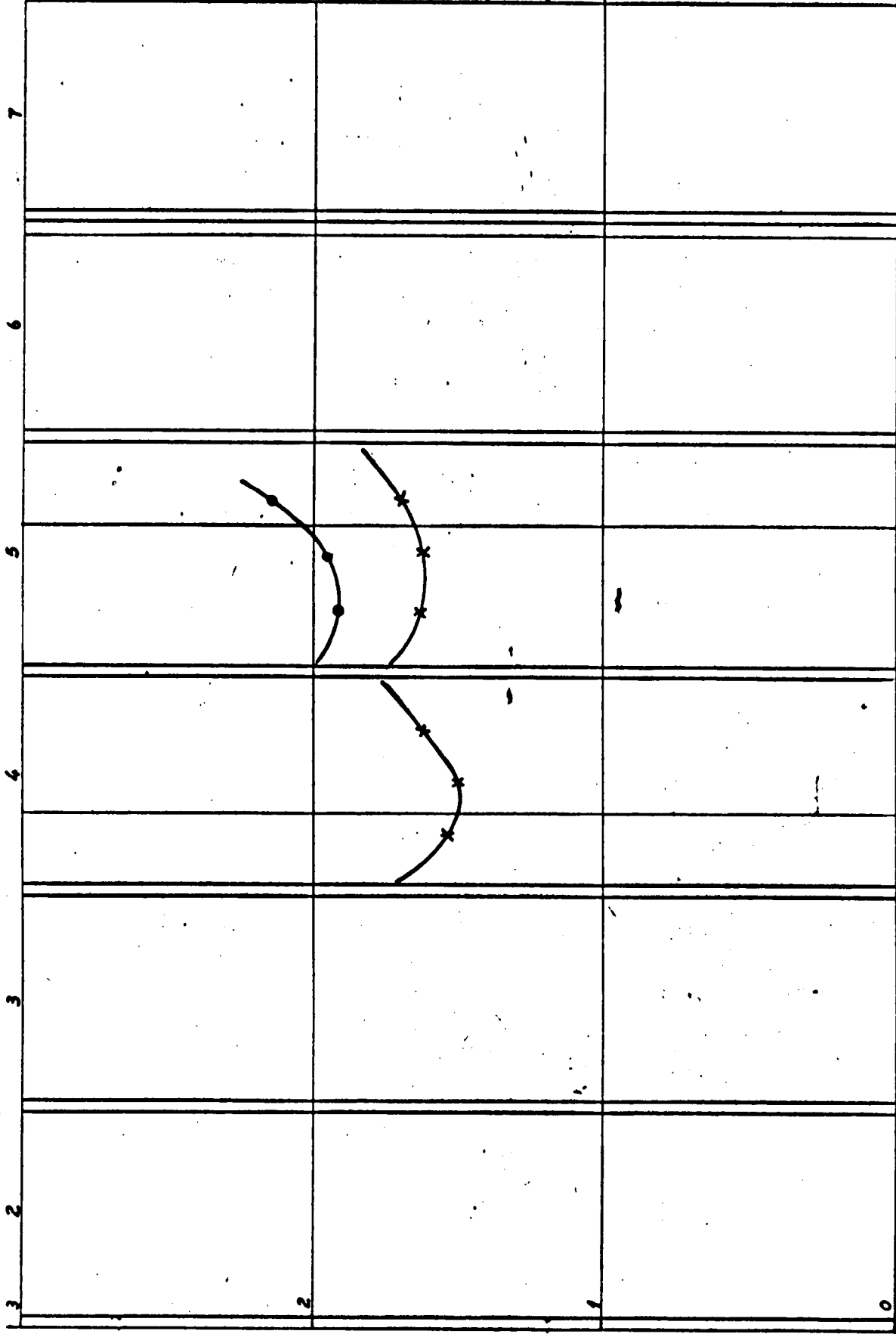
CONFIGURACION DEL
NUCLEO

REACTOR RA3

FLUJO RELATIVO

• ENTRE PLACAS 5-6

x ENTRE PLACAS 13-14



	D2	E2	F2	
C3	D3	BC	F3	G3
C4	BC	E4	BC	G4
C5	D5	BC	F5	G5
C6	D6	E6	F6	G6
	D7	E7	F7	

CONFIGURACION DEL
NUCLEO

REACTOR RA3

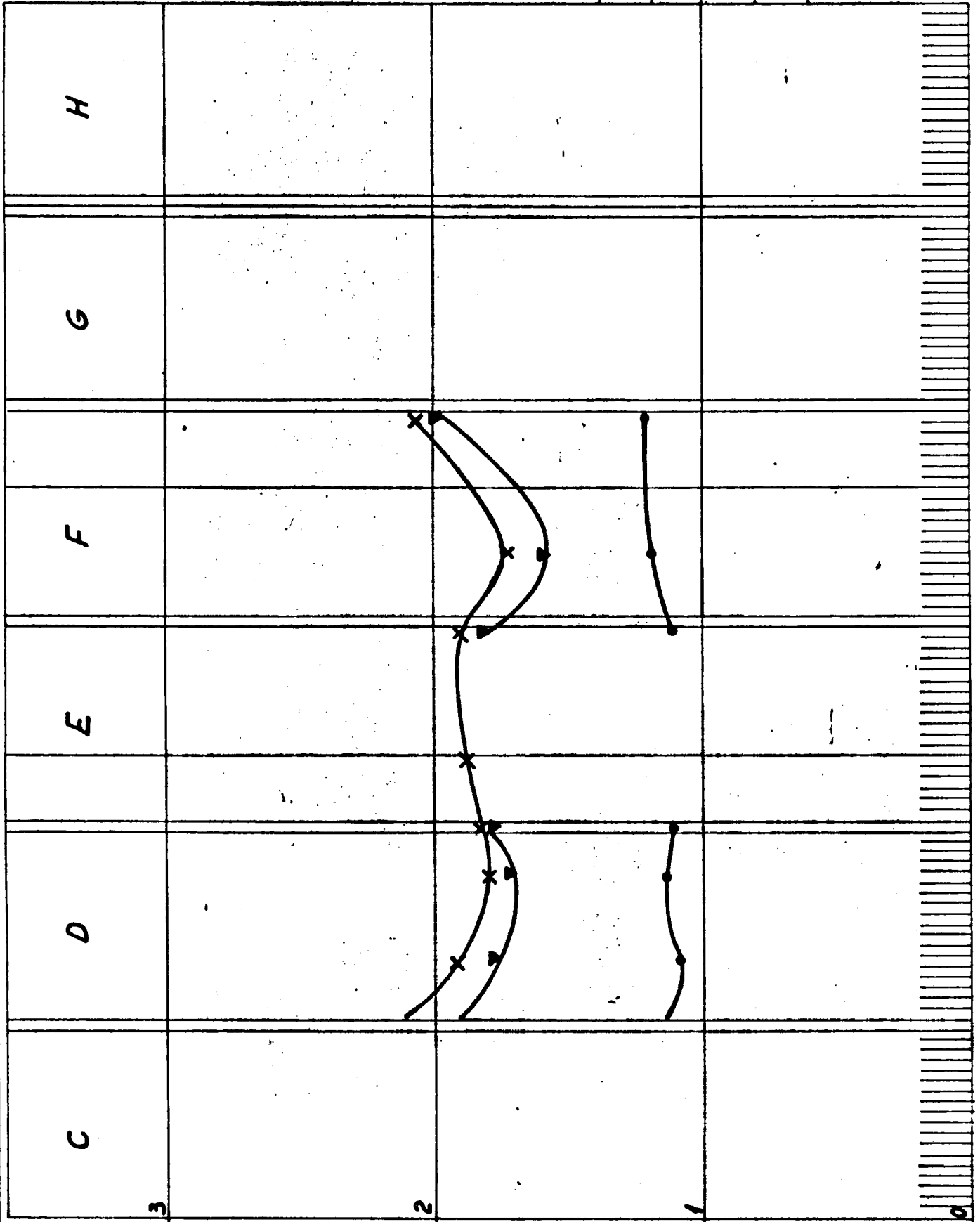
FILA: 2
GRAFICO 8

FLUJO RELATIVO

- NIVEL SUPERIOR
- X NIVEL MEDIO
- ▼ NIVEL INFERIOR

→	D2	E2	F2	←
G3	D3	Bc	F3	G3
C4	Bc	E4	B4	G4
C5	D5	Bc	F5	G5
C6	D6	E6	F6	G6
	D7	E7	F7	

NÚMERO DE PLACAS



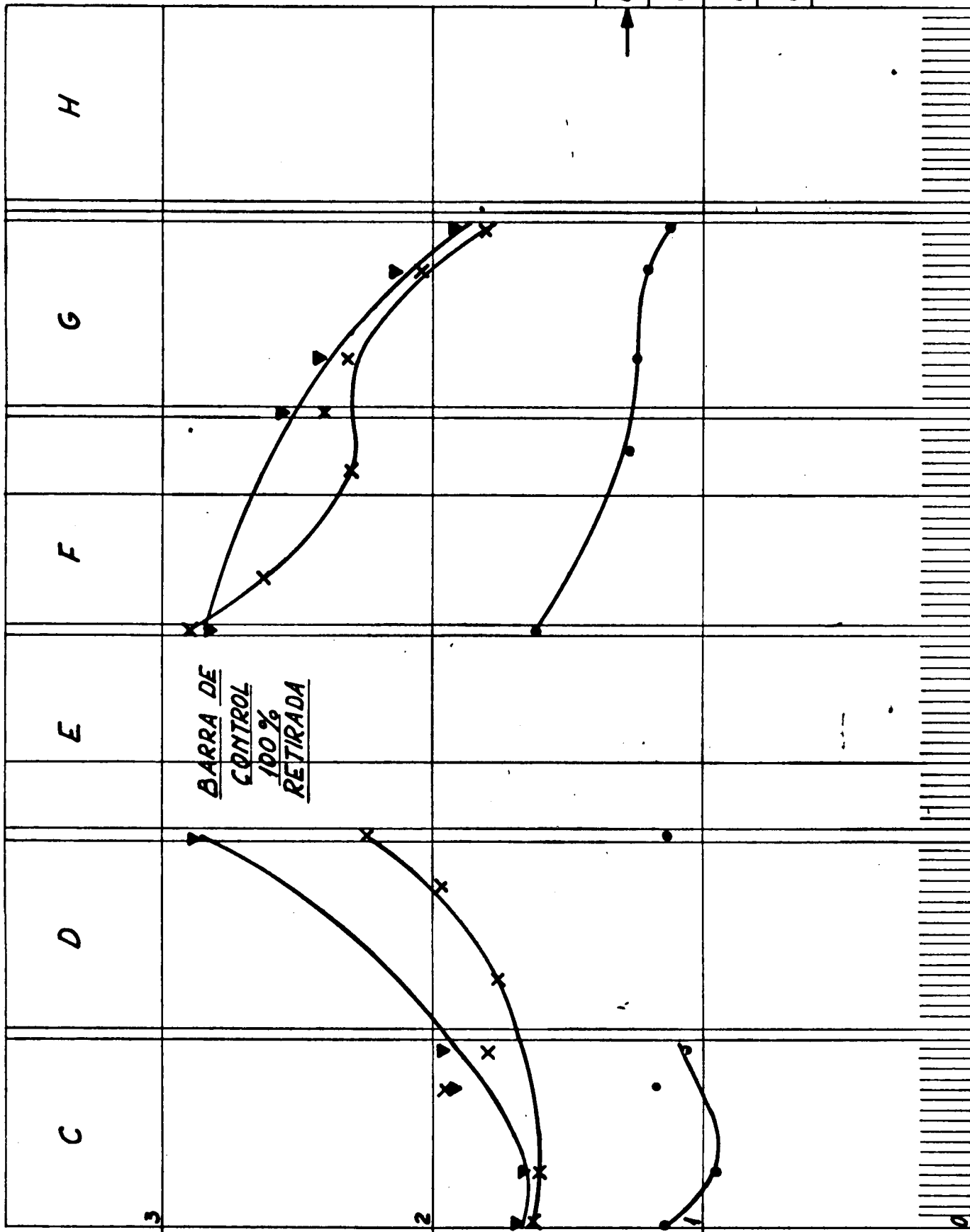
FILA: 3
 GRAFICO: 9

FLUJO RELATIVO

- NIVEL SUPERIOR
- × NIVEL MEDIO
- ▼ NIVEL INFERIOR

	D2	E2	F2	
	D3	Bc	F3	G3
	C4	Bc	E4	G4
	C5	D5	Bc	F5
	C6	D6	E6	F6
		D7	E7	F7

NUMERO DE PLACAS



FILA: 5
 GRAFICO: II

FLUJO TERMICO

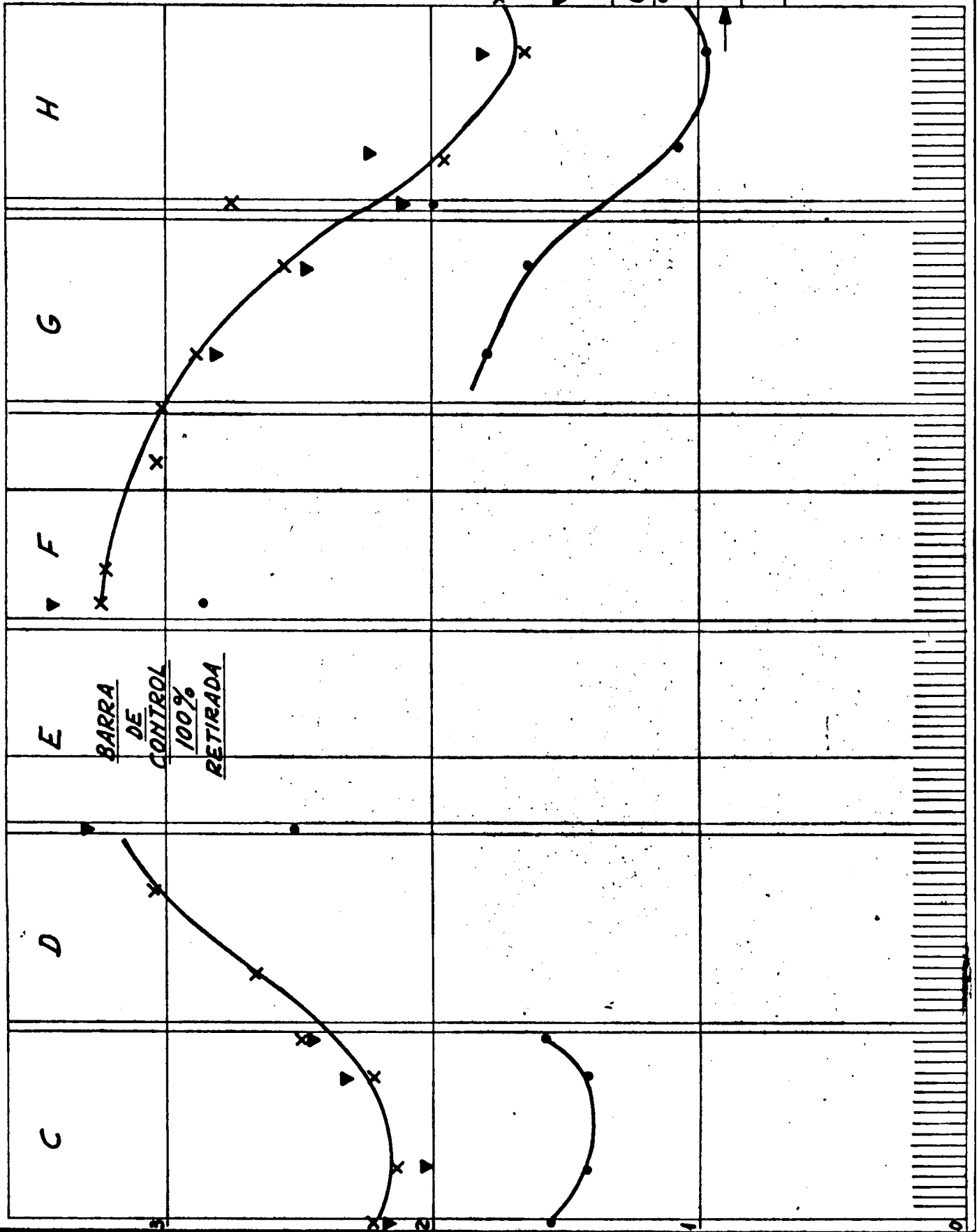
● NIVEL SUPERIOR

x NIVEL MEDIO

▼ NIVEL INFERIOR

D ₂	E ₂	F ₂	G ₃	H ₄	H ₅
D ₃	B _C	F ₃	G ₄	G ₅	G ₆
B _C	E ₄	B ₄	F ₅	F ₆	F ₇
D ₅	B _C	F ₅	G ₅	G ₆	G ₇
D ₆	E ₆	F ₆	F ₇	F ₇	F ₇
D ₇	E ₇	F ₇	F ₇	F ₇	F ₇

NÚMERO DE PLACAS



FILA 6

GRAFICO 12

FLUJO RELATIVO

● NIVEL SUPERIOR

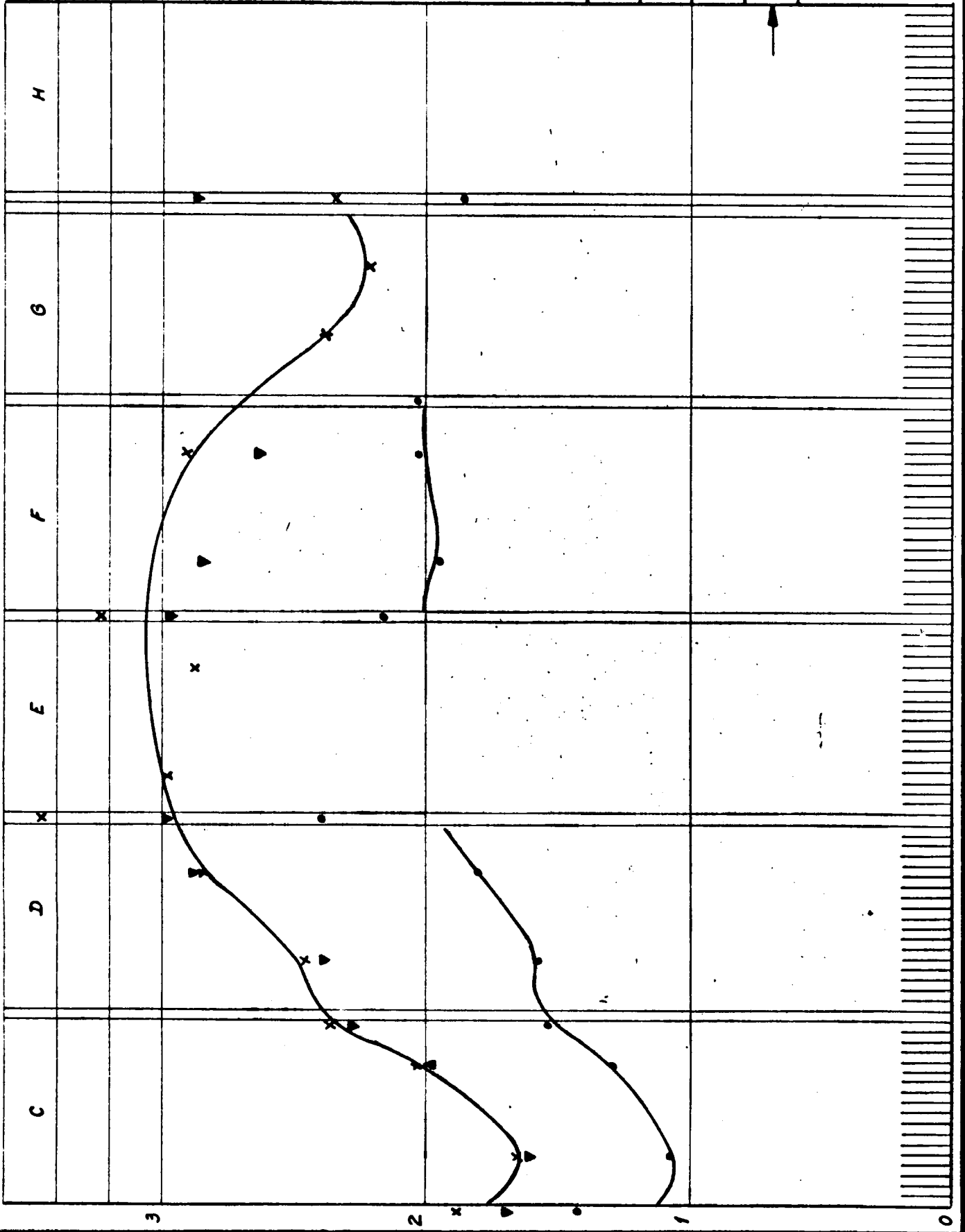
x NIVEL MEDIO

▼ NIVEL INFERIOR

D2	E2	F2	C3	D3	Bc	F3	G3	C4	Bc	E4	B4	G4	H4	C5	D5	Bc	F5	G5	H5	C6	D6	E6	F6	G6	D7	E7	F7
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

25.-

NUMERO DE PLACAS



FILA 7

GRAFICO 13

H

G

F

E

D

C

FLUJO RELATIVO

● NIVEL SUPERIOR

X NIVEL MEDIO

▼ NIVEL INFERIOR

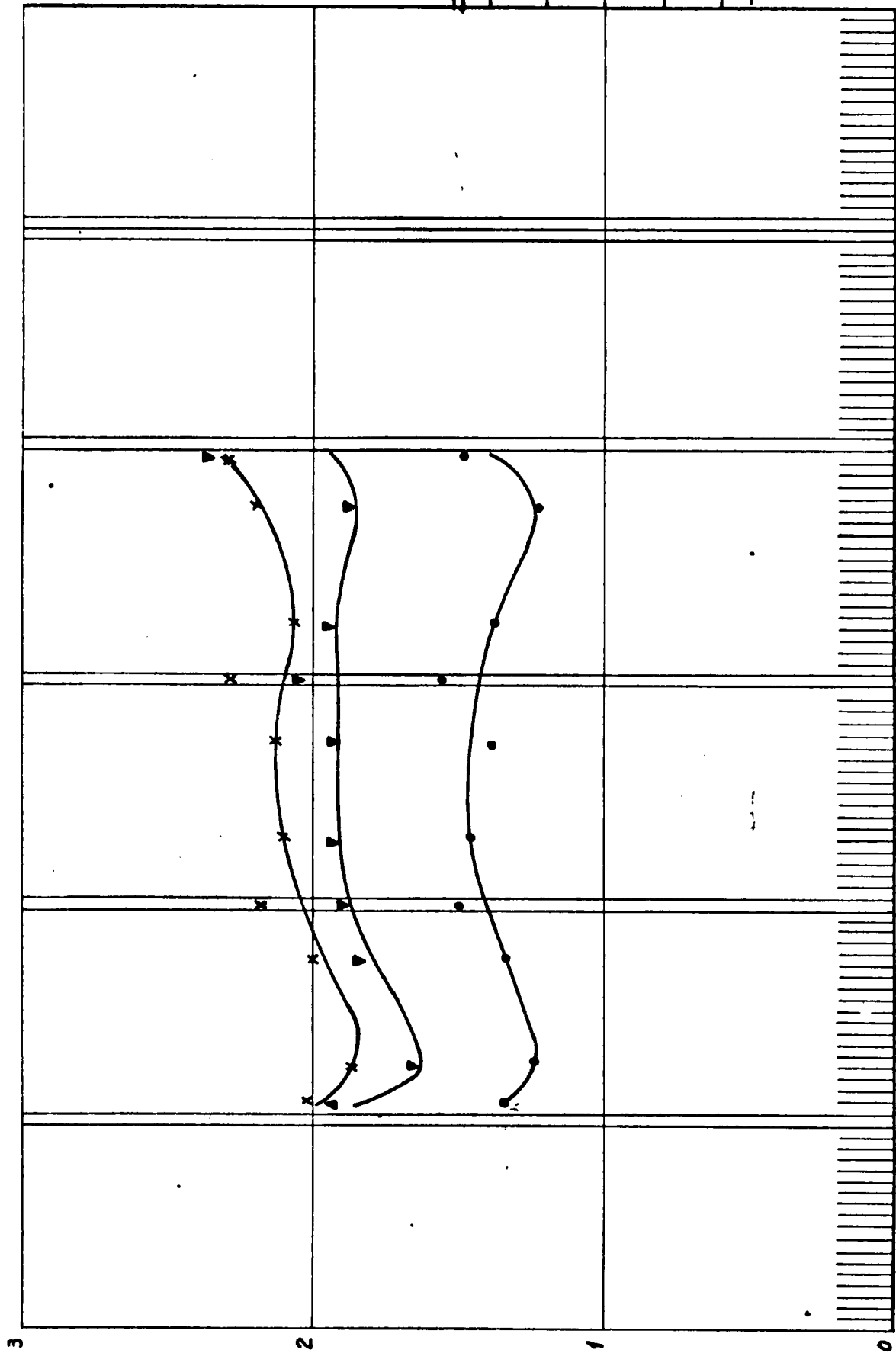


GRAFICO 14

CARTA DE FLUJO MEDIO EN LAS
CAJAS DE ELEMENTOS
COMBUSTIBLES

ϕ EN EL TUBO NEUMATICO $0.46 \cdot 10^{-18} \frac{n}{cm^2 \cdot seg}$
 POTENCIA 1MW

TUBO NEUMATICO									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1			G	G	G				
2			1.38	1.41	1.43				
3			1.63	1.80*	1.98	1.68	G		
4			1.98*	2.10*	2.22*	1.88	1.39	G	
5			2.33	2.40*	2.47	2.01	1.47	G	
6			2.10	2.44	2.19	1.81	G		
7			1.53	1.65	1.76				
8			G	G	G				

* VALORES INTERPOLADOS

II.- COLUMNA TERMICA

El RA-3 cuenta con una columna térmica rellena de grafito, como facilidad de irradiación y experimentación, cuyas dimensiones y forma se pueden apreciar en la figura (3).

Consta de cinco agujeros que la atraviesan, según puede observarse en la figura (3), con acceso desde el exterior mediante orificios pasantes practicados en la compuerta-blindaje, que normalmente se hallan cubiertos por tapones.

Para el estudio de las características del flujo neutrónico se utilizó el orificio central; para ello se relleno un tubo de aluminio con grafito, que posee cada 10 cm. lugares de irradiación. Se usaron detectores de oro en forma de hojuelas de 3 mm. de diámetro cuyas características se pueden observar en el cuadro (1). Debido a la amplia variación del flujo se debieron realizar varias irradiaciones a los efectos de tener una actividad de los detectores que no sobrepasara el límite impuesto por el tiempo-muerto del equipo de medición (alrededor de 200.000 c/m), y por lo menos diez veces superior al fondo, alrededor de 2.000 c/m. Todas las irradiaciones se refirieron a un punto testigo de flujo intermedio, con lo cual se obtuvo una distribución de actividades de Au desnudas (gráfico 15) y Au bajo Cd (gráfico 16). Se utilizaron cajas de Cd con paredes de 0.8 mm. de espesor. La relación 1 permite encontrar la relación de Cd del detector utilizado, (gráfico 17). La relación de Cd de un detector $1/v$, resulta independiente del detector utilizado; se obtiene a partir de calcular el índice espectral dado por la fórmula 5 y reemplazar su valor en:

$$R_{cd}^{(1/v)} = \frac{\mu}{r \sqrt{E}}$$

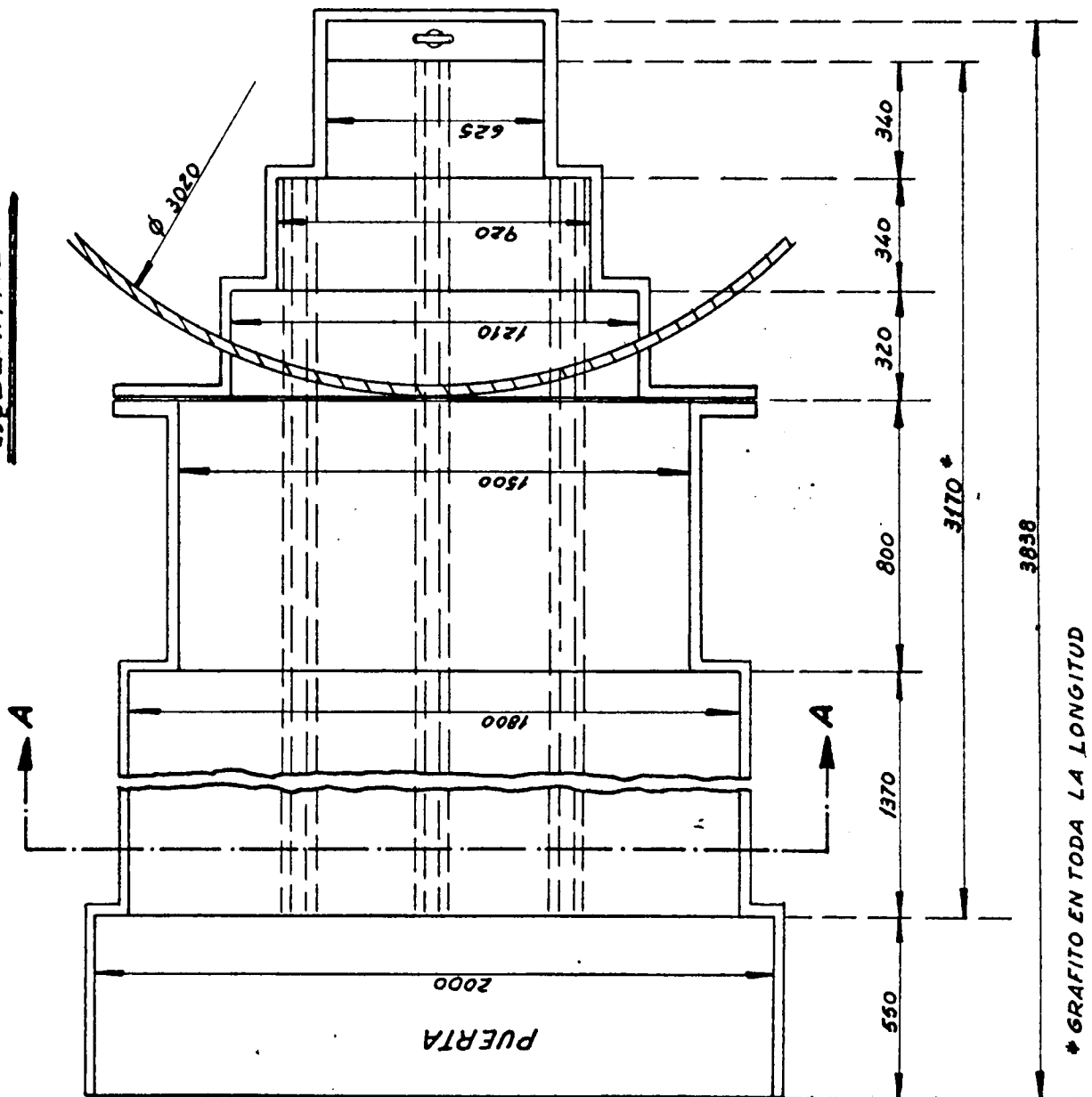
$\frac{1}{v} = 0.462$ para $T = 20^\circ\text{C}$ y $E_{Cd} = 0.6$ ev, que corresponde a un espesor de cadmio de 0.8 mm. Ver gráfico (18).

Para la medición de flujo térmico absoluto en el punto testigo, se utilizó Mn en forma de hojuelas de 3 mm de diámetro cuyas características se encuentran en el cuadro 1.

Para la calibración absoluta de la actividad del Mn, se utilizó el método usual descrito en la sección 1. El flujo térmico se despeja de la relación 2.

La distribución de flujo térmico se muestra en el graf. (19).

COLUMNA TERMICA
ESQUEMATICO.



* GRAFITO EN TODA LA LONGITUD

SECCION A-A

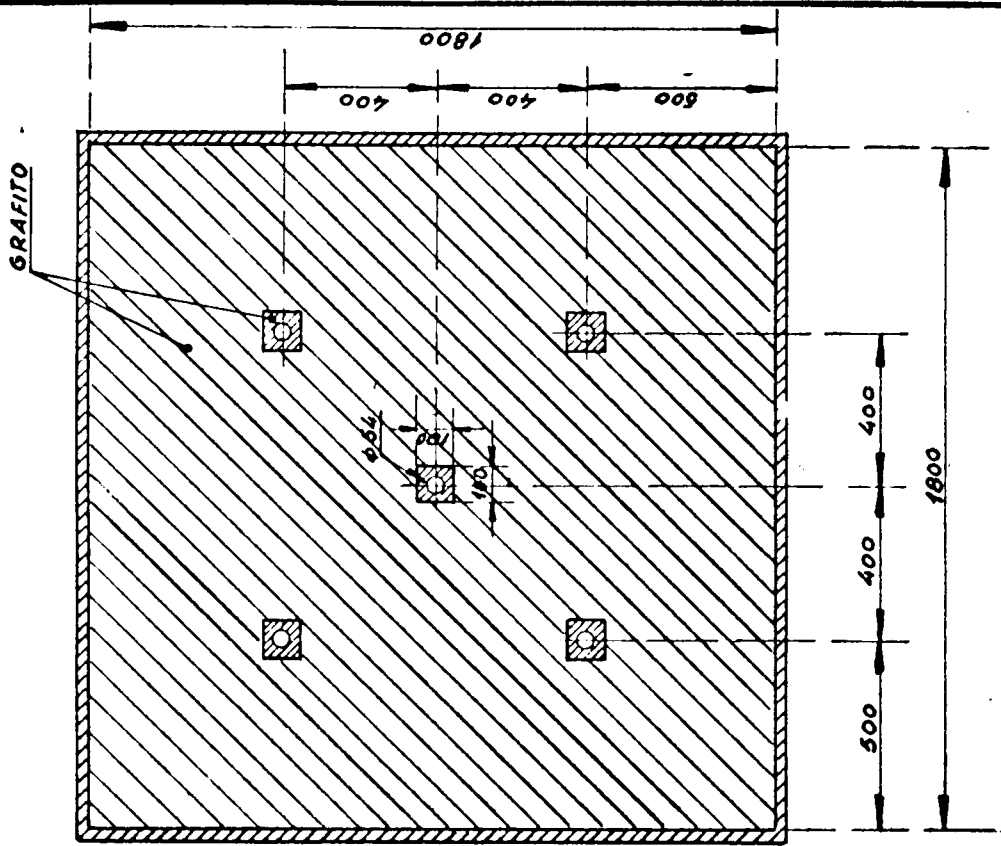


Fig. 3

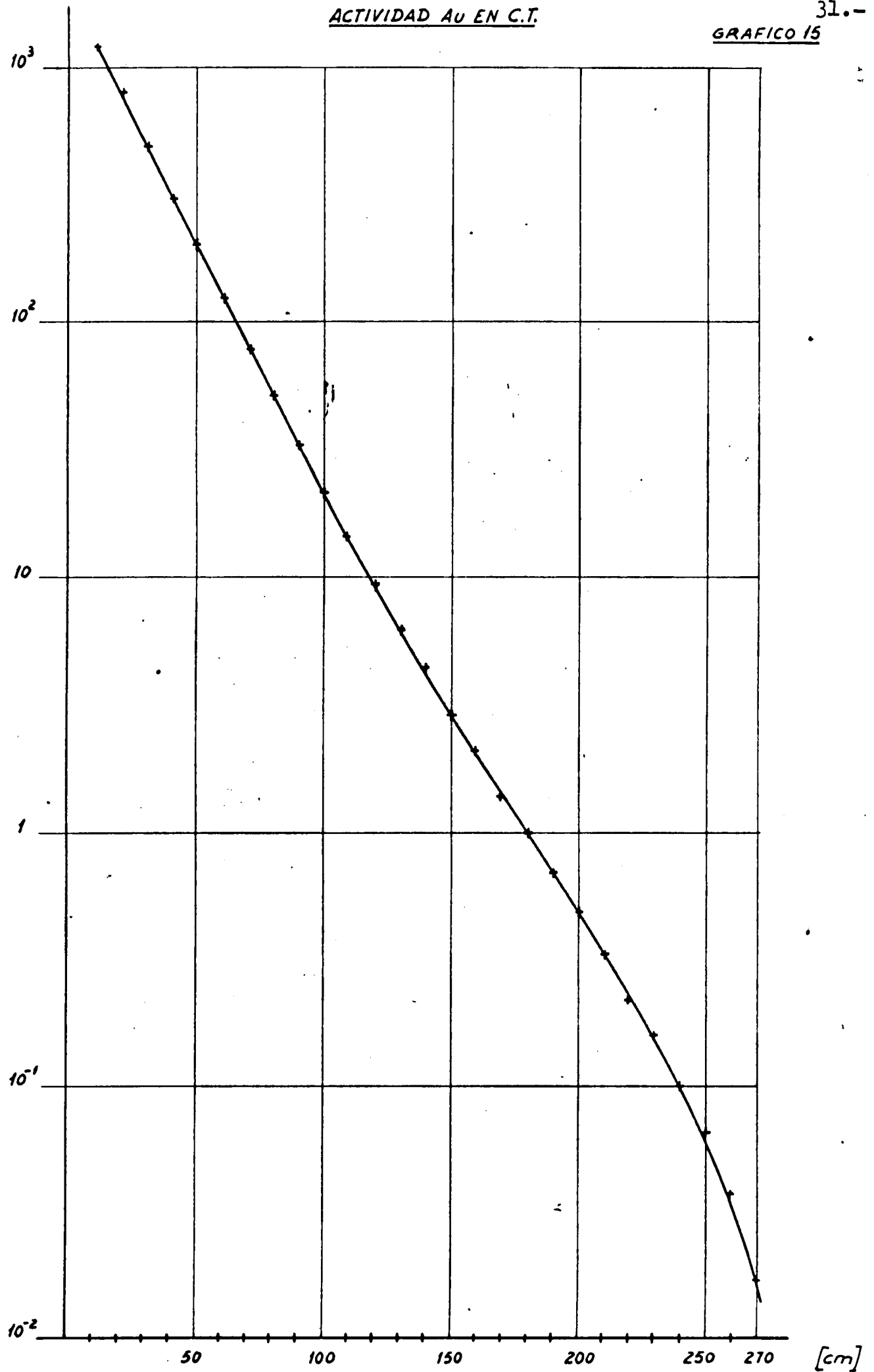
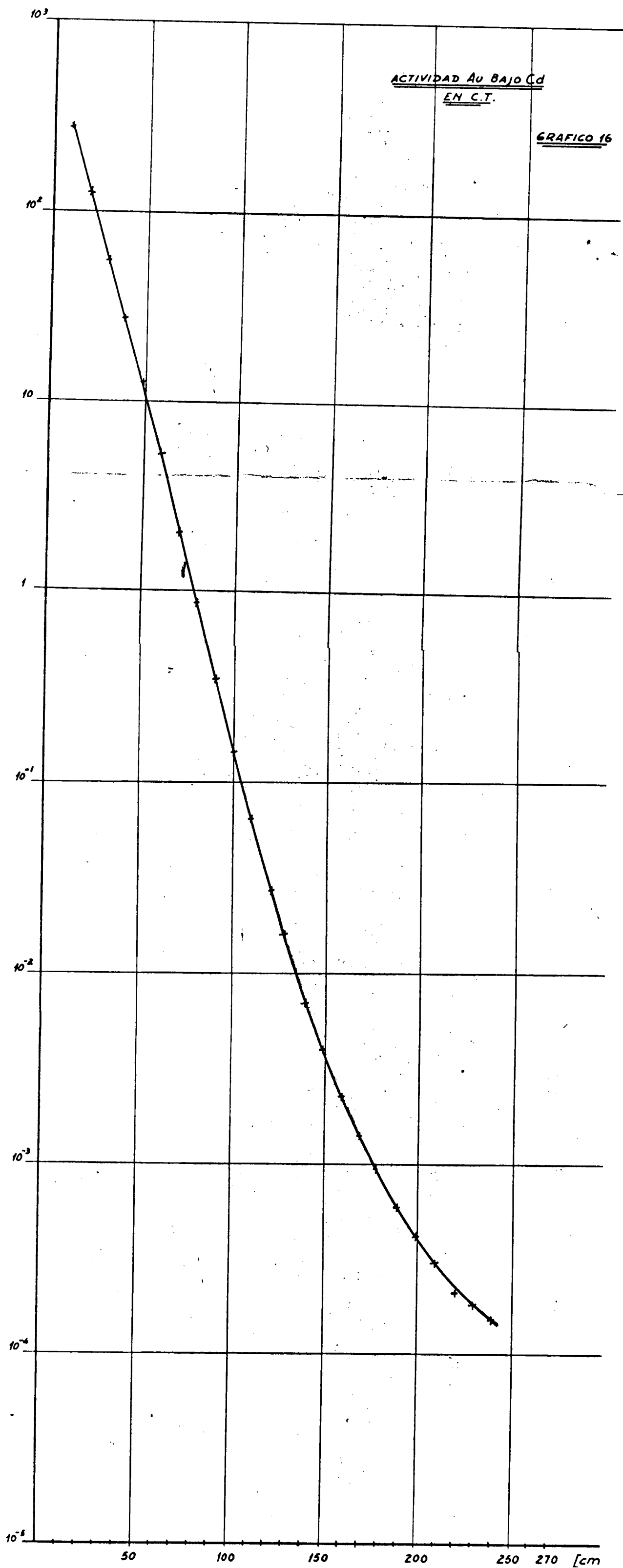


FIG.



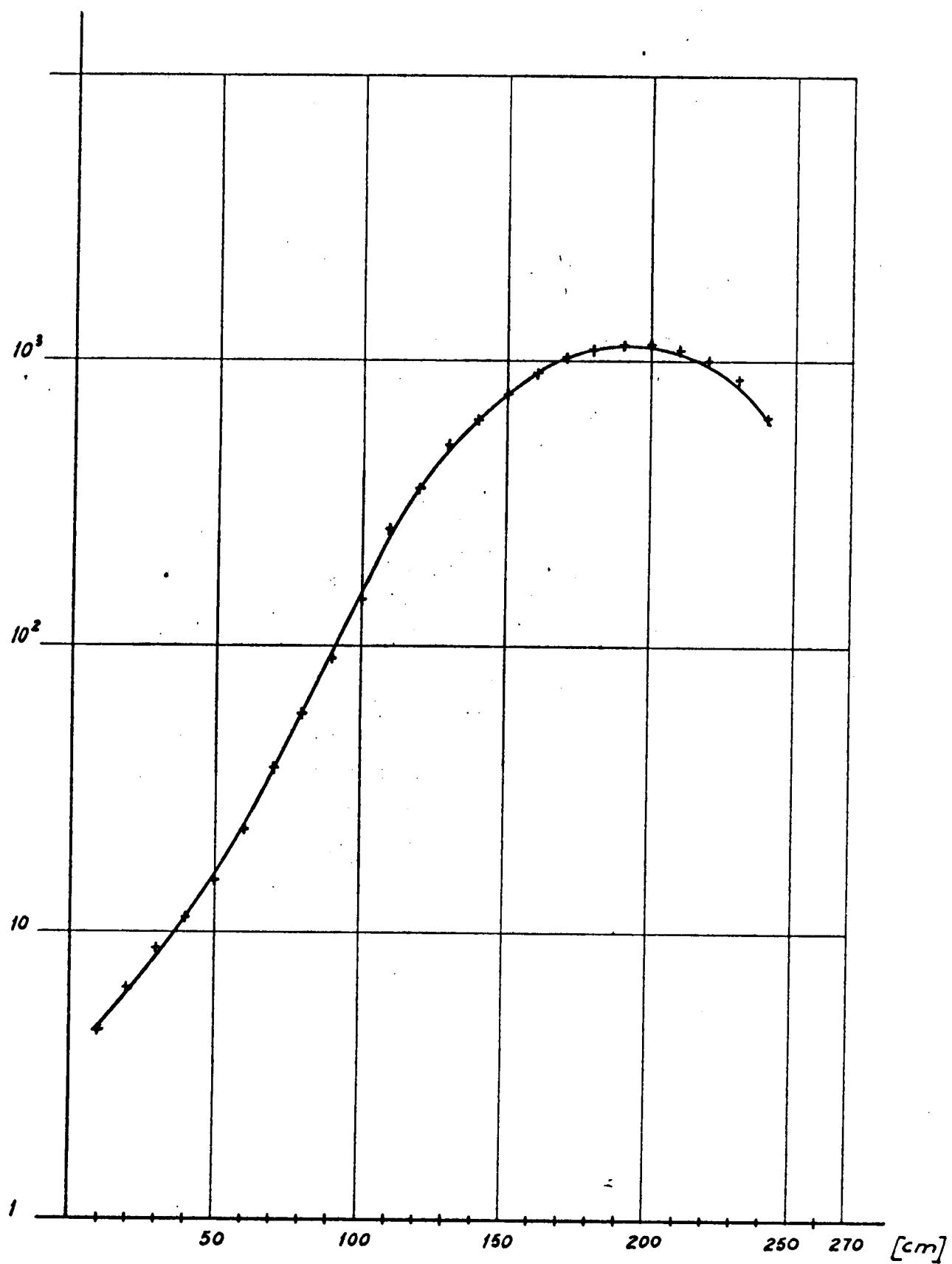
$R_{cd} [Au]$ GRAFICO 17

FIG.

$$Rcd\left(\frac{1}{\nu}\right)$$

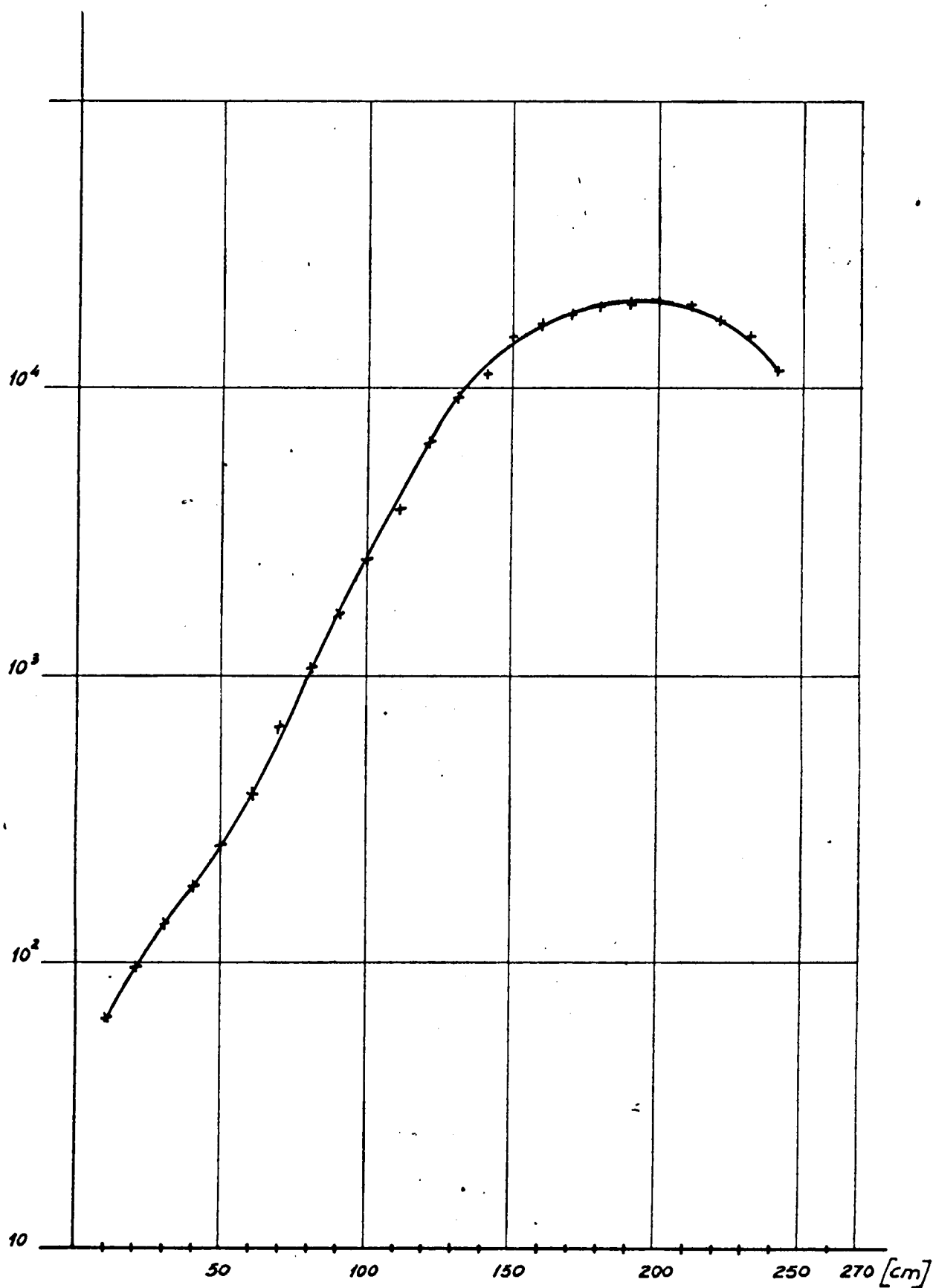
GRAFICO 18

FIG.

$\phi_{TH} \propto 1 MW$

GRAFICO 19
35.-

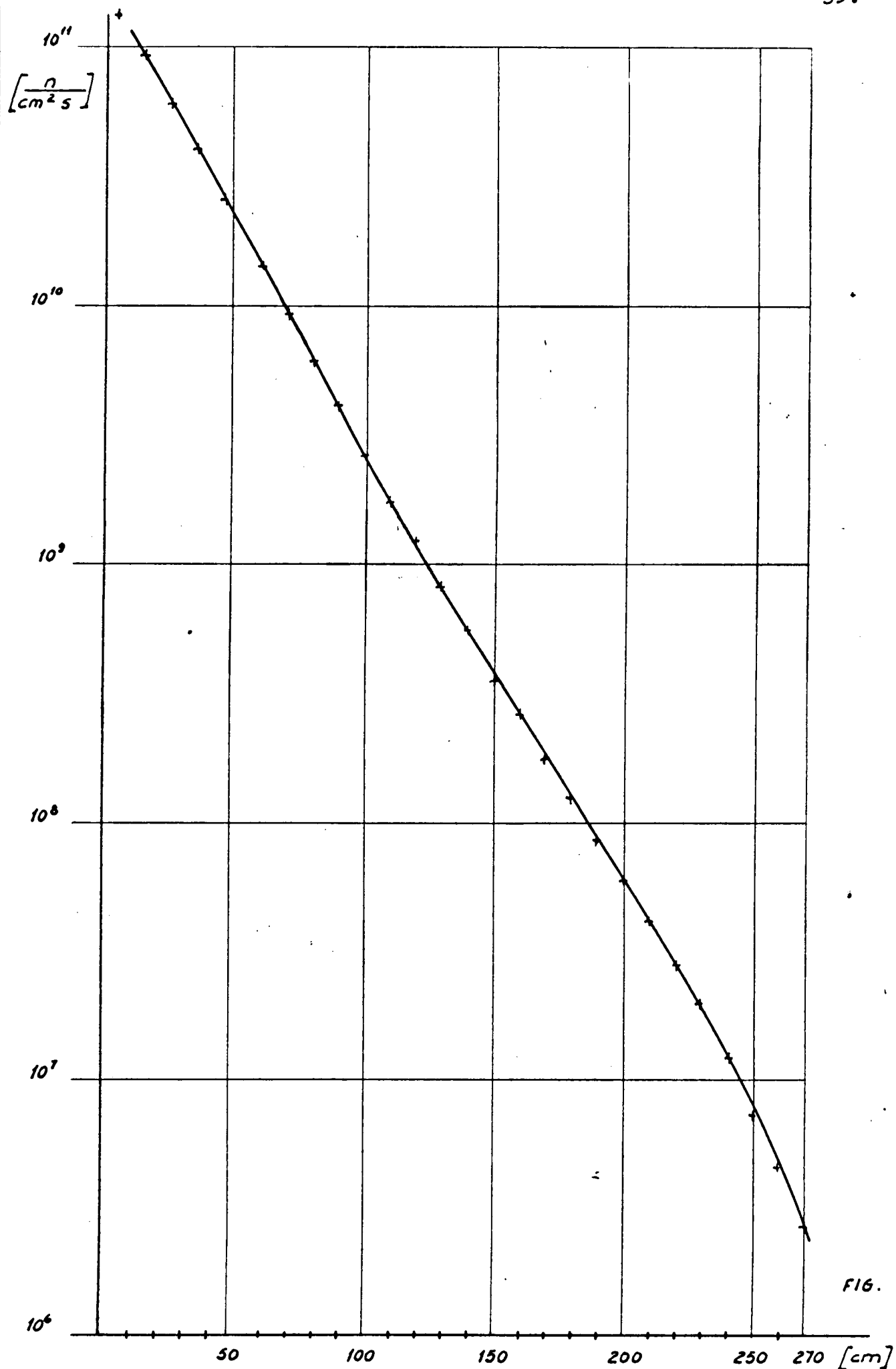


FIG.

III.- HACES.-

El RA-3 dispone de seis canales de irradiación radiales y un canal tangencial al núcleo con acceso desde ambos extremos. Ver figura (4).

El eje de los canales radiales coincide con el plano medio del núcleo, de manera de obtener el máximo flujo, y convergen todos en el centro del núcleo. Dos de ellos, los canales B y E tienen mayor diámetro que el resto. Actualmente los canales llegan hasta la pared interna del tanque, faltando para llegar al núcleo una extensión que consiste en un tubo estanco debidamente lastrado, con un mecanismo que permita obturar el haz de neutrones y los altos niveles de radiación γ provenientes del núcleo.

Las prolongaciones se encuentran en la etapa de diseño y de cumplirse los programas previstos, estarán colocadas en marzo-abril de 1972.

Se realizaron mediciones de flujo de neutrones en el canal radial E, sin ningún tipo de filtro o colimador, para lo cual se colocó la correspondiente prolongación hasta el borde de la grilla del núcleo.

En estas condiciones, con la prolongación colocada y el reactor parado, la radiación γ proveniente del núcleo en la boca exterior del canal era aproximadamente de 100 R/h; sin la prolongación la exposición era de 2-3 R/h, la diferencia corresponde a la absorción de la radiación por el agua.

Las muestras que sirvieron como detectores de neutrones se colocaron sobre diez discos de aluminio separados 22.6 cm. uno de otro, mantenidos rígidamente sobre un caño del mismo material.

El conjunto imitaba la geometría interna del canal; los primeros cinco discos entraban en el primer tramo, de menor diámetro que el segundo tramo del canal, donde se ubicaban los restantes; además--

centraban los detectores alrededor del eje, figura (5).

En cada disco se colocaron ocho detectores en un círculo de 4 cm concéntricos al canal y uno en el centro.

En una primera irradiación se colocaron muestras de oro de 3 mm de diámetro cuyas características se señalan en el cuadro (1). Se irradió a roximadamente tres horas a 1.5 MW que era lo máximo que permitía el blindaje colocado a la salida del haz.

En estas condiciones de funcionamiento la exposición a la radiación γ era de 10^4 R/h a la salida del canal.

Luego, en la misma posición, se irradió el doble de tiempo oro bajo cadmio. En ambos casos se colocó una muestra de oro como referencia en la columna térmica.

La actividad de las muestras se midió en el espectrómetro de centelleo acoplado a un cambiador automático ya descrito.

De la relación de actividades correspondiente al punto de referencia y la relación de cadmio, es posible obtener el flujo térmico y epitérmico según las fórmulas 2 y 5.

En la medición del flujo térmico absoluto en el punto de referencia se utilizó Mn empleando el método habitual.

Los parámetros graficados resultan del promedio de la distribución de actividades en cada disco, por lo tanto deben interpretarse como valores medios en una superficie transversal al canal, la máxima dispersión de flujos en esta superficie es del 20%.

En el gráfico (20) de distribución del flujo térmico de neutrones, se observa un pequeño máximo que proviene del "backscattering" que provoca la parafina utilizada como elemento del blindaje exterior al canal; además, como este flujo se compone fundamentalmente de neutrones térmicos, la relación de cadmio aumenta, gráfico (21). Las líneas punteadas obtenidas por extrapolación indican el valor

de estos parámetros en ausencia de blindaje.

La superficie A de la fig. 5 enfrenta al núcleo. En ella se midió el flujo térmico y la relación de cadmio, utilizando los mismos detectores que en el resto de las mediciones.

Se obtuvo $\phi_{th} = 1.3 \times 10^{12}$ n/cm² seg y $R_{Cd} = 11.5$; ambos parámetros resultan del promedio en toda la superficie.

Si se supone el canal libre, es decir sin ningún tipo de absorbedores ó dispersores y las paredes absorbentes tanto de neutrones térmicos como epitérmicos, la distribución de flujos en el canal será proporcional al ángulo sólido cuya superficie es el área transversal del canal, y el radio la distancia entre A y el punto X donde se calcula el flujo; es decir:

$$\phi_x = \phi_A \frac{2\pi}{4\pi} \quad -10-$$

Donde ϕ_A es el flujo de neutrones en A. Por otro lado en las condiciones especificadas la relación de cadmio debe permanecer constante e igual a la relación de cadmio en A. Los resultados de las mediciones se devían considerablemente. La relación de cadmio varía y en general es menor que en A. Además si se calcula ϕ_A mediante 10 empleando como dato el flujo medido a 257 cm de A, el resultado es 9.3×10^{10} n/cm² seg, es decir 14 veces inferior al medido en el mismo punto.

Estas discrepancias se deben:

- 1) Las paredes de la prolongación que al estar en contacto con el agua actúan como reflectores, aumentando el flujo térmico en B.
- 2) La existencia en B de una brida de acero inoxidable de aproximadamente 1 cm de espesor que aparte de absorber tienen como efecto principal dispersar el haz.
- 3) Las paredes del canal, reflejan en mayor proporción los neutrones epitérmicos.

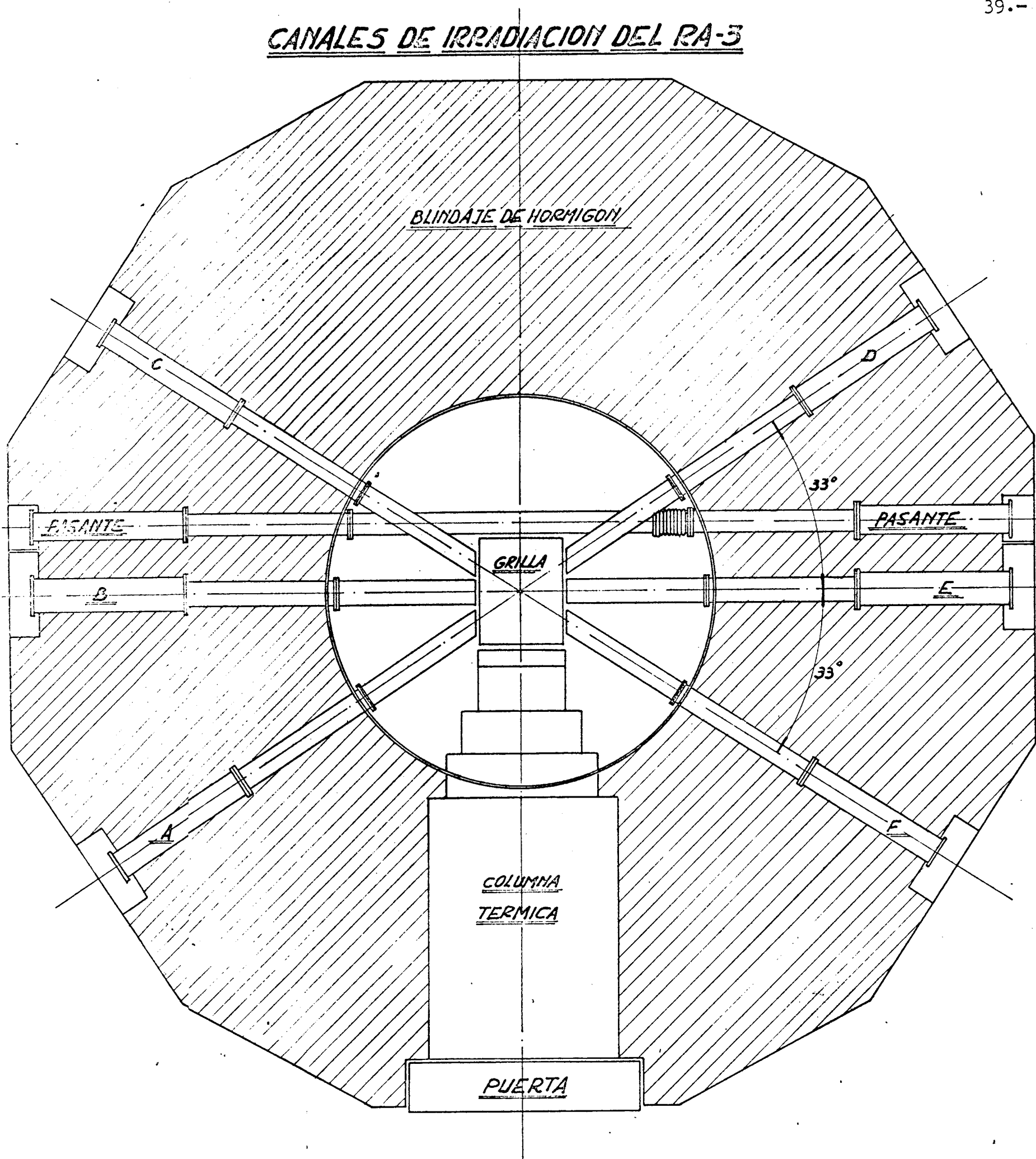
CANALES DE IRRADIACION DEL RA-3

FIG.: 4

DISPOSITIVO DE IRRADIACION

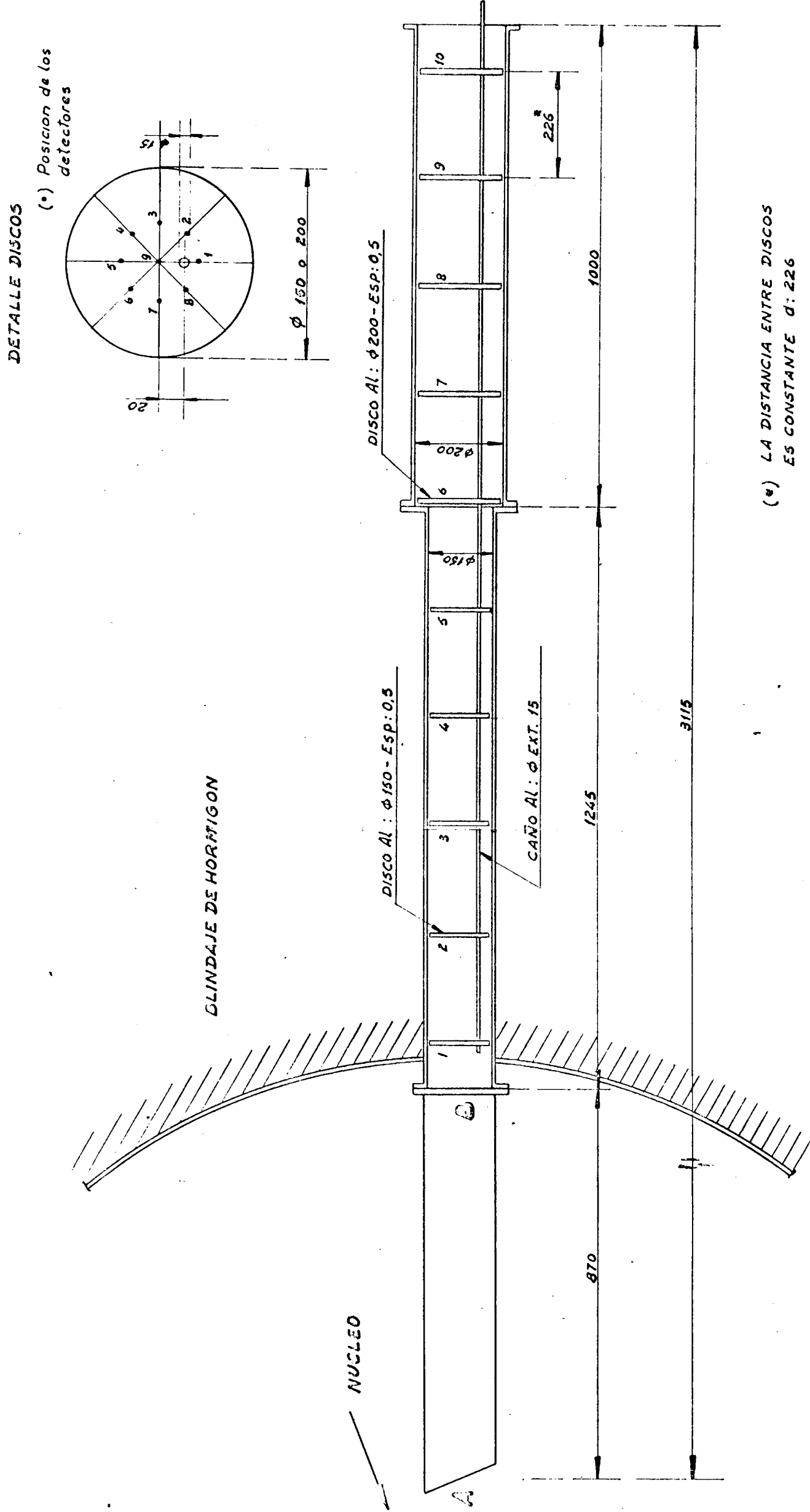
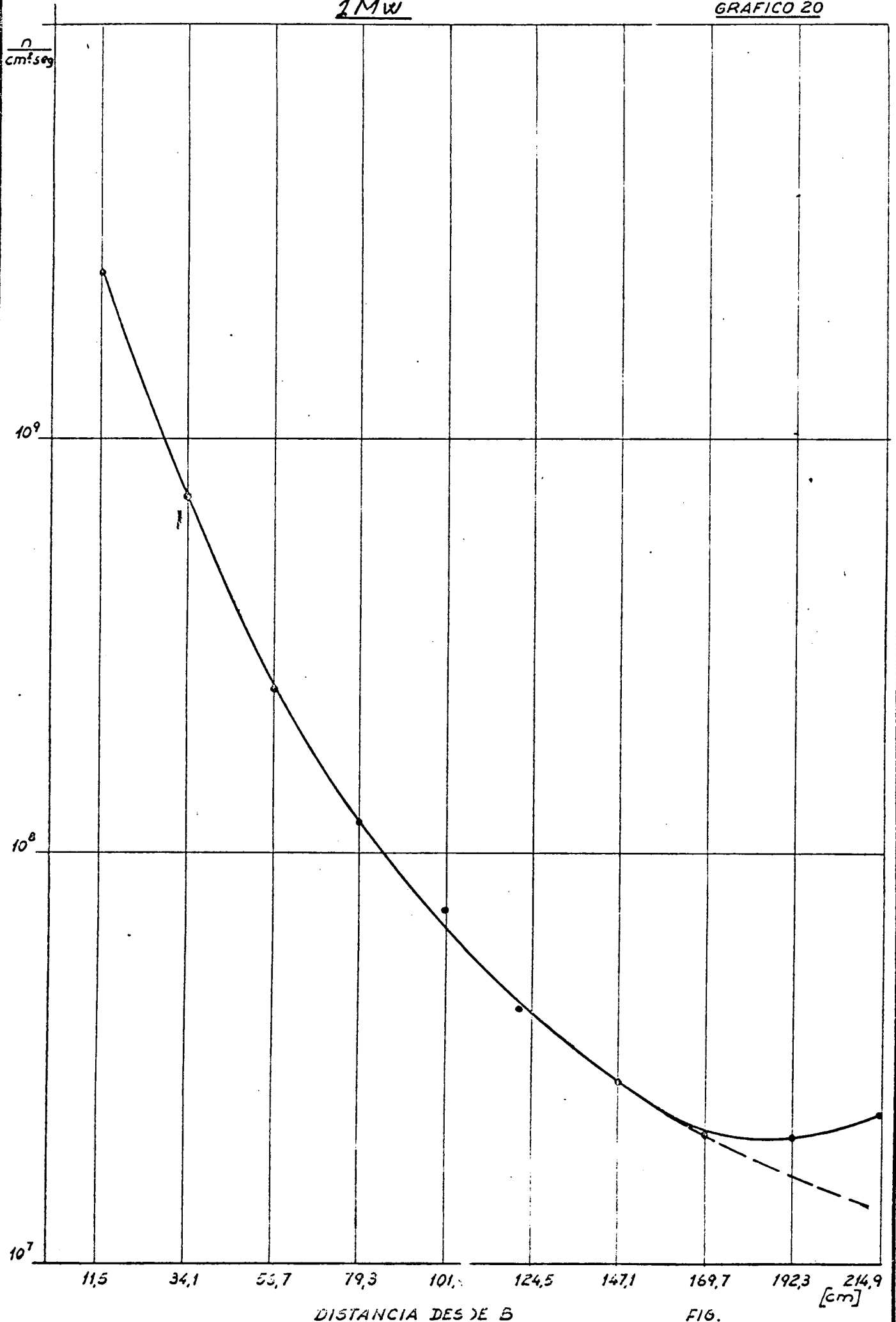


Fig. 3

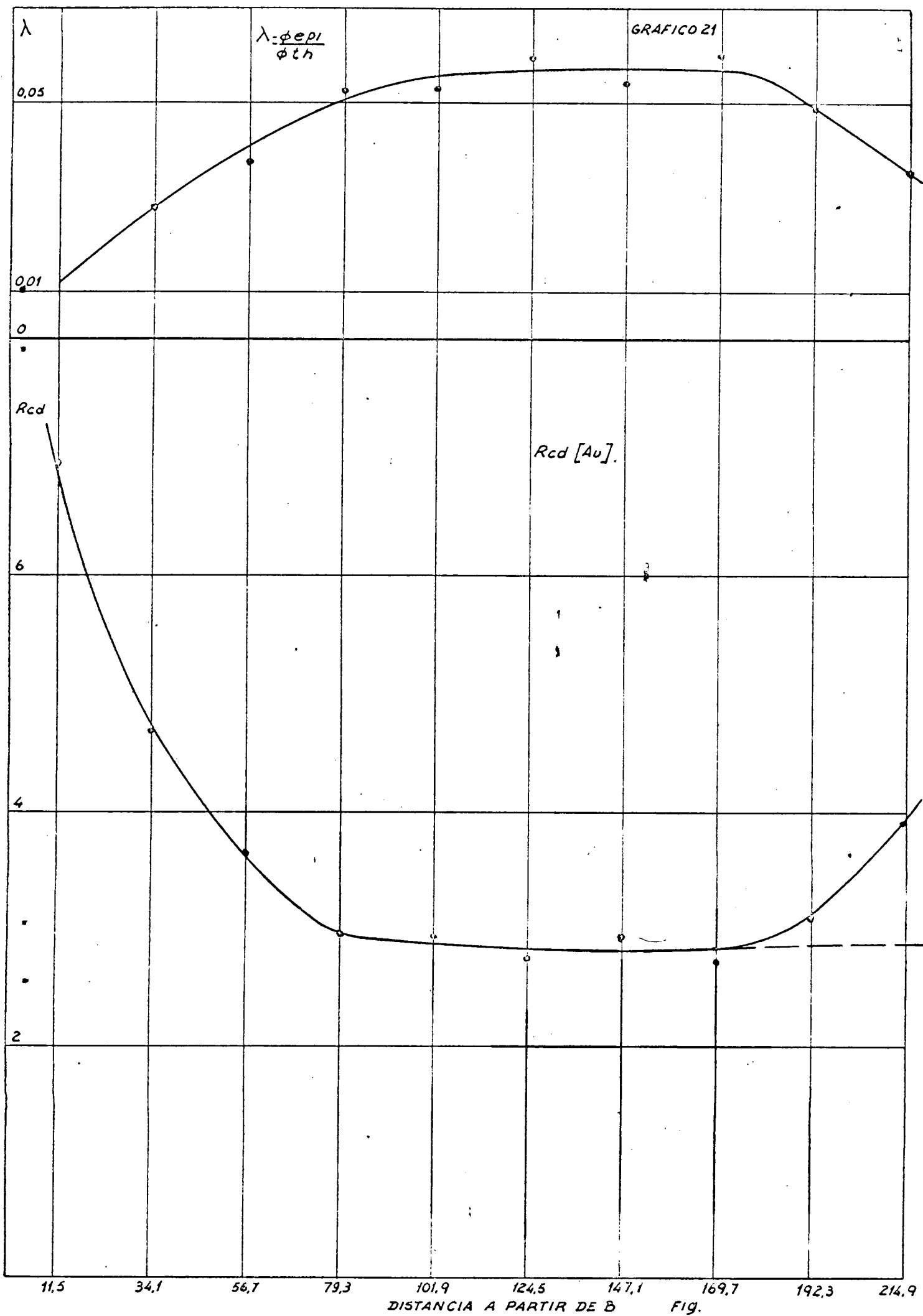
1 Mw

GRAFICO 20



DISTANCIA DES DE B

FIG.



IV.- CAJAS DE IRRADIACION DE MUESTRAS

El RA-3 dispone de dos circuitos neumáticos para introducción y extracción de muestras, los conductos llegan a la altura del plano medio, próximos a dos caras laterales del núcleo, ver fig. 6.

Por ser una facilidad que permite una operación rápida de las muestras es particularmente apta para las mediciones absolutas del flujo, de manera que normalmente se utiliza como punto de referencia para las mediciones del flujo de neutrones en el núcleo y en las cajas de irradiaciones ubicadas en su periferia.

Las mediciones absolutas de flujo térmico en los tubos neumáticos se realizan comunmente con Mn, comprobándose algunas con Cu, obteniéndose concordancia dentro del 5%. Además se comprobó la equivalencia de ambos tubos neumáticos.

La calibración de la actividad absoluta del Mn se realiza por los métodos habituales descriptos.

Las mediciones hechas durante el período abril-diciembre de 1971 dan como promedio para una lectura del galvanómetro de $14.5 \mu A$ asociado a la cámara de ionización compensada:

$$\phi_{th} = (4.62 \pm 0.60) \times 10^{12} \frac{n}{cm^2 \cdot s}$$

Este flujo corresponde aproximadamente a 1 MW.

El promedio fue tomado sobre ocho series de cinco irradiaciones cada una.

Durante el período señalado se hicieron repetidos cambios de cajas de elementos combustibles, los cuales provocan una redistribución del flujo en el núcleo, que incide en la dispersión standard señalada del flujo térmico; sin embargo este error es comparable al -- provocado por la indeterminación en la posición de la muestra, dentro del tubo neumático, medido en un 12% para una irradiación. Actualmente está en diseño un nuevo tubo neumático que obvie este in

conveniente.

Se comprobó la linealidad del galvanómetro asociado a la cámara de ionización compensada con respecto al flujo de neutrones medido en el tubo neumático en el rango de 0.5 a 5MW.

El promedio del índice espectral en el período considerado es:

$$r\sqrt{\frac{I}{I_0}} = 0.0182 \pm 0.0012$$

al que le corresponde:

$$\lambda = 0.0186 \pm 0.0012$$

Estos valores fueron hallados a partir de la medición de la relación de cadmio en el tubo neumático por el método habitual indicado en la sección I.

El reactor cuenta en la actualidad con cinco cajas de irradiación de muestras, de 16 posiciones de irradiación cada una, ver fig.(6) ubicadas en la configuración actual del núcleo, ver fig.(7), en: A4, A5, C2, C7, H6.

En ellas se midió mensualmente el flujo térmico relativo al existente en el tubo neumático y periódicamente el flujo rápido.

El flujo térmico relativo se midió con hojuelas de aleación In-Pb al 0.2%, cuya concentración fue previamente calibrada.

Se irradió en cada can una hojuela bajo Cd y dos desnudas equidistantes a aquella, con lo cual se halla la relación de Cd en el centro del can; el mismo método se aplica al can irradiado simultáneamente en el tubo neumático, de donde es posible obtener el índice espectral y el λ en cada punto y en el tubo neumático; con estos datos se obtiene el flujo térmico a partir de 2, relativo al existente en el tubo neumático. El resultado para cada caja se observa en los gráficos: (22), (23), (24), (25), (26), conjuntamente con la dispersión correspondiente.

Los datos graficados provienen del promedio de cuatro mediciones comparables realizadas en el período antedicho, por lo tanto a las

dispersiones contribuyen los cambios en el núcleo, la indeterminación en la posición de las muestras en el tubo neumático y de las cajas.

El flujo rápido se midió en forma absoluta con: Al, Ni, Fe, en la posición Y4 de la caja C7, que sirvió como referencia para el resto de las posiciones de las cajas C2 y C7 medidas con Al.

Se utilizaron las reacciones que muestra el cuadro 2.

Las secciones eficaces utilizadas están promediadas sobre el espectro de fisión.

La calibración absoluta de las actividades de los detectores irradiados en el punto de referencia, se obtuvo mediante la comparación con fuentes patrones de la OIEA ; fueron medidas en un multicanal con detector de Ge(Li).

Se obtuvieron para el punto de referencia y 14.5 μ A de lectura los valores de flujo rápido indicados en el cuadro 2, juntamente con el detector utilizado y la fuente patrón que sirvió para comparación.

CUADRO N°2

DETECTORES DE FLUJO DE NEUTRONES RAPIDOS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES.

ELEMENTO	REACCIÓN	PRODUCTO	$\bar{\sigma}$ [mb]	STANDARD DE COMPARAC.	ϕ_r
Fe ⁵⁶	(n,p)	Mn ⁵⁶	1,03	Mn ⁵⁴	$3,34 \times 10^{12}$
Al ²⁷	(n, α)	Na ²⁴	0,61	Co ⁶⁰	$3,67 \times 10^{12}$
Ni ⁵⁸	(n,p)	Co ⁵⁸	105	Co ⁵⁸	$3,22 \times 10^{12}$
				Mn ⁵⁴	$3,42 \times 10^{12}$

El promedio resulta:

$$\phi_r = (3.41 \times 10^{12} \pm 0.08) \frac{n}{cm^2 \cdot seg}$$

La relación: ϕ_r/ϕ_{th} para cada posición de irradiación figura en el cuadro 3.

CUADRO N° 3

RELACION DE ϕ_r/ϕ_{th} EN LAS DIFERENTES POSICIONES DE IRRADIACION

Posic. CAJA Posic. NUCLEO	1	2	3	4	5	6	7	8
C7 Y	—	0,35	0,36	0,36	0,37	0,35	0,38	—
C2 X	0,33	0,36	0,35	0,33	0,34	0,36	0,33	—

CONFIGURACION DEL NUCLEO



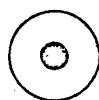
CAJA DE ELEMENTOS
COMBUSTIBLES



GRAFITO



CAJA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES
CON BARRAS DE CONTROL



CAJA DE IRRADIACION

NUCLEO

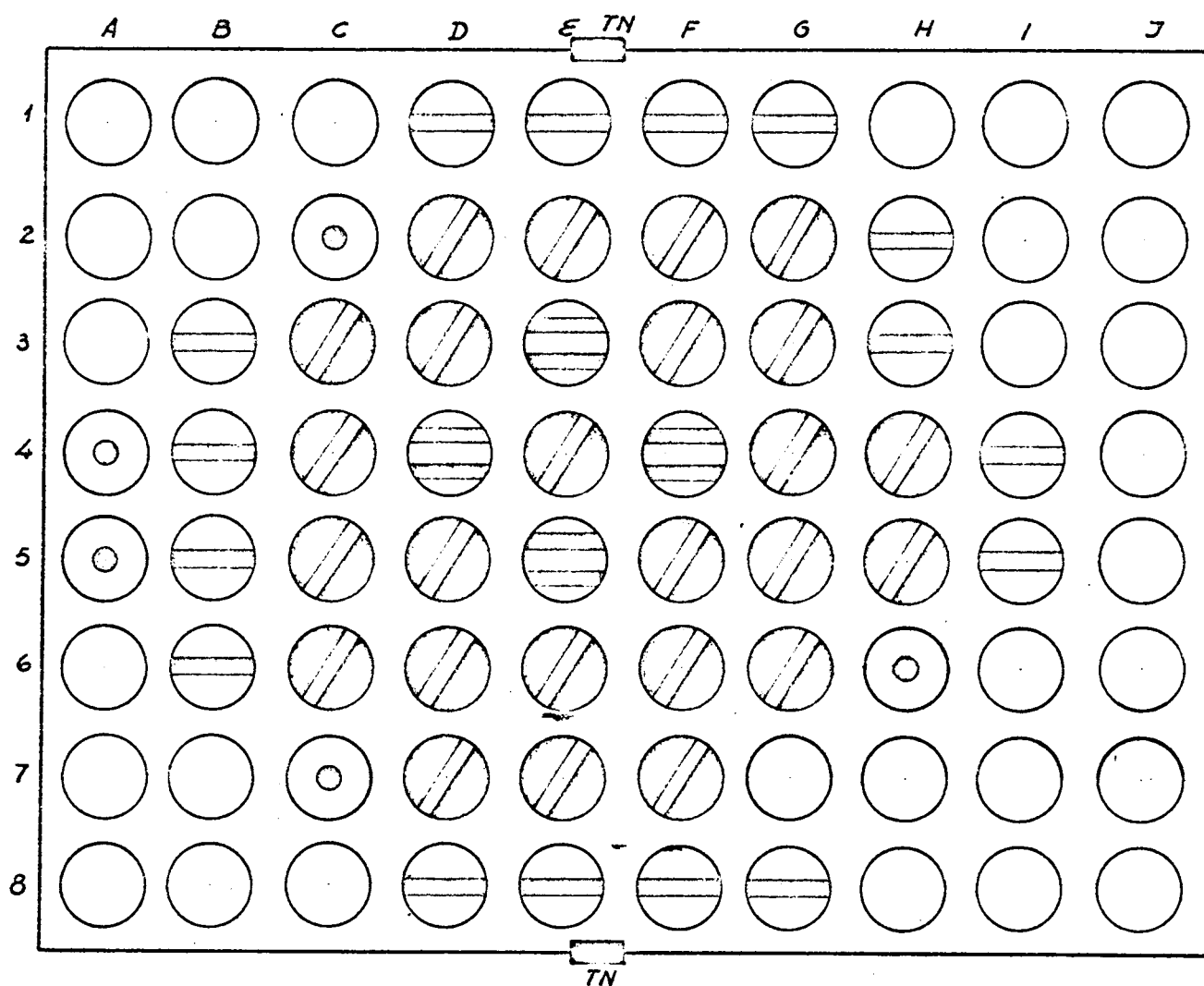
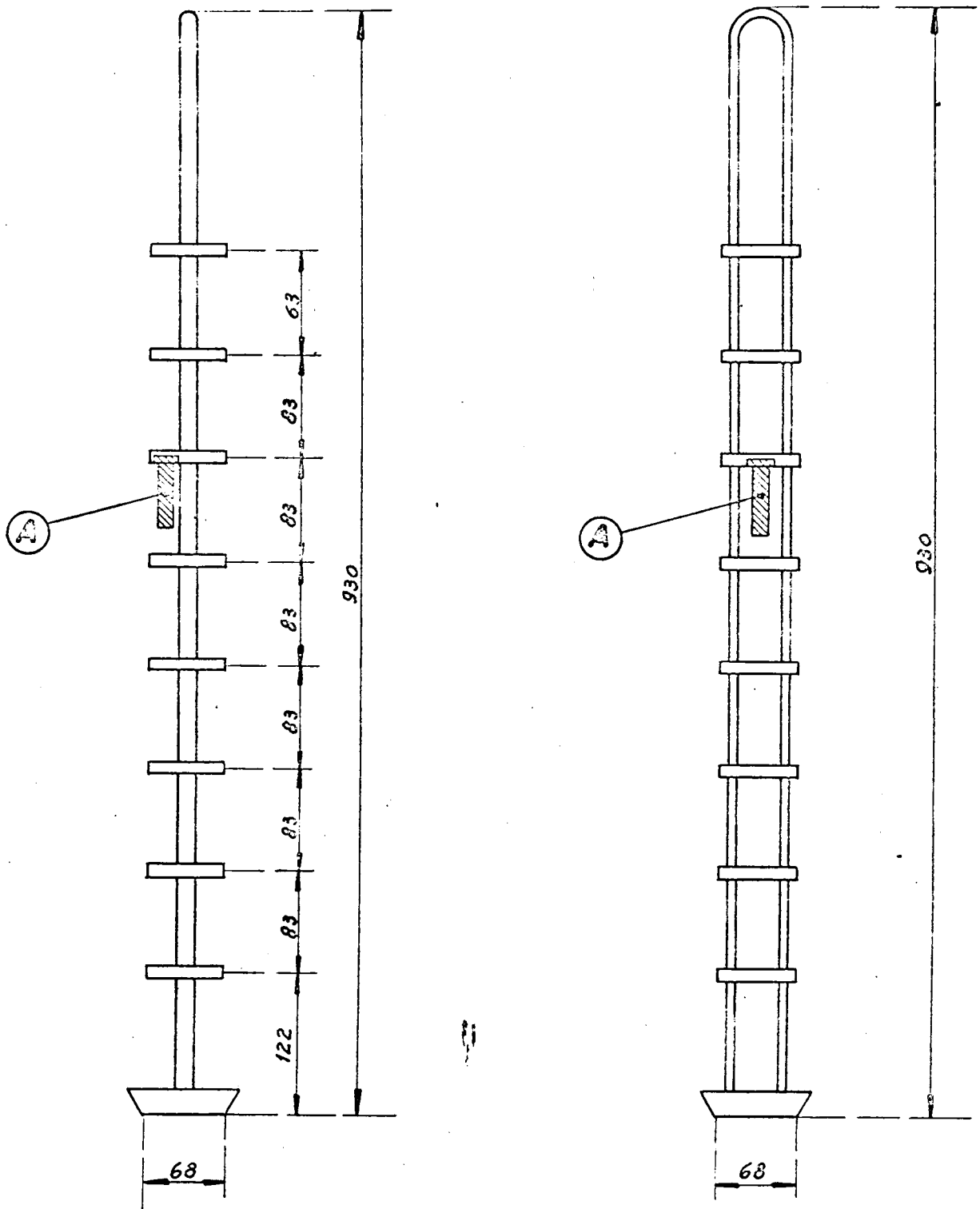


Fig. 7

CAJA DE IRRADIACION



Ⓐ POSICION DE ALOJAMIENTO DE LOS CANES

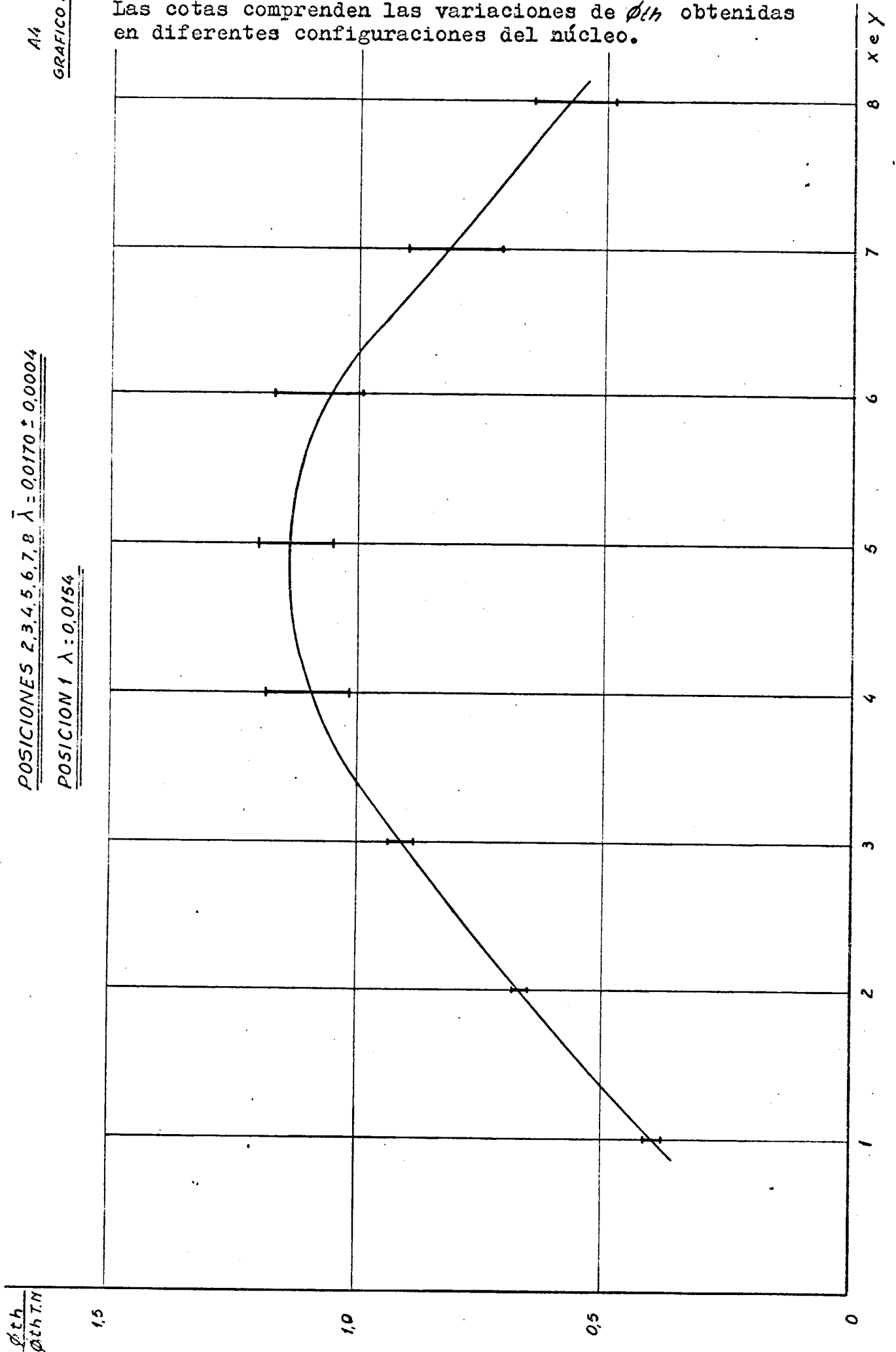
Fig. 6

A4
GRAFICO 22

Las cotas comprenden las variaciones de ϕ_{th} obtenidas en diferentes configuraciones del núcleo.

POSICIONES 2,3,4,5,6,7,8 $\bar{\lambda} = 0,0170 \pm 0,0004$

POSICION 1 $\lambda = 0,0154$



A5
GRAFICO 23

Las cotas comprenden las variaciones de ϕ_{th} obtenidas en diferentes configuraciones del núcleo.

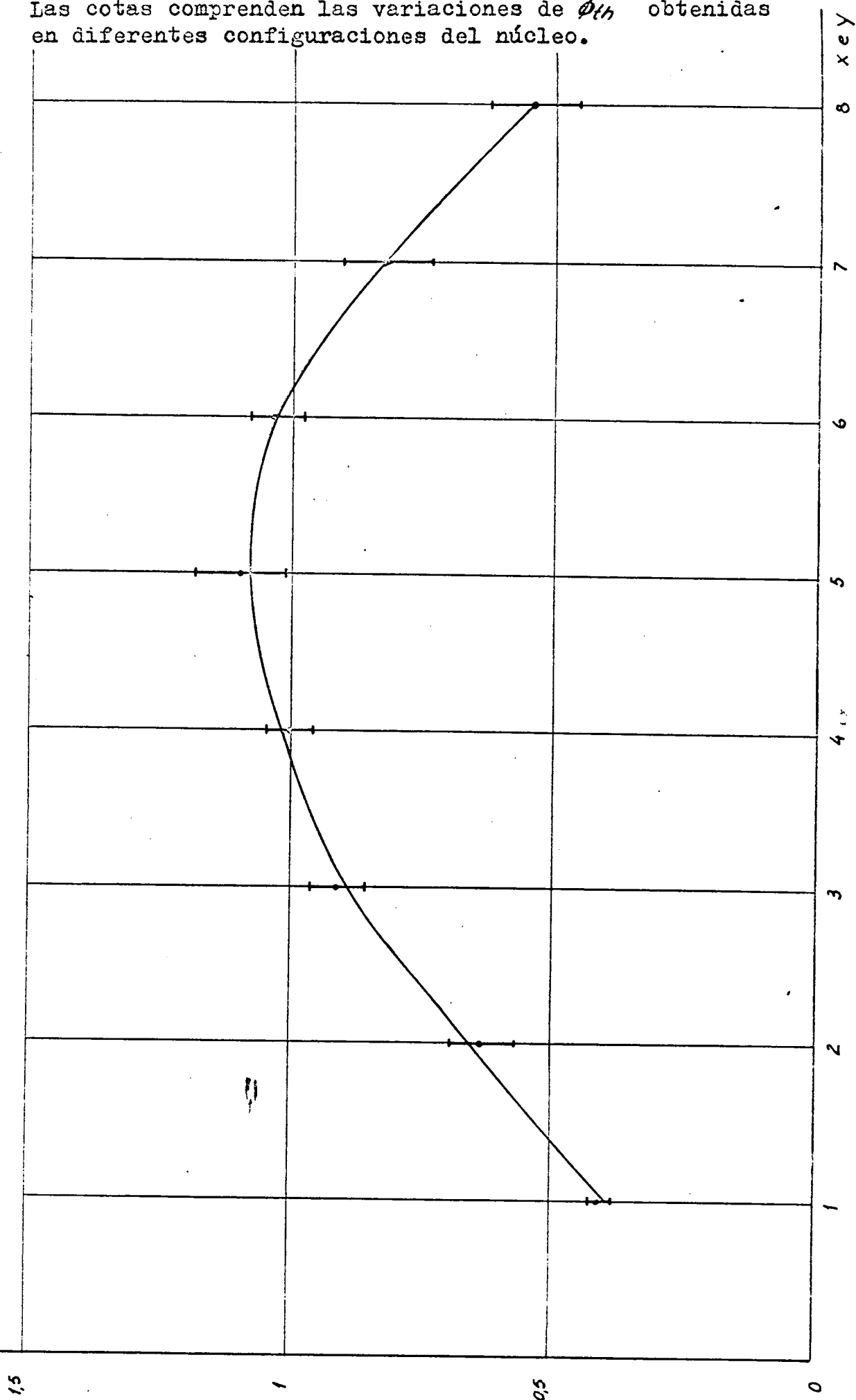
POSICIONES 2,3,4,5,6,7 $\bar{\lambda} = 0,0167 \pm 0,0003$

POSICION 1 $\bar{\lambda} = 0,0145$

POSICION 8 $\bar{\lambda} = 0,0160$

POSICION 1 $\bar{\lambda}$
POSICION 8 $\bar{\lambda}$

$\frac{\phi_{th}}{\phi_{th T.N.}}$



Las cotas comprenden las variaciones de ϕ_{th} obtenidas en diferentes configuraciones del núcleo.

C2
 ϕ_{th} PROMEDIO RELATIVO A T.N.
GRAFICO 24

POSICIONES 2,3,4,5,6,7 $\bar{\lambda} = 0,0358 \pm 0,0012$
POSICION 1 $\lambda = 0,0293$
POSICION 8 $\lambda = 0,0303$

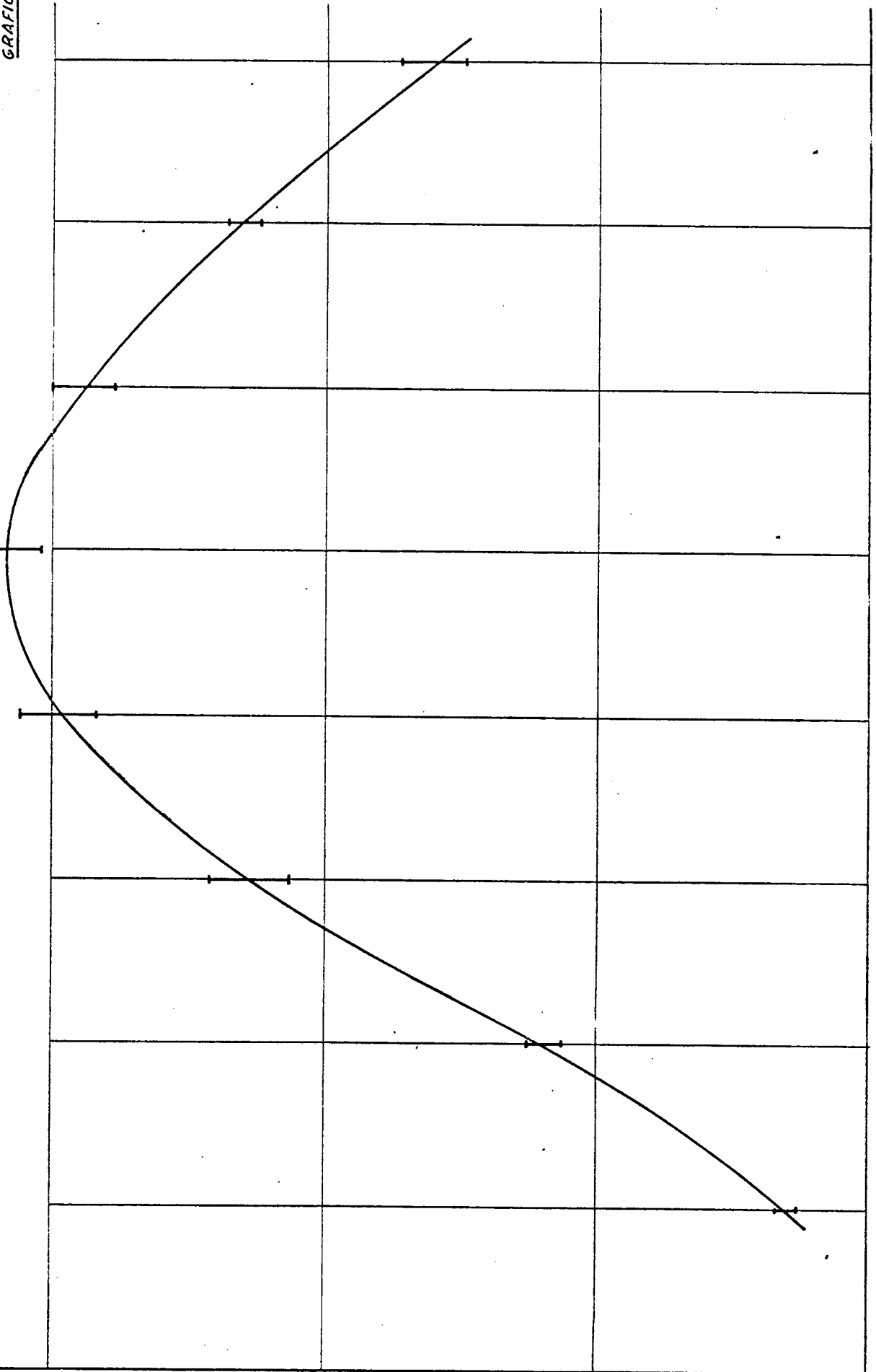
$\frac{\phi_{th}}{\phi_{th T.N.}}$

2

1,5

1

0,5



X1

X2

X3

X4

X5

X6

X7

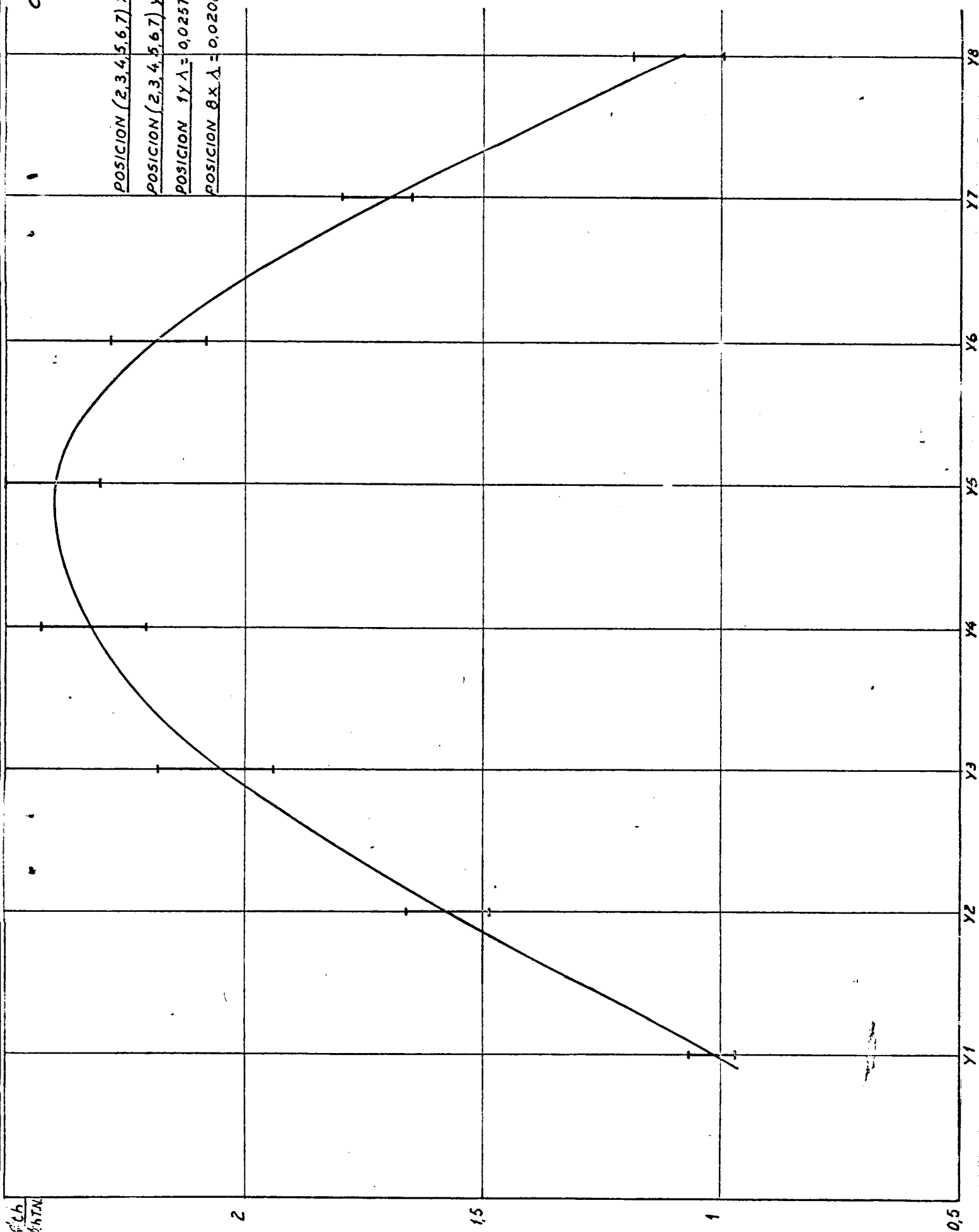
X8

Fig.

Las cotas comprenden las variaciones de ϕ_{th} obtenidas en diferentes configuraciones del núcleo.

C7
GRAFICO 25

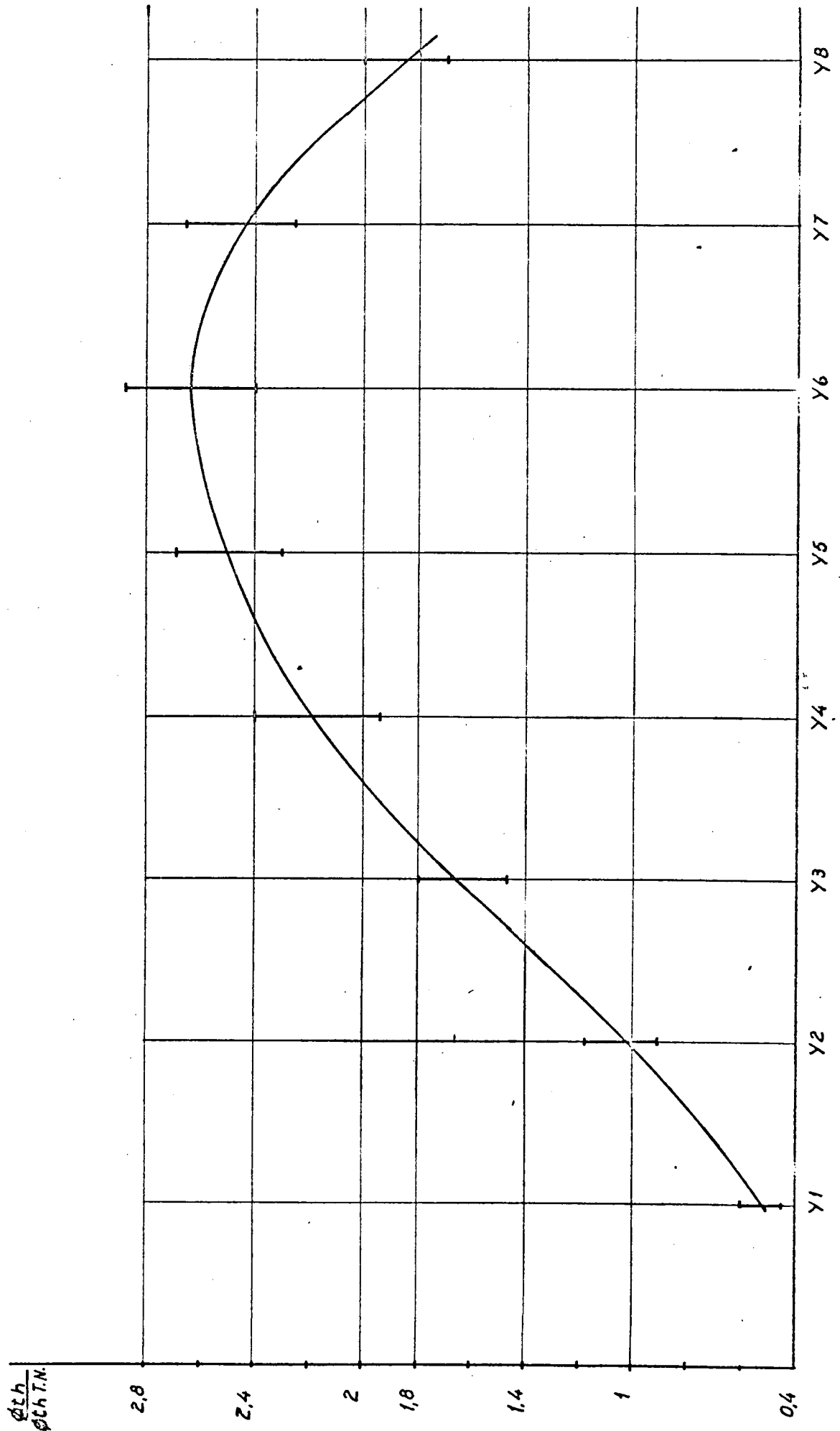
POSICION (2,3,4,5,6,7) x $\bar{\lambda} = 0,0242 \pm 0,0005$
 POSICION (2,3,4,5,6,7) y $\bar{\lambda} = 0,0343 \pm 0,0008$
 POSICION 1 y $\bar{\lambda} = 0,0257$
 POSICION 8 x $\bar{\lambda} = 0,0208$



H6
GRAFICO 26

Las cotas comprenden las variaciones de ϕ_{th} obtenidas en diferentes configuraciones del núcleo.

POSICIONES (2,3,4,5,6,7,8) Y $\bar{\lambda} = 0,0350 \pm 0,0026$
 POSICIONES (2,3,4,5,6,7,8) X $\bar{\lambda} = 0,0293 \pm 0,0010$
 POSICION 1 Y $\bar{\lambda} = 0,0160$



BIBLIOGRAFIA

- 1) AMALDI. E. The production and Slowing Down of Neutrons. Handbuch Der Physik. Vol: XXXVIII/2. 1959.
- 2) BAUMANN. - Resonance Integrals and Self-Shielding Factors for Detector Foils. D.P. 817 - 1963
- 3) BECKURTS - WIRTZ - Neutron Physics. Springer - Verlag. 1964
- 4) GLASSTONE - EDLUND. Nuclear reactor Theory. D. Van Nostrand Company. Inc. 1952
- 5) GLASSTONE - SESONSKE. - Ingenieria de Reactores Nucleares. Reverté. 1968.
- 6) JACKS G. M. - A Study of Thermal and Resonance Neutron Flux Detectors. D.P. - 608.
- 7) O.I.E.A. - Neutron Fluence Measurements. Technical Reports Series. N° 107.
- 8) N. PIERONI y H. RAPOPORT, G. RICABARRA y D.B. de RICABARRA, R. F. de TURJANSKI.- Parámetros nucleares en una configuración del RA-3. Comunicación interna C.N.E.A. - 1967.
- 9) G. RICABARRA, D.B. de RICABARRA, R.F. de TURJANSKI - Medición de Integrales de Resonancia de Activación - Informe N°1. Comunicación Interna CNEA - 1967
- 10) WEINBERG - WIGNER.- The Physical Theory of Neutron Chain Reactors. The University of Chicago Press. 1958
- 11) C.H. WESTCOTT.- A E C L -1101, 1960.
- 12) MAUNDERS E.J. J.N. ENERGY - 1965
- 13) G. RICABARRA .- Canadian Journal Physics - 46-22-1968 .

INDICE.-

RESUMEN		1
INTRODUCCION		2
NUCLEO		6
COLUMNA TERMICA		28
HACES		36
CAJAS DE IRRADIACION		43
BIBLIOGRAFIA		54

