

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1972

02.72.11

CAB/5/1972

ACTIVACION DE HOJUELAS

Informe redactado por Luis F. Gattó

Centro Atómico Bariloche

San Carlos de Bariloche - Marzo de 1972

ACTIVACION DE HOJUELAS.-

1 - Introducción.

Es sabida la utilidad del método de activación de hojuelas para determinar en forma absoluta o relativa la distribución de flujo. Particularmente es importante su uso en reactores. En los presentes trabajos se ha medido la activación en moderadores.

La activación⁽¹⁾ consiste en la formación de núcleos radioactivos mediante la interacción del haz de neutrones con las hojuelas blanco. En nuestro caso dicho haz se formó a partir del haz de electrones del LINAC del C.A.B. en conexión con un blanco pesado.

Esencialmente se ha medido el número de desintegraciones γ de las hojuelas activadas en forma integral a partir de un cierto umbral de discriminación que se ha elegido convenientemente. Las mediciones hechas hasta ahora en el laboratorio han sido relativas, vale decir que no se ha dado información exacta del flujo de neutrones. La entrada al grupo de una tira delgada de oro permitirá hacer mediciones absolutas próximamente, lo que podrá dar una idea cabal del flujo en toda la línea de experimentos que realiza la División Neutrones y Reactores.

2 - Preparación de las hojuelas.

Inicialmente se tomaron hojuelas de indio rectangulares enmarcadas en soportes de aluminio provenientes de la CNEA (Bs. As.). No contándose con su calibración fueron desmontadas de sus marcos, pesadas y deducidos sus espesores a partir de la medición del área y de la relación elemental:

$$\rho = \frac{P}{e \times A}$$

ρ : peso específico del In (7,28 g/cm³)

P : peso de la hojuela

e : espesor de la hojuela

A : área de la hojuela

Se consideró todo el espesor de las hojuelas constante. Pero se hallaron discrepancias de hasta el 100% entre diversos espesores. Entonces para disminuir los espesores y sus diferencias se laminaron las hojuelas en la laminadora de la División Metales del C.A.B. no pudiéndose tampoco obtener un número razonable de hojuelas con el mismo espesor. Merced a la gentileza del Licenciado O. Bressan de la División Bajas Temperaturas se obtuvieron varios hilos de indio de 99,99% de pureza que se laminaron lográndose finalmente formarse unas 40 hojuelas de 5 mm de diámetro y espesores muy similares del orden de 0,09 mm.

En las primeras mediciones de activación se consideraron todas las hojuelas del mismo espesor. Posteriormente, a raíz de algunas irregularidades experimentales, se convino en pesarlas, medir sus áreas y deducirse los espesores, lo cual se consigna en la Tabla 1. Todas las mediciones fueron luego corregidas convenientemente por estos factores.

T A B L A I Peso de las hojuelas de In. Areas. Espesores.

Nº	Peso (± 0.1 mg)	Diam. (mm)	Area $\pi \times D^2/4$ (mm ²)	$e = P/A \cdot \rho$ $\times 10^2$ mm	$e \times A$ mm ³
1	9,4	4,3	14,52	8,9	1,292
2	9,9	4,3	14,52	9,4	1,365
3	9,2	4,2	13,85	9,1	1,260
4	9,3	4,3	14,52	8,8	1,278
5	9,0	4,1	13,20	9,4	1,241
6	9,1	4,1	13,20	9,5	1,254
7	9,4	4,2	13,85	9,3	1,288
8	9,1	4,3	14,52	8,6	1,249
9	9,5	4,3	14,52	9,0	1,307
10	9,3	4,3	14,52	8,8	1,278
11	9,7	4,2	13,85	9,6	1,330
12	9,3	4,2	13,85	9,2	1,274
13	9,3	4,1	13,20	9,7	1,280
14	9,3	4,3	14,52	8,8	1,278
15	9,8	4,2	13,85	9,7	1,343
16	9,4	4,3	14,52	8,9	1,292
17	9,2	4,2	13,85	9,1	1,260
18	9,1	4,3	14,52	8,6	1,249
19	9,2	4,2	13,85	9,1	1,260
20	9,4	4,2	13,85	9,4	1,302
21	9,2	4,2	13,85	9,1	1,260
22	9,7	4,3	14,52	9,2	1,336
23	9,7	4,2	13,85	9,6	1,330
24	9,9	4,3	14,52	9,4	1,365

3 - Arreglo Experimental.-

Para medir la actividad proveniente de la desintegración del In^{116} se construyó un castillete de base cuadrada de 0,36 m x 0,36 m y 0,65 m de altura con ladrillos de plomo de 12 cm x 7 cm y 5 cm de espesor.

Centrado en su interior se ubicó un detector de centelleo HARSHAW con cristal de ioduro de sodio activado con talio de 2,1/2" x 2,1/2". La alta tensión del centellador se proveyó de una fuente de la División Neutrones y Reactores adaptable a los bastidores convencionales. La tensión de funcionamiento fue habitualmente de 1100 volts.

El pulso proveniente del pre-amplificador, que físicamente está unido al detector, fue dirigido a un amplificador lineal, entrando la salida de éste a un discriminador.

La salida del discriminador se dirigió a un escalímetro CNEA. En la figura⁽¹⁾ se puede observar un esquema del arreglo experimental.

4 - Desintegración del In^{116} y calibración.-

El isótopo predominante en el indio metálico es el In^{115} que al absorber neutrones forma In^{116} con 2,16 como período de desintegración, y que se desexcita por emisión γ formando los niveles metaestables de 54,42 min⁽²⁾ (nivel m_1) y 14,10 seg. (nivel m_2). Por su mayor período nos interesa la ramificación proveniente de la desintegración de 54,42 min. que por emisión β negativa para niveles excitados del Sn^{116} , habiendo en la desexcitación γ los siguientes niveles de energía (en MeV): 2,12; 1,76; 1,51; 1,29; 1,10; 0,83; 0,41; 0,14.

En la fig. 2 se puede observar el esquema de desintegración del In^{116} dado por Beckurtz y Wirtz⁽¹⁾.

Se efectuó siempre la calibración y la selección de umbral con el Cs^{137} , tomándose el pico γ de 0.661 MeV como nivel de referencia. Se tomó siempre el nivel de discriminación coincidente con ese pico a los efectos de que correspondiera en un valle Compton del efecto proveniente de la desintegración del In^{116} y para minimizar así el efecto de eventuales fluctuaciones en las distintas etapas del dispositivo experimental como hubiera podido ser si el nivel de discriminación coincidía con uno de los picos γ del In^{116} .

En la medición de la actividad de cada hojuela se tomó siempre el flujo integral, es decir todos los rayos γ de energía superior al nivel de discriminación. Este último generalmente se fijó en 30.0.

5 - El Método de la Diferencia de Cadmio.

Con el fin de obtener los flujos térmico y epitérmico se usó el método de la diferencia de cadmio que consiste en irradiar las hojuelas de indio dos veces para un mismo experimento. Una vez cubierta de cadmio puro la alta sección eficaz de absorción del cadmio (fig. 3) para bajas energías permite considerar a la hojuela cubierta como prácticamente impermeable a los neutrones térmicos siempre que la cubierta de cadmio sea del orden de 0,5 mm de espesor y se irradian las mismas hojuelas una segunda vez descubiertas para medir la activación total, es decir la térmica y la epitérmica.

Como tasa monitorea se usó siempre la carga de electrones del LINAC.

En cada par de irradiaciones se debió mantener la constancia de los siguientes factores:

- 1 - Igualdad en ambas mediciones de la alta tensión del fototubo y del nivel de discriminación.
- 2 - Igualdad del tiempo transcurrido entre el cese de la irradiación y el comienzo de la medición de la actividad de la hojuela en las dos irradiaciones.

El flujo epitérmico se puede obtener en forma proporcional a la activación multiplicando la actividad bajo cadmio por el factor de corrección de cadmio F_{CD} que corresponde a la activación de la hojuela entre la energía de corte del cadmio y la energía de corte epitérmico.:

$$C_{epi} = F_{CD} \times C^{CP}$$

C_{epi} : activación epitérmica.

La activación térmica está dada por:

$$C_{th} = C - F_{CD} \times F_M \times C^{CD}$$

C_{th} : activación térmica

C : activación total

F_M : factor de monitoraje.

Si bien las expresiones anteriores son válidas para las activaciones, en rigor lo que se mide son actividades. Unas se toman proporcionales a las otras.

El factor F_M está dado por el cociente entre la carga correspondiente a la activación total, Q_{tot} y la carga que corresponda a la activación bajo cadmio, Q_{CD}

$$F_M = \frac{Q_{tot}}{Q_{CD}}$$

En casi la mayoría de las mediciones este factor fue 1/2.

El factor de corrección de cadmio tomado de Beckurts y Wirtz⁽¹⁾ para nuestro espesor de cadmio de 0,5 mm y para las hojuelas de indio de 0,093 mm es

$$F_{CD} = 1,275$$

6 - Activación de hojuelas en agua. Resultados.

Se procura medir un espectro de neutrones de baja energía en agua pura que permita su comparación en el calculado en teoría de difusión⁽³⁾.

Young et al.⁽⁴⁾ han medido el espectro de neutrones de baja energía en un medio quasi-infinito de agua natural pura por el método de tiempo de vuelo encontrando discrepancia con el calculado por ellos de hasta el 40%. Este desacuerdo se atribuye principalmente al cálculo de la corrección por fuga en aproximación de difusión con el coeficiente $\left[\frac{D(E) B^2}{\epsilon} \right]$ donde

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{a + 2 \epsilon} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{b + 2 \epsilon} \right)^2 \gamma^2$$

$D(E)$: coeficiente de difusión

a, b : lados de la base del paralelepípedo adyacente a la fuente de neutrones

ϵ : punto final de extrapolación

γ : longitud de relajación del modo espacial fundamental del flujo en la dirección axial.

El dispositivo experimental utilizado en dicho trabajo fue de 25,4 cm x 25,4 cm x 25,4 cm recubierto con cadmio. El mismo fue pulsado con neutrones por medio de un acelerador de electrones y blanco de centrado frente a una placa de plomo que cubría una de las caras del tubo. Para esta geometría la relación que determina la condición de medio quasi infinito

$$\left[\left(\frac{D(E) B^2}{\epsilon a} \right) \ll 1 \right] \text{ vale } 0.3$$

$(\epsilon a(E))$: sección eficaz manocráfica de absorción.

En mediciones con el mismo dispositivo pero en soluciones envenenadas con boro (entre 1.035 y 6.35 barn/átomo de B) donde $\left(\frac{D(E) B^2}{\epsilon a} \right)$ vale respectivamente

entre 0.1 y 0.02 el acuerdo entre los espectros medido y calculado es satisfactorio (discrepancias menores que 10%).

Para disminuir las discrepancias mencionadas para el caso de agua pura Young et al.⁽⁴⁾ sugieren:

- 1) Utilizar un buen código de transporte.
- 2) Disminuir el término de fuga.

El presente trabajo procura implementar el punto 2). Para ello se trató de lograr en agua pura $\left(\frac{D B^2}{\epsilon a} \right) < 0.1$ y una región donde el laplaciano local sea independiente de la energía, condiciones ambas necesarias para justificar, en esa región, la aplicación de la teoría de difusión.

Tras descartar varios esquemas por no conducir a los resultados deseados, se encaró con éxito completar un dispositivo similar al descrito con un bloque de plomo adyacente a la cara del paralelepípedo más alejada de la fuente de neutrones (fig. 4) para que por reacciones (γ, a) actuara como una segunda fuente, compensando parcialmente la fuga. La arista axial del paralelepípedo (entre ambas fuentes) se varió hasta obtener el cumplimiento de las dos condiciones mencionadas.

El paralelepípedo utilizado fue de 30 cm x 30 cm de base. Para la medición de B^2 y su dependencia con la energía y posición se midió la distribución espacial del flujo térmico y epitérmico por activación de hojuelas de indio, desnudas y cubiertas con cadmio.

La fig. 5 muestra las distribuciones térmica y epitérmica en el sentido axial, normalizadas arbitrariamente, para una arista axial de 20 cm. Se puede apreciar que ambos flujos tienen la misma dependencia espacial donde $z = 9,4$ cm hasta $z = 14,2$ cm con un $\gamma = 0.114 \text{ cm}^{-1} \left[\left(\frac{D B^2}{\epsilon a} \right) = 0.06 \right]$

Más allá los neutrones producidos por la segunda fuente producen un incremento del flujo epitérmico. Separadamente se verificó que la distribución de ambos flujos en los sentidos transversal y vertical es cosenoidal.

Esta geometría se consideró ya que el agujero reentrante previsto para la medición del espectro es de 3,24 cm.

La Tabla II muestra el efecto de la reducción de la arista axial sobre γ y B^2 como consecuencia de la mayor contribución de la fuente complementaria.

T A B L A II

Valores de la constante de relajación y del Laplaciano para distintas longitudes de la arista axial z_0

z_0 (cm)	γ (cm^{-1})	B^2 (cm^{-2})
40	0.279 ± 0.016	0.0567 ± 0.0088
30	0.259 ± 0.004	0.0470 ± 0.0032
25	0.236 ± 0.009	0.0345 ± 0.0042
22,5	0.154 ± 0.006	0.0250 ± 0.0030
20	0.114 ± 0.003	0.0080 ± 0.0007

Se hicieron nuevas mediciones de activación con el tubo reentrante coincidiendo en la que se refiere.

Actualmente se está haciendo mediciones para determinar el backling en el sentido transversal y vertical y así poder verificar el punto final de extrapolación.

7 - Activación de hojuelas en benceno. Resultados.-

Se trata de medir también el espectro de neutrones térmicos en benceno. Para ello se determinó una geometría en la que como en el experimento del agua pura se cumplen que el cociente entre fuga y absorción fuera menor que 0.1.

Se usó en este experimento también el arreglo experimental con un bloque de flujo más alejado para que actuara como una segunda fuente por reacciones (γ , a) y compensara parcialmente la fuga.

Las dimensiones del tanque fueron de 30 cm x 30 cm x 30 cm habiéndose utilizado para este experimento un soporte de aluminio con capacidad para 24 hojuelas separadas entre sí 1,2 cm.

La fig. 6 muestra el resultado experimental de la activación de hojuelas en benceno, pudiendo observarse la distribución térmica y epitérmica de la activación. Para ello se usó el método de la diferencia de cadmio.

La constante de relajación para el flujo térmico fue $\gamma = 0.121 \text{ cm}^{-1}$ y para el flujo epitérmico $\gamma = 0.133$.

La zona de equilibrio entre ambos flujos se halló entre $z = 13 \text{ cm}$ y $z = 17.8 \text{ cm}$. El tubo reentrante tuvo el mismo diámetro que el de agua pura, es decir $d = 3,24 \text{ cm}$.

Los valores del coeficiente de difusión y de la sección eficaz macroscópica de absorción fueron tomados del Trabajo especial de J. Lolich⁽⁵⁾.

8 - Programa en preparación.-

Están en fase de prueba los programas NYRLG1 y NYRLG2. El NYRLG1 ajusta por cuadrados mínimos una exponencial y se usará para ajustar la distribución de la activación en la dirección axial del tanque.

El NYRLG2 ajusta una función coseno por cuadrados mínimos. Se empleará para la distribución transversal y vertical del flujo.

9 - Conclusiones.-

Los experimentos realizados hasta el momento han permitido determinar las geometrías óptimas para la ulterior medición de los espectros en agua pura y en benceno.

No obstante últimamente se han medido las distribuciones transversal y vertical en agua en la proximidad del tubo reentrante con el objeto de determinar y el punto final de extrapolación y el backling en esas direcciones. La puesta en marcha del programa „YRLG2 permitirá procesar los datos experimentales recogidos para obtener esos valores.

Como se mencionó al comienzo la obtención de hojuelas de oro permitirá realizar mediciones absolutas de flujo.

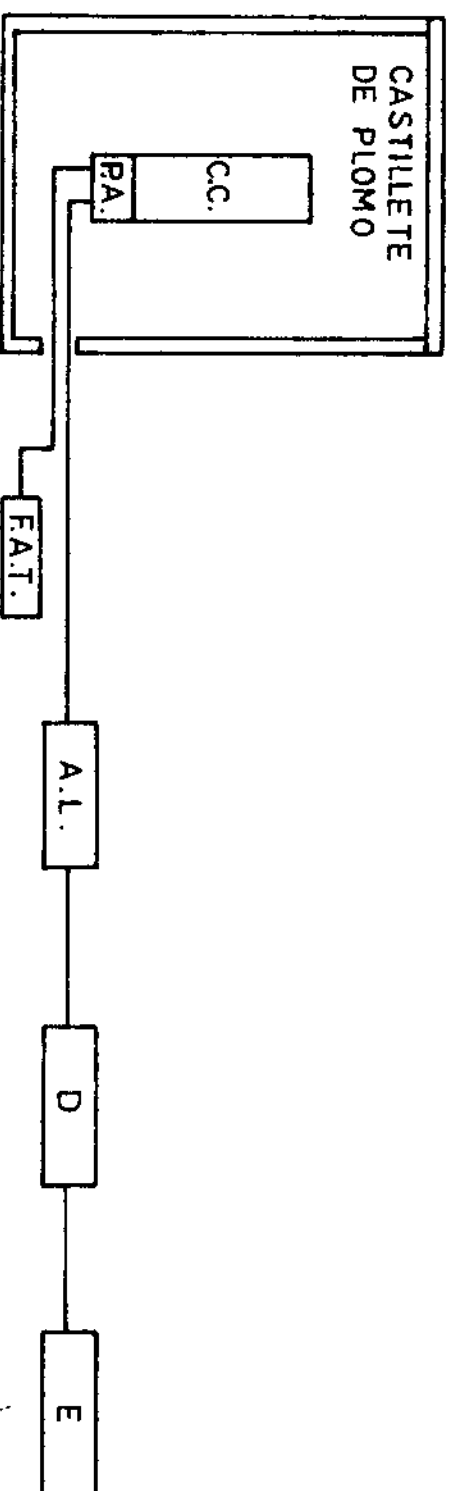
Otros datos complementarios que podrían obtenerse a partir de la irradiación de hojuelas son la longitud de difusión y la edad. Para esta última sería menester irradiar el tanque de agua o benceno sin la fuente más alejada.

A g r a d e c i m i e n t o s

Agradezco la colaboración prestada por el Dr. C. Castro Madero en la discusión de los resultados y del Lic. J.J. Olcese y los Ings. P. Tadini y T. Padin sin cuya valiosa "carga" hubieran sido imposibles estos trabajos.

REFERENCIAS

- (1) Beckurtz and Wirtz - "Neutron Physics".
- (2) J. Neill 'Tables. Citado en el trabajo Measurements of the neutron angular flux spectrum in graphite. D.A. Protio et al. G.A. 7470.
- (3) L.F. Gattó, C. Castro Madero, J. Neill - Determinación de una geometría para medir un espectro de neutrones en agua calculable por difusión (Abril 1971).
- (4) Y.C. Young et al. - "Neutron Thermalization in Light Water" - Nucl. Sci. & Eng. 28, 259-269 (1967).
- (5) J. Lolich y C. Castro Madero - "Medición de fosímetro de difusión del benceno" (Reunión LVI de la A.F.A.).



C.C. : CONTADOR DE CENTELLEO
 P.A. : PRE-AMPLIFICADOR
 F.A.T. : FUENTE DE ALTA TENSION.
 A.L. : AMPLIFICADOR LINEAL
 D : DISCRIMINADOR
 E : ESCALIMETRO

FIG. 1 - ARREGLO EXPERIMENTAL PARA LA MEDICION
 DE LAS ACTIVIDADES DE LAS HOJUELAS

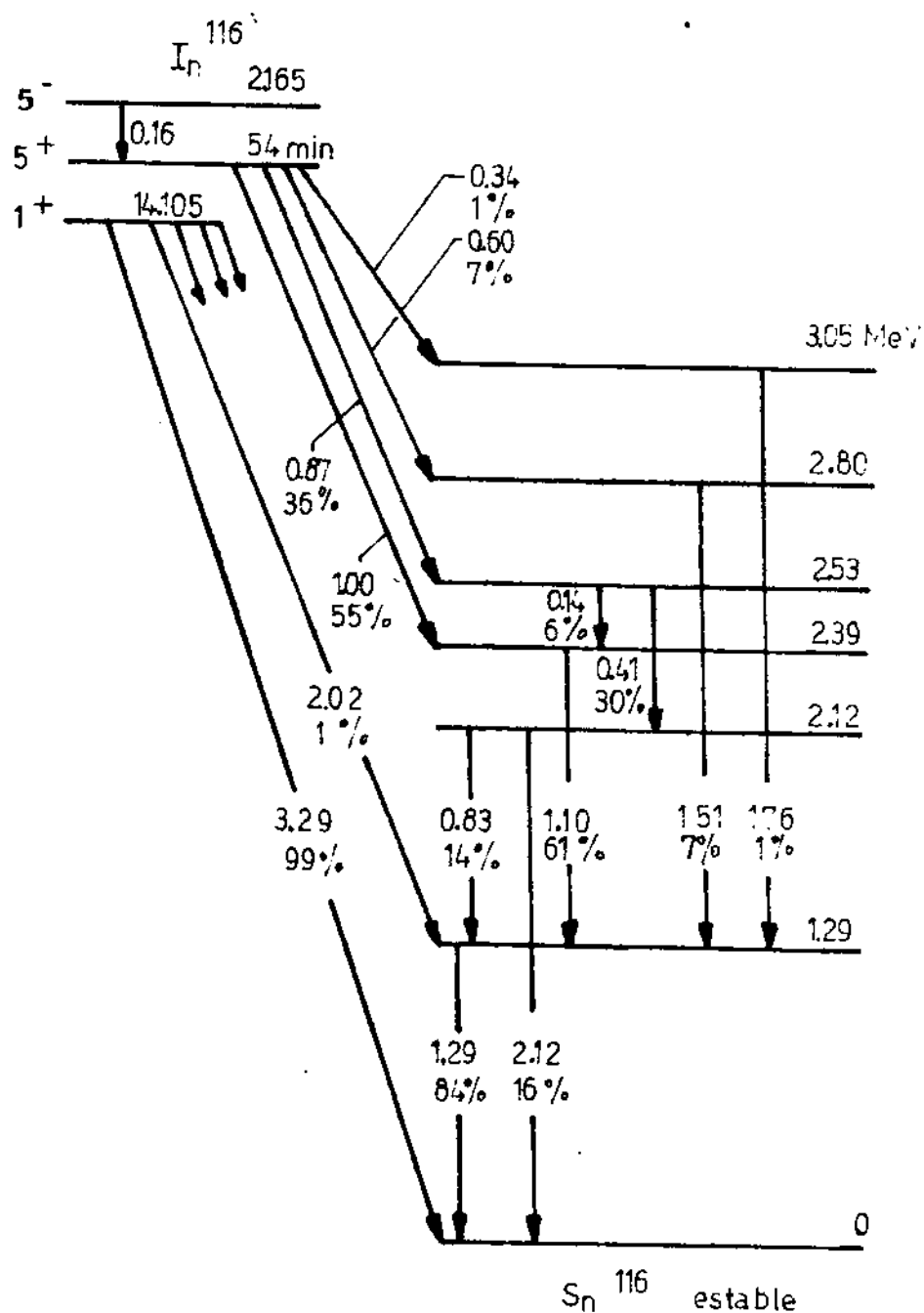


FIG. 2 - ESQUEMA DE DESINTEGRACION DEL I_n^{116} , I_n^{116m1} e I_n^{116m2} (Beckurts y Wirtz, Neutron Physics).

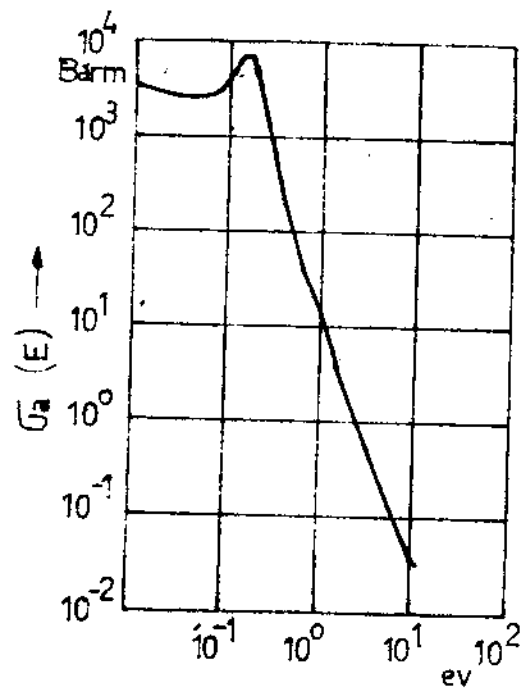


FIG. 3 - SECCION EFICAZ DE ABSORCION DEL CADMIO
COMO FUNCION DE LA ENERGIA (BECKURTS Y
WIRTZ - NEUTRON PHYSICS) ..

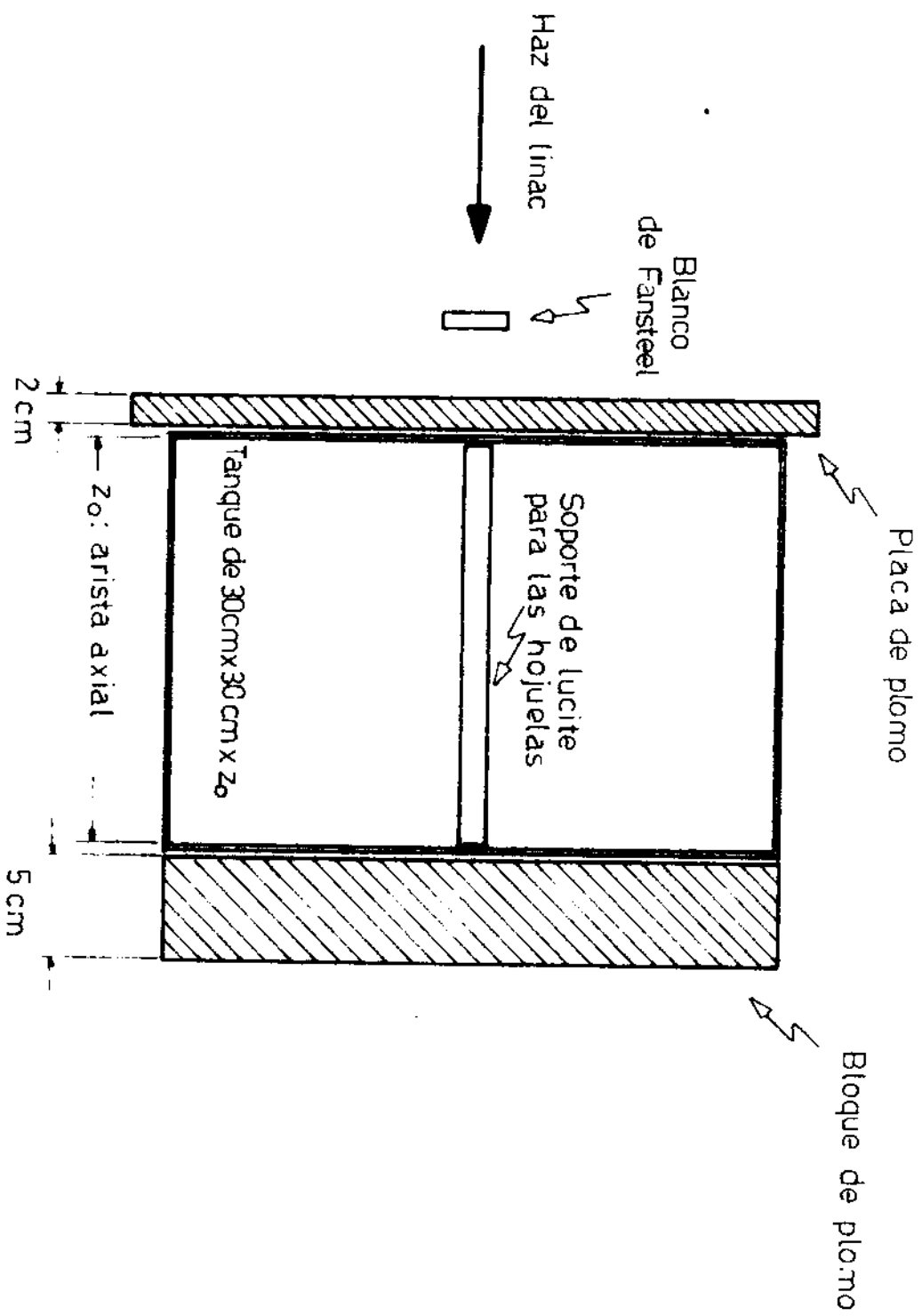


Fig. 4 Dispositivo experimental

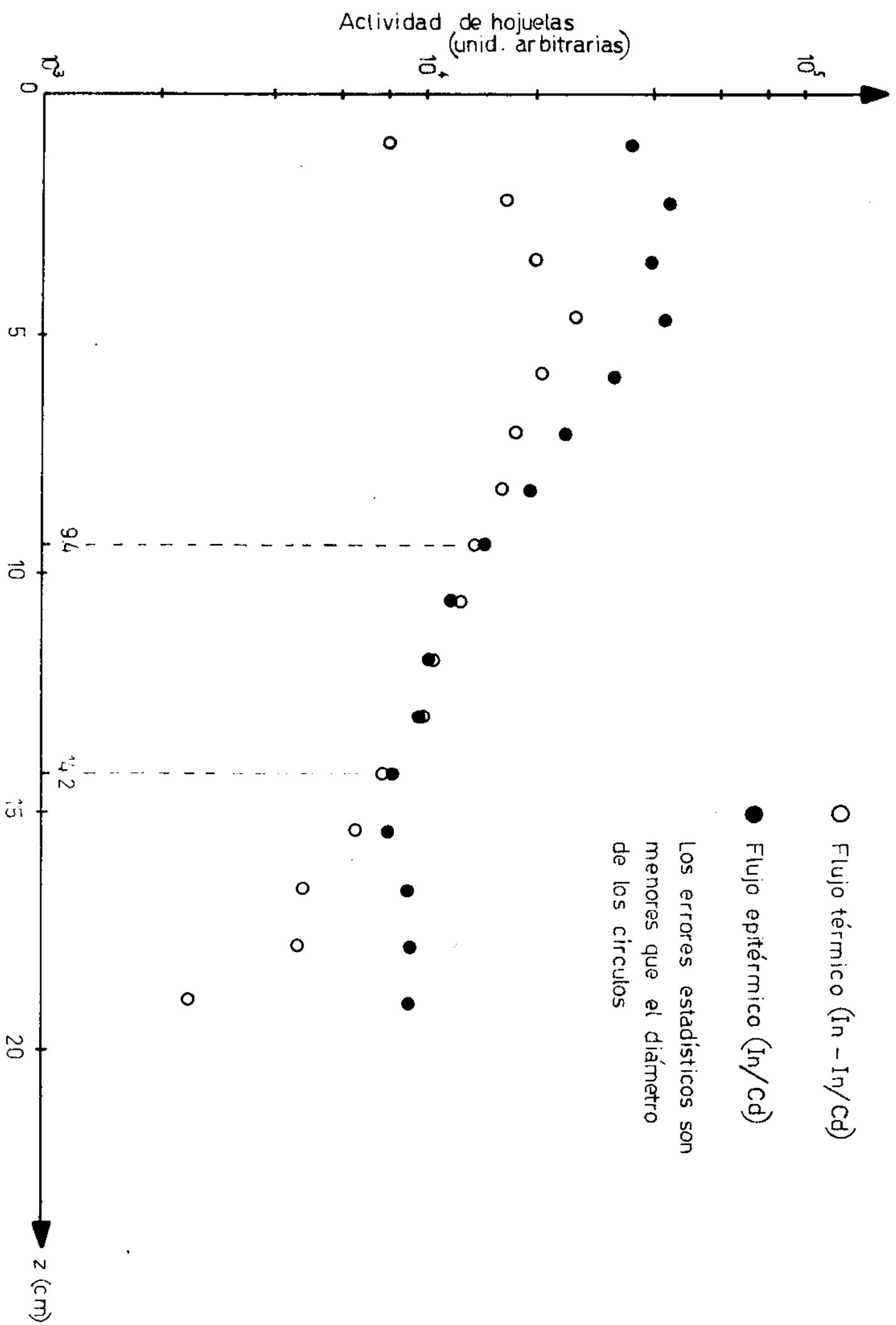


Fig. 5 - Activación de hojuelas en el tanque de agua pura
de 30cm x 30cm x 20cm

ACTIVACION DE HCS E AS (un. a. arbitrarias)

○ 1000 TERMUS (In-T, 100)

● 1000 EPITERMUS (In-T, 100)

Los errores estadísticos son menores que el diámetro de los círculos

