

DISTRIBUCION ANGULAR DE NEUTRONES RAPIDOS
DISPERSADOS POR MAGNESIO*

Pablo Okhuysen, Jr., y Walter E. Millett

The University of Texas.

(Recibido: Enero 8, 1955).

RESUMEN

This is a report on a measurement of the differential cross section (elastic plus inelastic) of natural Magnesium for fast neutrons (estimated to have a mean energy of 2.77 ± 0.05 Mev) using the ring scatterer method. The neutrons were obtained from the $D(d,n) He^3$ reaction using the 100,000 volt modified Cockcroft-Walton accelerator at the Nuclear Physics Laboratory of the University of Texas.

1. INTRODUCCION.

En recientes y extensas mediciones de la sección diferencial de dispersión elástica de 28 elementos intermedios y pesados, para neutrones de 1 Mev., Walt y Barschall¹ han encontrado que los resultados más importantes de estos experimentos son los siguien-

* Este es un resumen de una tesis presentada por Pablo Okhuysen, Jr., a la Escuela de Graduados de la Universidad de Texas para obtener el grado de "Master of Arts in Physics". Este trabajo fué subvencionado por la United States Air Force, a través de la "Office of Scientific Research of the Air Research and Development Command".

tes: (a) las distribuciones angulares de neutrones dispersados por elementos vecinos tienen curvas similares, en tanto que las de elementos con diferencia apreciable en el peso atómico muestran una marcada diversidad; (b) que para todos los elementos medidos fueron encontrados puntos máximos a 0° , y que aquellos elementos con peso atómico menor de 140 exhibieron máximos adicionales en la dispersión de 0 a 180° . Puntos máximos alrededor de 110° fueron observados en elementos con peso atómico aproximado de 200.

En el presente experimento la distribución angular de los neutrones dispersados por un elemento ligero, Magnesio, fué medida, y se compararon los resultados con los obtenidos por Leonard⁵ en este laboratorio, usando Aluminio. La cantidad medida directamente es la sección diferencial de dispersión (elástica mas inelástica) para un ángulo dado por unidad de ángulo sólido.

Feshbach, Porter y Weisskopf⁹ han propuesto una teoría sobre un modelo nuclear en la cual la distribución angular de los neutrones dispersados elásticamente varía gradualmente de un elemento a su vecino. Los resultados de Walt y Barschall¹ proporcionan evidencia experimental en apoyo de esta teoría. Los resultados de nuestro experimento, así como los del experimento de Leonard⁵, están también de acuerdo con esta predicción de la teoría.

II. EQUIPO EXPERIMENTAL.

La figura 1 es una vista superior del dispositivo experimental. Los neutrones fueron obtenidos de la reacción $D(d,n)He^3$, usando el generador Cockcroft-Walton modificado de la Universidad de Texas. Los deuterones fueron acelerados a través de un potencial de 100,000 voltios, bombardeando un blanco de deuterio sobre una placa delgada de cobre. Un haz de 250 microamperes colimado y analizado magnéticamente fué obtenido de una fuente de radio-frecuencia del tipo ORNL descrita por Moak et al².

Los detectores de neutrones usados en este experimento son una modificación de los desarrollados por Emmerich³. El material fosforescente de este tipo de detector consiste en una mezcla de parafina y sulfuro de zinc (RCA 33Z20A activado con plata) en la proporción 3:2, montada sobre una base plástica de "Lucita" en la forma indicada en la figura 2. Este tipo de detector fué escogido debido a su sensibilidad

casi nula a los rayos gama excitados en Magnesio por los neutrones de 2.77 Mev. La base plástica de "Lucita" fué cementada sobre la parte superior de un tubo fotomultiplicador RCA 5819 con un fluido Silicone DC-200. El volumen sensitivo fué cubierto con una tapa repujada de aluminio; el tubo fué envuelto en una hoja delgada de aluminio y la tapa y el tubo fueron encintados con cinta Scotch adhesiva negra. Una protección magnética de Mu-Metal fué puesta alrededor del tubo. La tapa y la hoja de aluminio se mantuvieron al mismo potencial que el fotocátodo, para evitar la aparición de gradientes de voltaje a través de la delgada pared del fotomultiplicador. Se cree que gradientes de voltaje de esta naturaleza contribuyen al deterioro del fotocátodo.

La base del fotomultiplicador se montó en un "chassis" de aluminio, el cual contiene el divisor de voltaje y el circuito preamplificador. Este fué tomado de un artículo de Jordan⁴. El amplificador usado fué el modelo 204B, fabricado por Atomic Instrument Co. Los circuitos contadores (scalers) también fueron de esta manufactura, modelo 101-M.

El alto voltaje para los fotomultiplicadores se obtuvo de una fuente de poder regulada negativa de -550 a -1100 voltios tipo ORNL 1-1144-1 diseñada en el Oak Ridge National Laboratory.

Los pulsos a la salida de los contadores (scalers) fueron alimentados a un "Berkeley Multichannel Counter" de cinco canales.

Un circuito cronométrico fué usado para sincronizar los tres contadores con un reloj eléctrico.

Los discriminadores de los amplificadores fueron ajustados de tal manera que dieran paso a una fracción representativa de los pulsos generados por los neutrones que bombardean cada detector, y que el fondo fuese eliminado.

III. PROCEDIMIENTO.

Los datos fueron obtenidos de la siguiente manera: lecturas correspondientes del detector, monitor 1 y monitor 2, fueron obtenidas para una posición dada del detector. Se hicieron tres mediciones con el atenuador y el anillo dispersor en posición. En seguida, otras tres mediciones con el atenuador en posición, pero sin el anillo dispersor. Finalmente, otras tres mediciones fueron hechas sin el atenuador y sin el anillo disper

sor. Este procedimiento se repitió cerca de cinco veces para cada posición del detector. Se optó por este procedimiento debido a que la eficiencia del detector relativa a las de los monitores cambia lentamente durante un período largo de bombardeo. Por medio de la medición inmediata sin atenuador después de la medición con el dispersor en posición y de la medición sin el dispersor, fué obtenida una determinación más precisa del flujo de neutrones bombardeando el anillo dispersor para cada juego independiente de datos. Todas las lecturas (counting rates) del detector fueron normalizadas al mismo flujo de neutrones, dividiendo la lectura en cada caso, entre la lectura de cada monitor. Por lo tanto, para cada medición fueron obtenidas dos lecturas normalizadas, y dos respuestas para cada juego independiente de datos. La diferencia entre las lecturas normalizadas con el dispersor en posición y sin el dispersor, constituye el flujo dispersado, normalizado a un flujo unitario incidente de neutrones. Entonces, el número que representa el flujo dispersado normalizado fué dividido por la lectura normalizada y corregida del flujo total que penetra al detector cuando el atenuador se encuentra ausente. Esta última velocidad fué previamente corregida para obtener el flujo incidente sobre un detector virtual que estuviese colocado en la posición del anillo dispersor. Finalmente, el número obtenido en el penúltimo párrafo fué multiplicado por el cuadrado de la distancia entre el centro sensible del detector, y el centro de dispersión del anillo dispersor. En páginas siguientes se demuestra que este producto multiplicado por un factor de corrección, debido a la direccionalidad del detector, da un número proporcional a la sección diferencial.

El tamaño y la posición del atenuador fueron tales que los neutrones provenientes del blanco no pasaron a través de ninguna porción del atenuador para llegar al anillo dispersor. Se optó por usar un atenuador tan grande como fuese posible, ya que el error entre lecturas normalizadas consecutivas era del orden de dos por ciento como promedio, y que el número de neutrones dispersados hacia el detector, desde el anillo dispersor, era aproximadamente el cuatro por ciento del número total registrado por el detector en ausencia del atenuador, por lo que el error en el número de neutrones dispersados hacia el detector disminuía cuando se atenuaba el haz directo proveniente del blanco. Tres atenuadores fueron usados, con transmisiones

de 4, 6 y 12 por ciento.

El efecto de la forma geométrica del anillo dispersor en los resultados experimentales, fué investigado por Leonard⁵, quien encontró que los errores introducidos al usar una sección cuadrada en vez de una sección trapezoidal en el anillo dispersor, son pequeños comparados con el error experimental.

Leonard⁵ y Rhein⁶ llevaron a cabo experimentos con varios espesores del dispersor, variando desde un poco más de un camino medio libre hasta menos de la mitad de un camino medio libre, y estos experimentos indicaron que los efectos de múltiple dispersión pueden ser despreciados hasta el punto en que el dispersor tiene un espesor - de un camino medio libre. Además, no se observó efecto apreciable debido al esparcimiento de los ángulos de dispersión desde diferentes puntos del anillo dispersor.

Considérese una geometría idealizada tal que:

N_i sea el número de neutrones incidente al anillo dispersor;

N_s sea el número de neutrones dispersado hacia el detector cuando N_i neutrones inciden sobre el anillo dispersor;

a sea el espesor del anillo dispersor;

σ_t sea la sección total del material dispersor;

n sea el número de centros dispersores por centímetro cúbico en el anillo dispersor;

Δw sea el ángulo sólido subtendido por el detector desde el anillo dispersor;

$\frac{d\sigma}{dw}$ sea la sección diferencial (elástica mas inelástica) de dispersión.

$$N_s = \int_0^a n N_i \exp(-n \sigma_t x) \frac{d\sigma}{dw} \Delta w dx \quad .$$

$$N_s = n N_i \frac{d\sigma}{dw} \Delta w \int_0^a \exp(-n \sigma_t x) dx \quad ,$$

donde $\frac{d\sigma}{dw}$ se considera como el valor medio sobre el intervalo de ángulos de dispersión.

Integrando,

$$N_s = \frac{N_i \frac{d\sigma}{dw} \Delta w}{\sigma_t} [1 - \exp(-n \sigma_t a)] \quad .$$

$$\frac{d\sigma}{dw} = \frac{N_s \sigma_t}{N_i \Delta w [1 - \exp(-n \sigma_t a)]}$$

Denotando por:

- C_s la velocidad de conteo normalizada con el atenuador y el anillo dispersor en posición, menos la velocidad de conteo normalizada sin el anillo dispersor;
- c_i la velocidad de conteo normalizada del detector sin atenuador ni anillo dispersor;
- d la distancia en centímetros desde el blanco hasta el centro del detector;
- g la distancia en centímetros desde el blanco hasta el centro de la sección del anillo dispersor;
- $C_i = \frac{d^2}{g^2} c_i$, la velocidad de conteo normalizada de un detector virtual colocado en el centro de la sección del anillo dispersor;
- R la distancia desde el centro de la sección del anillo dispersor hasta el centro del detector;
- A_D el área efectiva del detector;
- A_s el área efectiva del anillo dispersor ofrecida a los neutrones incidentes, se obtiene:

$$\Delta w = \frac{A_D}{R^2}, \quad C_s = B N_s, \quad C_i = B A_D N_i / A_s,$$

donde B es una constante que relaciona las velocidades de conteo normalizadas, al número de neutrones por unidad de flujo que penetra el detector. La última relación es la representación matemática de que para un flujo dado, el número de neutrones por unidad de ángulo sólido es una constante en la posición del anillo dispersor. Por lo tanto, en función de los datos:

$$\frac{d\sigma}{dw} = \frac{q \sigma_t C_s R^2 g^2}{d^2 c_i A_s [1 - \exp(-n \sigma_t a)]}$$

donde q es un factor de corrección debido a la direccionalidad del detector.

IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

La curva de la figura 3 representa la sección diferencial del Magnesio para neutrones rápidos (2.77 ± 0.05 Mev. de energía media). Se indica también el error probable de cada punto.

En 1943, Little et al.⁷ investigaron la dispersión de neutrones por Magnesio. Este grupo estudió los niveles de energía excitados en Magnesio y la distribución energética relativa de los neutrones dispersados por Magnesio cuando éste era bombardeado por neutrones de la reacción $D(d,n) He^3$. Las energías de los neutrones dispersados fueron medidas observando los protones de rebote en una cámara de Wilson llena de etano como gas, y una mezcla de etanol y agua como vapor. La razón de la dispersión elástica a la inelástica se encontró ser 2.7, la sección a la dispersión elástica $1.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ y la sección a la dispersión inelástica $0.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$. Sumando estos valores se obtiene $2.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$, valor correspondiente a la sección de dispersión, el cual, sustraído del valor dado por Hehs⁸ para σ_t , $2.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$, resulta en $0.4 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ para la suma de las secciones a las reacciones de captura.

Dado que la abundancia relativa de los isótopos del Magnesio es de¹⁰:

Mg^{24}	79.0 %
Mg^{25}	10.0%
Mg^{26}	11.0 %

y sus respectivos niveles de energía son:

Mg^{24}	Mg^{25}	Mg^{26}
1.38	0.6	0.44
4.14	0.8	1.91
5.51	1.0	2.85
	1.58	4.0
	2.54	5.0

se encuentran, un nivel en Mg^{24} , cinco en Mg^{25} y dos en Mg^{26} , que pueden ser excitados por los neutrones de 2.77 Mev. de este experimento. Sin embargo, debido a la gran

abundancia de Mg^{24} y a la amplitud y distribución de niveles en los tres isótopos, Little et al⁷. encontraron que los neutrones dispersados inelásticamente tienen una energía media de 1.4 Mev. Ahora, puesto que la eficiencia del detector disminuye con una disminución de la energía de los neutrones incidentes, la fracción de neutrones dispersados inelásticamente que fué contada, fué proporcionalmente menor que la fracción contada de neutrones dispersados elásticamente. Esto ocasionó que el valor de la sección diferencial obtenido apareciese menor, pero debido a la carencia de neutrones de diferentes energías no fué posible corregir los resultados obtenidos. Además, la carencia de información respecto al comportamiento de la sección diferencial a ángulos mayores de 127.5° y menores de 30° , hubiesen convertido la extrapolación y subsecuente integración de la curva en un proceso impreciso.

Puesto que la distribución angular de neutrones dispersados inelásticamente es generalmente considerada como isotrópica, y en vista de los resultados experimentales de Walt y Barschall¹ y de los teóricos de Feshbach, Porter y Weisskopf⁹ para las distribuciones angulares de neutrones dispersados elásticamente, es de esperarse que las distribuciones angulares de Magnesio y Aluminio, sean similares. Que así sucede puede apreciarse en la comparación de los resultados en Aluminio (obtenidos por Leonard⁶ en este laboratorio, usando un método ligeramente diferente) con los de Magnesio en la figura 4.

Los autores desean expresar su agradecimiento a los Drs. R.N. Little, M. Y. Colby y J.E. Wills por sus valiosas sugerencias, y a los Sres. G.H. Olewin, Elbert Bennett y Charles Hatcher, así como a los demás miembros del Grupo Cockcroft-Walton, y del taller de Física, por su cooperación en la realización del proyecto.

REFERENCIAS

1. Walt, M. y Barschall, H.H., Phys.Rev. 93, 1062 (1954).
2. Moak, C.D., Resse, H., Jr. y Good, W.M., Nucleonics 9, 3, 18 (September, 1951).
3. Emmerich, W.S., Rev Sci.Instr. 25, 69 (1954).
4. Jordon, W.H., ORNL Document Mon-P323, Series C, Oak Ridge, Tennessee (1950).

5. Leonard, B.P., *The Differential Angular Scattering of Neutrons from Aluminum and Copper*, Ph.D. Dissertation (no publicada), The University of Texas, Austin (1953).
6. Rhein, W., Comunicación privada.
7. Little, R.N., Jr., Long, R.W., Mandeville, C.E., *Phys. Rev.* **69**, 414 (1946).
8. Hehs, W.A., *Total Cross Section of Chromium, Fluorine, Magnesium, Silicon, and Zinc for fast neutrons*, M.A. Thesis (no publicada) The University of Texas (1953).
9. Feshbach, Porter y Weisskopf, *Phys. Rev.* **96**, 448 (1954).
10. *Nuclear Data*, U.S. Bureau of Standards Circular 449, (1950), Washington, D.C.

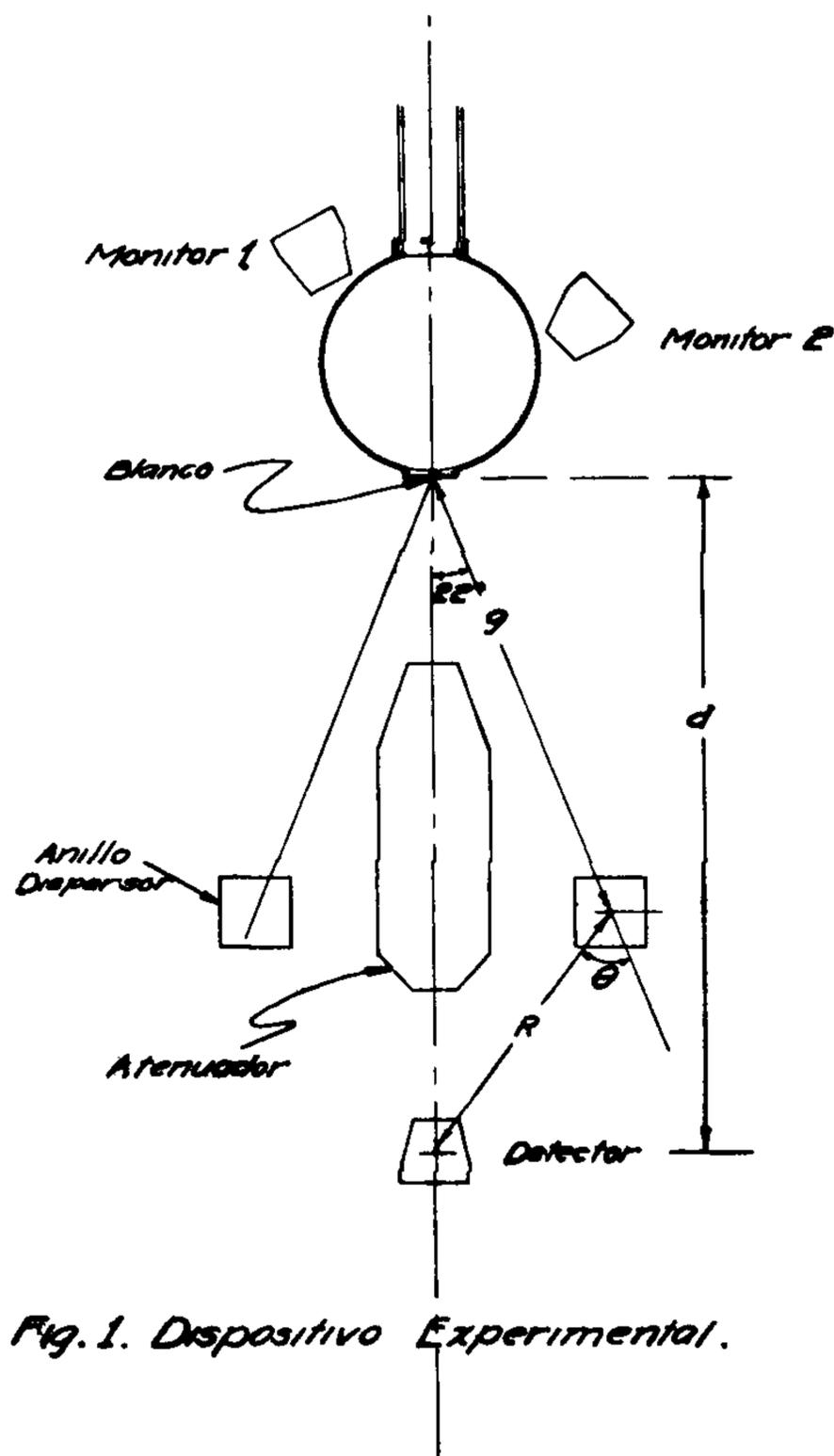


Fig. 1. Dispositivo Experimental.

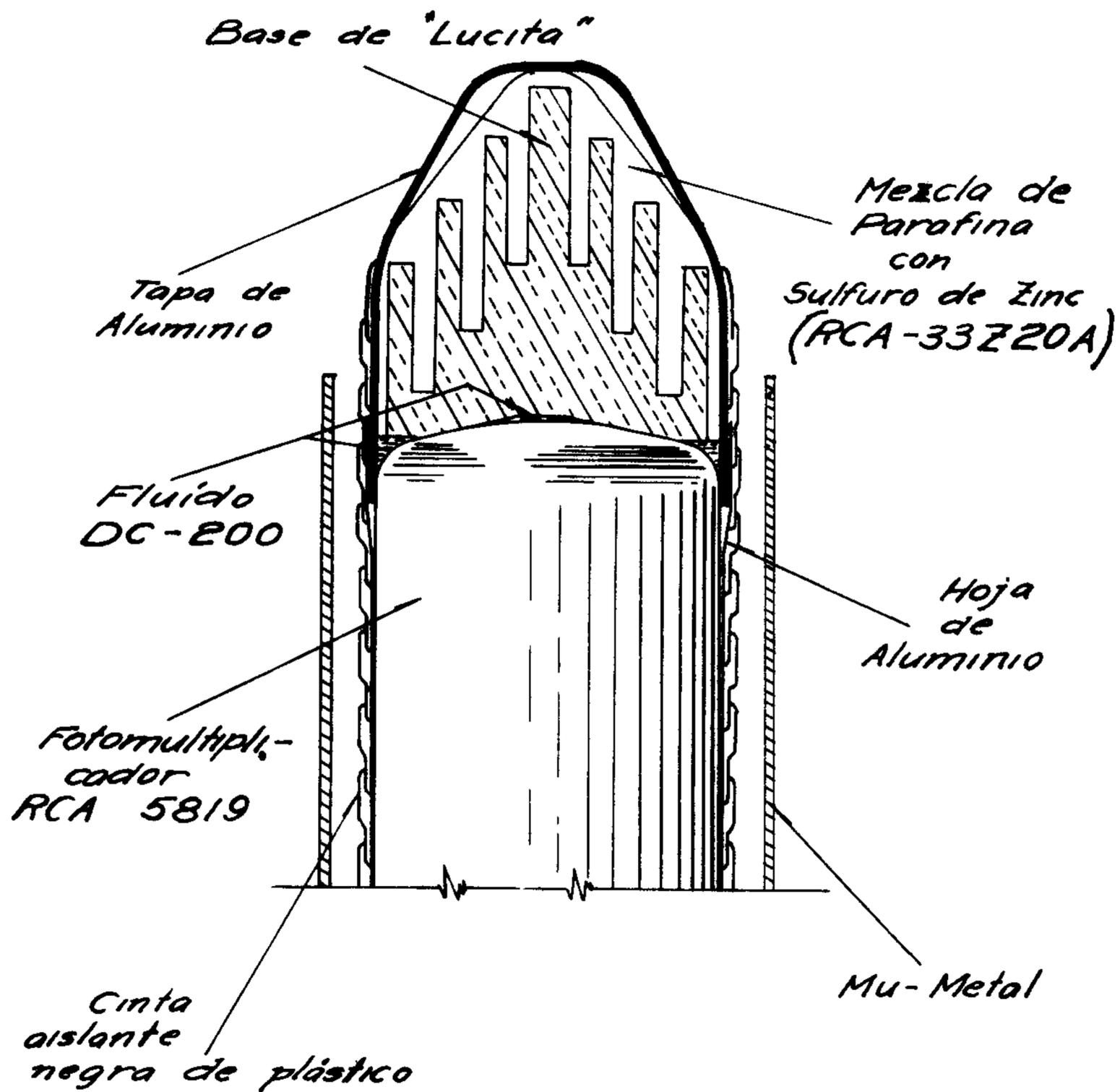


Fig. 2. Detector de Centelleo.

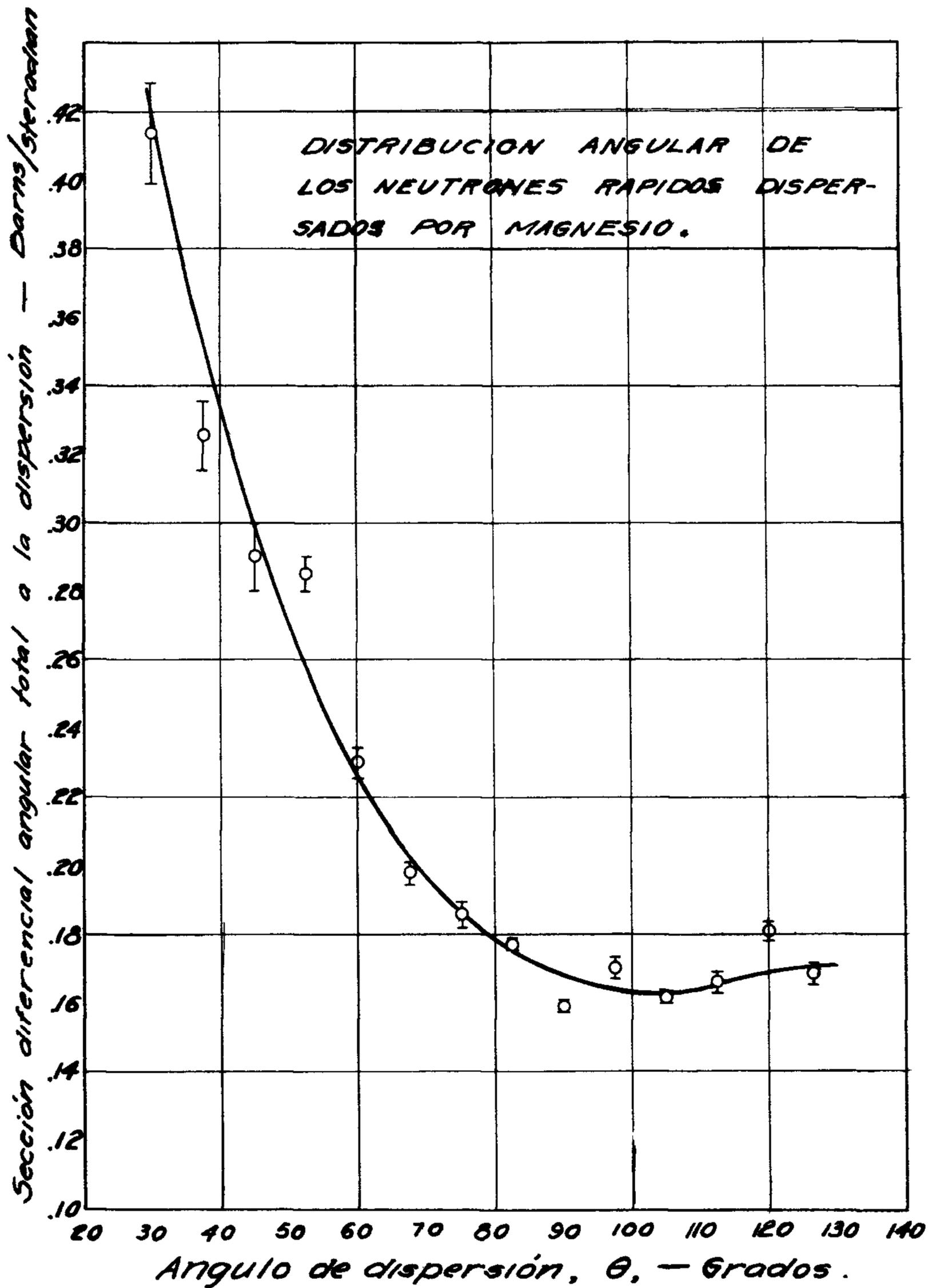
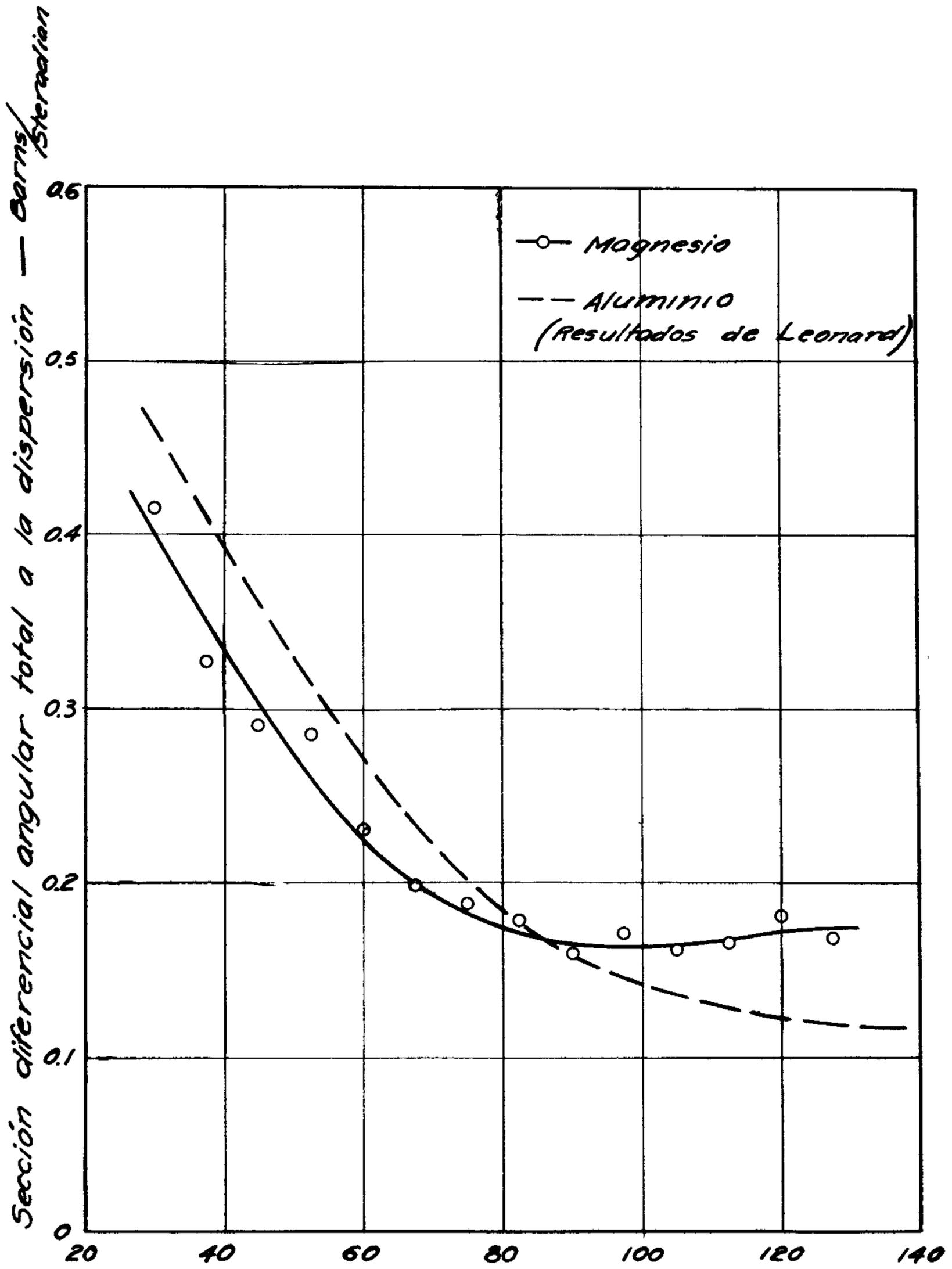


Fig. 3. Sección diferencial angular total (elástica e inelástica) a la dispersión.



Angulo de dispersión, θ , (grados).

Fig. 4. Resultados en Magnesio y Aluminio.