

JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

RESPUESTA DE DETECTORES DE CENTELLEO
A PARTICULAS CARGADAS

Por

M. A. VINGON, J. MONTES,

y

C. E. GRANADOS, R. GUTIERREZ

J. E. N. 59

MADRID, 1.959

Toda correspondencia en relación con
este trabajo debe dirigirse al Servicio de
Documentación y Biblioteca, Junta de Ener-
gía Nuclear, Serrano 121, Madrid, ESPAÑA

I N D I C E

	Pag.
Introducción	1
Método experimental	1
Resultados experimentales	7
Interpretación de los resultados	8
Bibliografía	11

RESPUESTA DE DETECTORES DE CENTELLEO

A PARTICULAS CARGADAS

Por

M. A. VIGON, J. MONTES,

y

C. E. GRANADOS, R. GUTIERREZ

Introducción

Es de gran interés conocer la respuesta de cristales empleados como sustancias de centelleo para partículas cargadas de diferentes energías. Particularmente es interesante la respuesta a protones, ya que mediante la medida de protones de retroceso, se puede determinar la energía de neutrones rápidos.

Varios investigadores¹, han estudiado la variación de la respuesta de detectores orgánicos de centelleo con la energía de la partícula. Se admite generalmente que la variación del tamaño del impulso con la energía depende exclusivamente del poder de detención del material y se han dado fórmulas que expresan esta dependencia^{2,3}. Sin embargo, la mayor parte de los datos experimentales corresponden a energías por encima de 1 mev. A estas energías la variación del poder de detención con la energía es pequeña, y resulta difícil decidir cual de las expresiones propuestas concuerda mejor con los datos experimentales.

Las diferencias entre los valores calculados con las distintas fórmulas se acentuarán para variaciones mayores del poder de detención. Por eso nosotros hemos investigado la zona de baja energía, entre 0,2 y 1,7 Mev.

Método experimental

Es evidente que trabajando con energías bajas, nuestra mayor preocupación había de ser evitar la dispersión en energías de las partículas incidentes.

División de Física.

tes. Para ello (fig. 1) empleamos el haz de iones del acelerador Van de Graaff, deflectado en la cámara magnética para obtener un haz monoenergético, y además, y fundamentalmente, este haz se hacía incidir directamente sobre el plástico en estudio, con lo que se evitaba la dispersión introducida por los absorbentes. El plástico iba en contacto óptico con el fotomultiplicador y el conjunto formaba el cierre de una extensión del Van de Graaff.

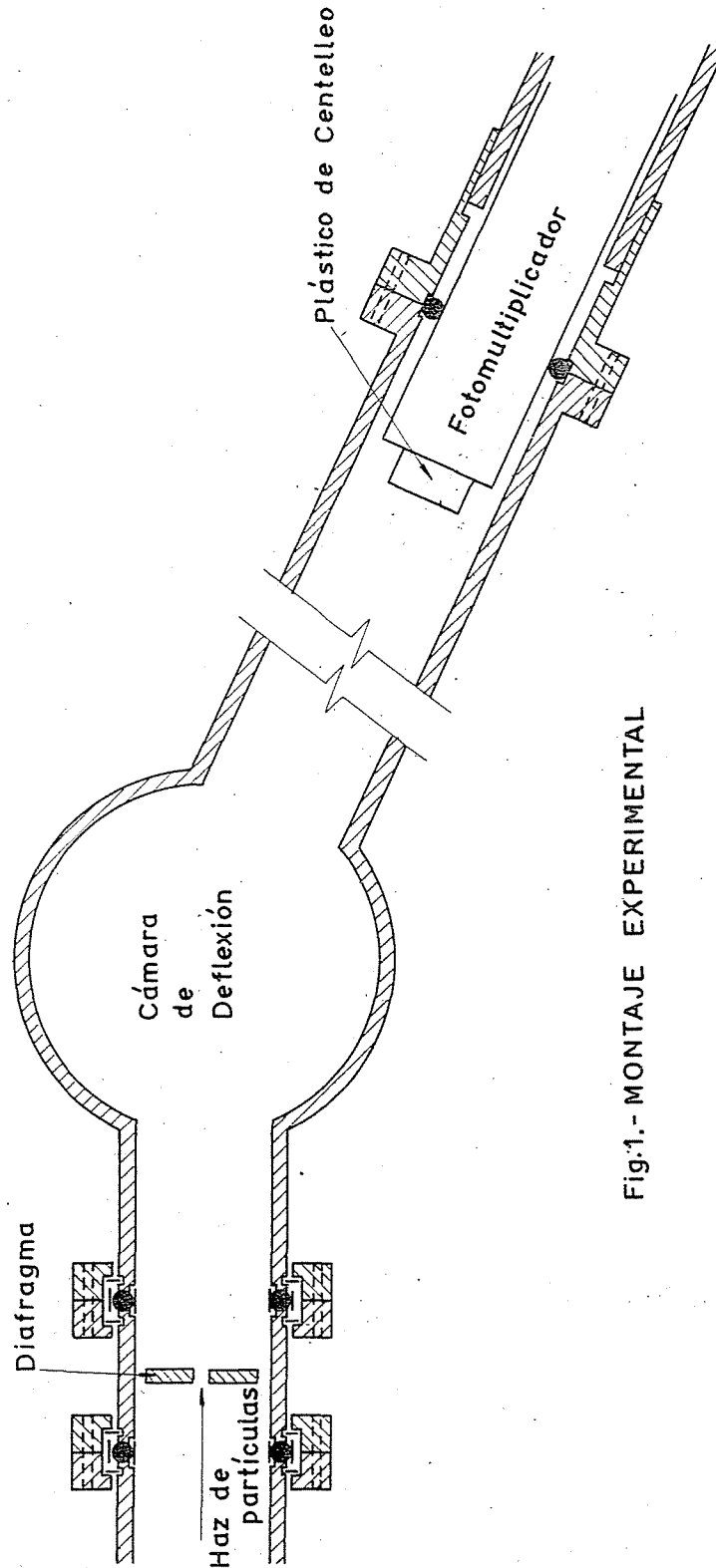


Fig.1.- MONTAJE EXPERIMENTAL

En la figura 1 está representado el método que se utilizó para asegurar el cierre de vacío. Un o-ring, colocado entre dos bridas, presionaba sobre el fotomultiplicador y las bridas cuando se apretaban los tornillos de que éstas iban provistas; para no romper el fotomultiplicador la presión sobre los tornillos se hizo a mano, sin empleo de llaves.

Para evitar que el haz incidiera directamente sobre la corona de cátodo del fotomultiplicador no cubierta por el plástico, se introdujo un colimador inmediatamente delante del detector.

Como consecuencia del dispositivo descrito, la corriente de iones que llegaba al plástico era excesiva aún sin aplicar tensión de extracción. Para reducirla se fueron introduciendo diafragmas sucesivamente, pero su eficacia fué prácticamente nula hasta que se decidió colimar el haz completo, antes de la deflexión en la cámara magnética.

Para no inutilizar las restantes extensiones, este diafragma tenía que ser giratorio y accionado desde el exterior. Se empezó por construir este diafragma con chapa de aluminio de 2,4 mm de espesor con un orificio central de 1 mm. En las primeras pruebas el haz lo fundió. Entonces hubo necesidad de construir una pieza completa para alojar un diafragma giratorio y refrigerado por agua (fig. 2).

La primera serie de medidas, que fué objeto de un trabajo presentado en la Reunión Bianual de la Real Sociedad Española de Física y Química y publicado en sus Anales ⁴ se hizo en esas condiciones.

Se había instalado en el extremo de la extensión una bomba difusora auxiliar que eliminara el gradiente de presiones que introducían los diafragmas que se fueron intercalando. Esta bomba llevaba un trap metálico (fig. 3) refrigerado con mezcla de nieve carbónica y acetona.

Cuando se eliminaron los diafragmas de la extensión, dejando únicamente el anterior a la cámara magnética, se pensó en que se podía prescindir de este sistema auxiliar de vacío, pero resultó que si se eliminaba la refrigeración del trap disminuía notablemente el tamaño de los impulsos del fotomultiplicador. Por consiguiente se optó por mantener la bomba, haciendo vacío de rotatoria exclusivamente, y se hicieron todas las medidas hasta el final del trabajo con el trap lleno de nieve carbónica y acetona.

Los impulsos procedentes del contador pasaban a un amplificador y a un analizador de 100 canales que permite estudiar el espectro con canales de 0,5 V. En la figura 4 se muestra el diagrama bloque. Posteriormente se añadió una escala cuyo contador mecánico servía de monitor. Se seleccionó un fotomultiplicador de relación señal-ruido grande, ya que los impulsos correspondientes a partículas de baja energía eran muy pequeños.

Para reducir el fondo gamma, debido al choque del haz con las mandíbulas que forman parte del sistema de estabilización de la máquina, se co-

locó un diafragma ovalado inmediatamente antes de aquellas y además se situó el detector a un metro de distancia de ellas.

El colimador era de aluminio y se pensó que no afectaría a la medida, pero después de las primeras curvas se comprobó que convenía eliminarlo por la misma razón anterior. Tanto más cuanto que su utilidad era nula después que se diafragmó el haz antes de la cámara de deflexión.

Como se verá en lo que sigue resultó conveniente disponer este diafragma previo de forma que pudiera variarse su diámetro. De esta manera, utilizando una abertura mayor para la zona de la baja energía se conseguía una corriente bastante uniforme mediante el uso del mando de corriente de extracción.

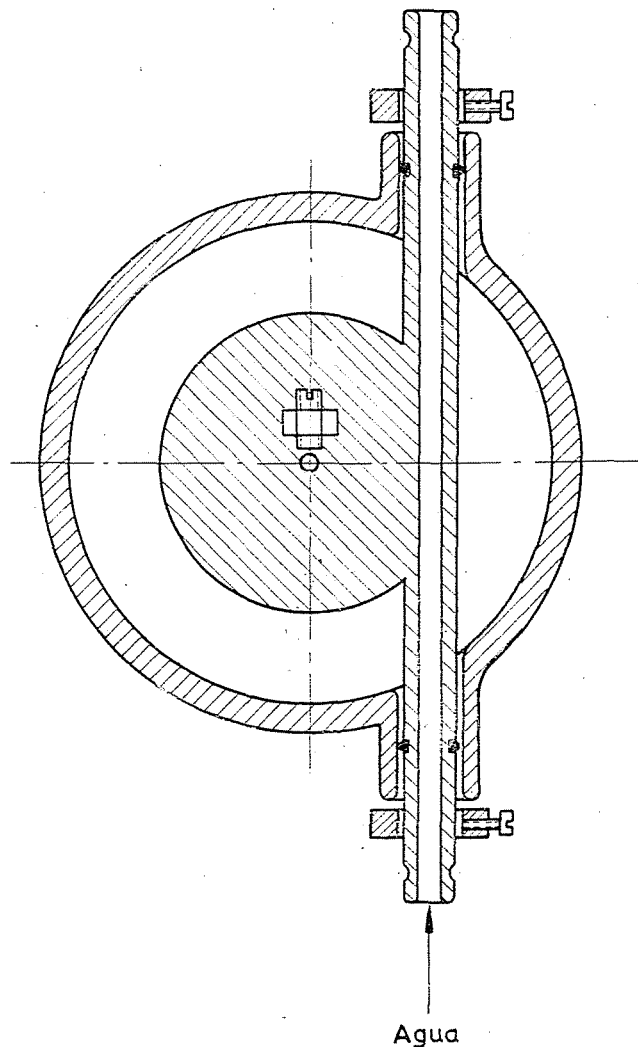


FIG.-2

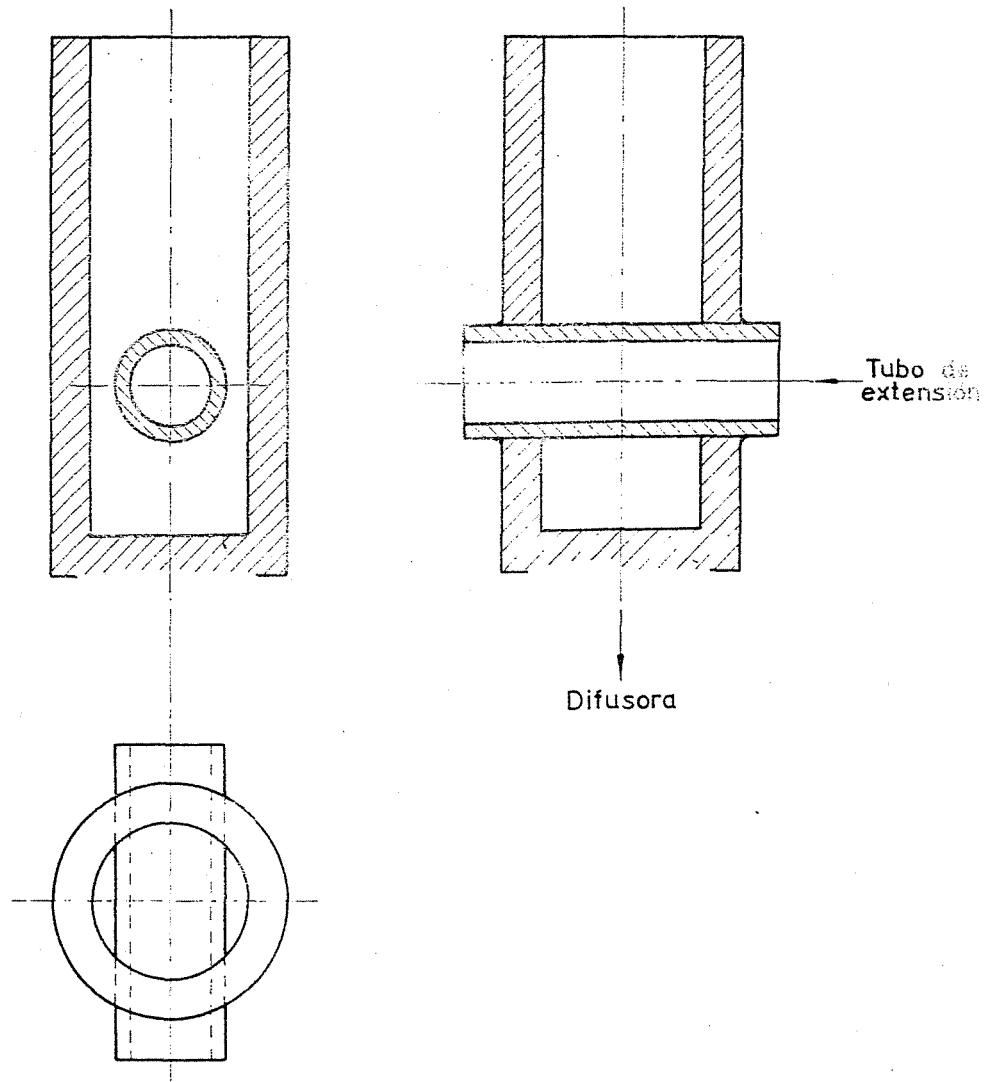


FIG.- 3

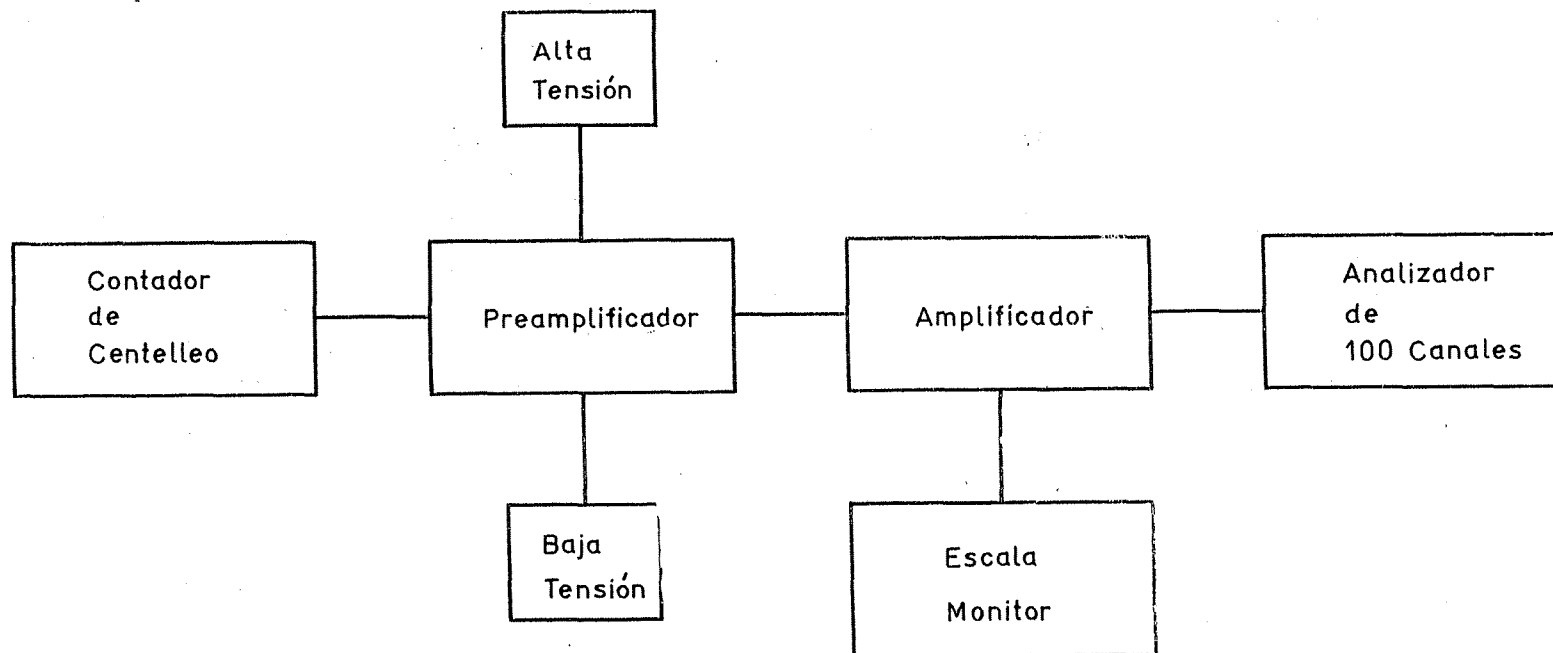


Fig. 4.- DIAGRAMA BLOQUE

El simple paso del haz iba agrandando el diafragma, por lo que se adoptó el sistema de fijar un tornillo móvil sobre éste, de forma que manejando el tornillo dejaba al descubierto mayor o menor superficie del orificio.

Para cada punto se hicieron varias determinaciones, variando el valor de la energía entre cada dos medidas. Al principio se recorrió toda la zona elegida, empezando en un extremo y recorriendo la zona de 100 en 100 Kev., alcanzando el máximo compatible con las condiciones de la máquina y midiendo también en la bajada.

Posteriormente se prefirió recorrer la zona de energías a partir solamente de un extremo, para eliminar la influencia de la histéresis magnética.

Resultados experimentales

Con corrientes muy bajas, la respuesta de la zona de la baja energía resultaba muy distorsionada a causa del fondo; para corrientes superiores a 10^5 partículas/s., se producía apilonamiento de impulsos. En un amplio margen de corrientes, sin embargo, se encontró que, aunque al aumentar la corriente disminuía el tamaño del impulso, el factor de reducción era independiente de la energía de la partícula.

Representando para cada energía de la partícula incidente la altura del impulso frente a su número, se obtiene una distribución gaussiana. Esta distribución aparece directamente en la pantalla del analizador de 100 canales, aunque deformada por la escala logarítmica propia del analizador. Como el sistema de estabilización de la máquina está anulado, el criterio adoptado para conocer cuando el haz incidía directamente sobre el plástico, consistió en desplazar ligeramente la energía del haz en ambos sentidos, alrededor del punto en estudio. Se observó que cuando el haz incidía verdaderamente sobre el plástico, la imagen que se iba formando en la pantalla del analizador, seguía docilmente los desplazamientos del mando de tensión de la máquina.

De las distribuciones correspondientes a cada energía determinamos la altura de impulso más probable y la desviación de dicho valor, y esta altura se representó frente a la energía de la partícula incidente. Debido a las variaciones de las condiciones de medida y de los factores de amplificación, hubo que normalizar las curvas resultantes.

Esta normalización se hizo de la siguiente forma: para cada corriente del haz de partículas, se representó la respuesta del plástico de centelleo y se buscó un factor de reducción entre cada curva y la patrón, siendo ésta aquella para la cual se disponía de una calibración más exacta por estar obtenida toda ella en idénticas condiciones. El factor de reducción se obtenía entre puntos de una misma energía, hallando luego la media aritmética de todos. La dispersión no resultó excesiva.

En la figura 5 está representada la curva para protones, promedio de las seis que se fueron obteniendo sucesivamente, según se fueron variando las condiciones experimentales, como se ha descrito anteriormente.

Estas seis curvas tenían valoraciones muy distintas, ya que era muy diferente el número de medidas para cada determinación. Este era un factor impuesto principalmente por el tiempo máximo que la máquina se conservaba en las condiciones óptimas de trabajo. Pero al mismo tiempo, las últimas medidas, que eran a la vez las que se habían repetido menor número de veces, eran lógicamente las que nos inspiraban mayor confianza en cuanto a la bondad del dispositivo experimental adoptado.

En consecuencia era muy difícil asignar un peso a cada curva y efectuar la media ponderada. Por ello se adoptó el siguiente criterio: se representaron todas las curvas en la misma figura, después de normalizadas a una de ellas como se ha dicho. Entonces pudo verse que dos de ellas tenían la misma forma general, demasiado pequeños los impulsos correspondientes a las energías bajas y grandes los correspondientes a las energías altas, coincidiendo con que para esas energías era mayor la corriente del haz. Se atribuyó pues, a un efecto de influencia excesiva del fondo en el primer caso, y al apilamiento de impulsos en el segundo. Unido a que estas curvas tenían una estadística pobre, fueron desechadas.

En cuanto a las que se conservaron, se tomó como curva definitiva la media aritmética de los valores de las curvas extremas, y como límites de la desviación, los valores de estas mismas curvas extremas. Lo mismo se hizo para deuterones.

Se ha comprobado, si en esta zona, las curvas de respuesta a protones y deuterones se podrían hacer coincidir con la reducción de ambas en un factor MZ^2 . Los resultados se indican en la figura 5. La concordancia es buena.

Interpretación de los resultados.

Empezamos por suponer que nuestra curva experimental podía representarse por una fórmula del tipo de la de Birks², y por consiguiente tratamos de hallar los valores numéricos de los dos parámetros que intervienen en ella.

Empleamos la fórmula transformada de la siguiente manera :

$$\frac{ds}{dE} = \frac{A}{1 + B \frac{dE}{dr}} \quad (1)$$

donde s represente la fluorescencia del cristal, E la energía de la partí-

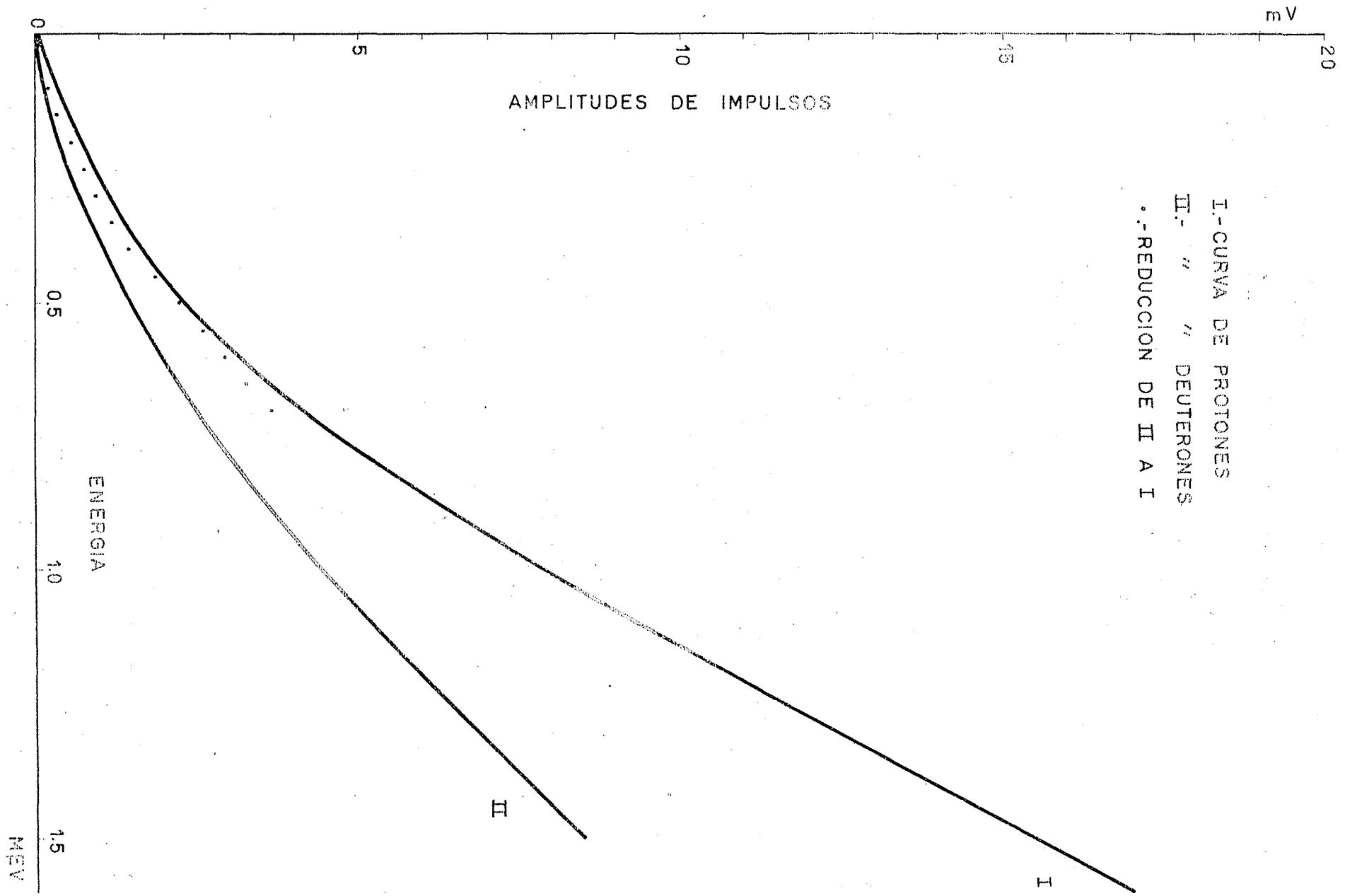


Fig. 5

cula incidente y r el alcance residual de la partícula dentro del cristal. A y B son dos constantes características del cristal, que hay que determinar experimentalmente.

Para ello se empezó por derivar gráficamente la curva de la figura 5. Se consideró lógica la hipótesis de que existe proporcionalidad entre s y V , altura de los impulsos en voltios.

De esta manera se obtuvo la curva dE/dV , y teniendo en cuenta que para valores elevados de la energía dE/dr se hace muy pequeño, se utilizaron las curvas experimentales obtenidas por otros investigadores¹ para determinar el valor de A como pendiente límite a la que se supone que tiende la curva de respuesta.

Si se busca este valor gráficamente puede observarse que no hay ninguna curva que exhiba una pendiente constante en su extremo final. De todas maneras siempre era posible acotar el valor de A a partir de estas curvas. Por ello, trazamos las curvas extremas correspondientes a la expresión $A \frac{dE}{dV} - 1$ y las comparamos con la curva dE/dr , corregida para la densidad del plástico, obtenida a partir de la curva energía-alcance para protones en el aire seco⁵. De ninguna manera pueden considerarse ambas curvas proporcionales, como exige la fórmula (1).

Se intentó entonces ajustar la curva para algún tipo de función de la energía, en vez de constantes, pero pronto se vió que la manera más sencilla de ajustarla era suponer que la respuesta del plástico es proporcional al alcance total de la partícula dentro del plástico.

Para ello se utilizó la curva de alcances para una emulsión fotográfica⁶ por ser de todas las disponibles la correspondiente al material más semejante al plástico de centelleo. En la figura 6 está representada la curva transformada de la curva experimental, que como puede verse es prácticamente una línea recta.

En consecuencia, deducimos que la hipótesis más sencilla es suponer que el tamaño del impulso, por lo menos en esta zona, es proporcional al alcance de la partícula en el plástico.

Una vez terminado este trabajo se repitieron las medidas con un cristal de antraceno, con resultados idénticos. figura 7.

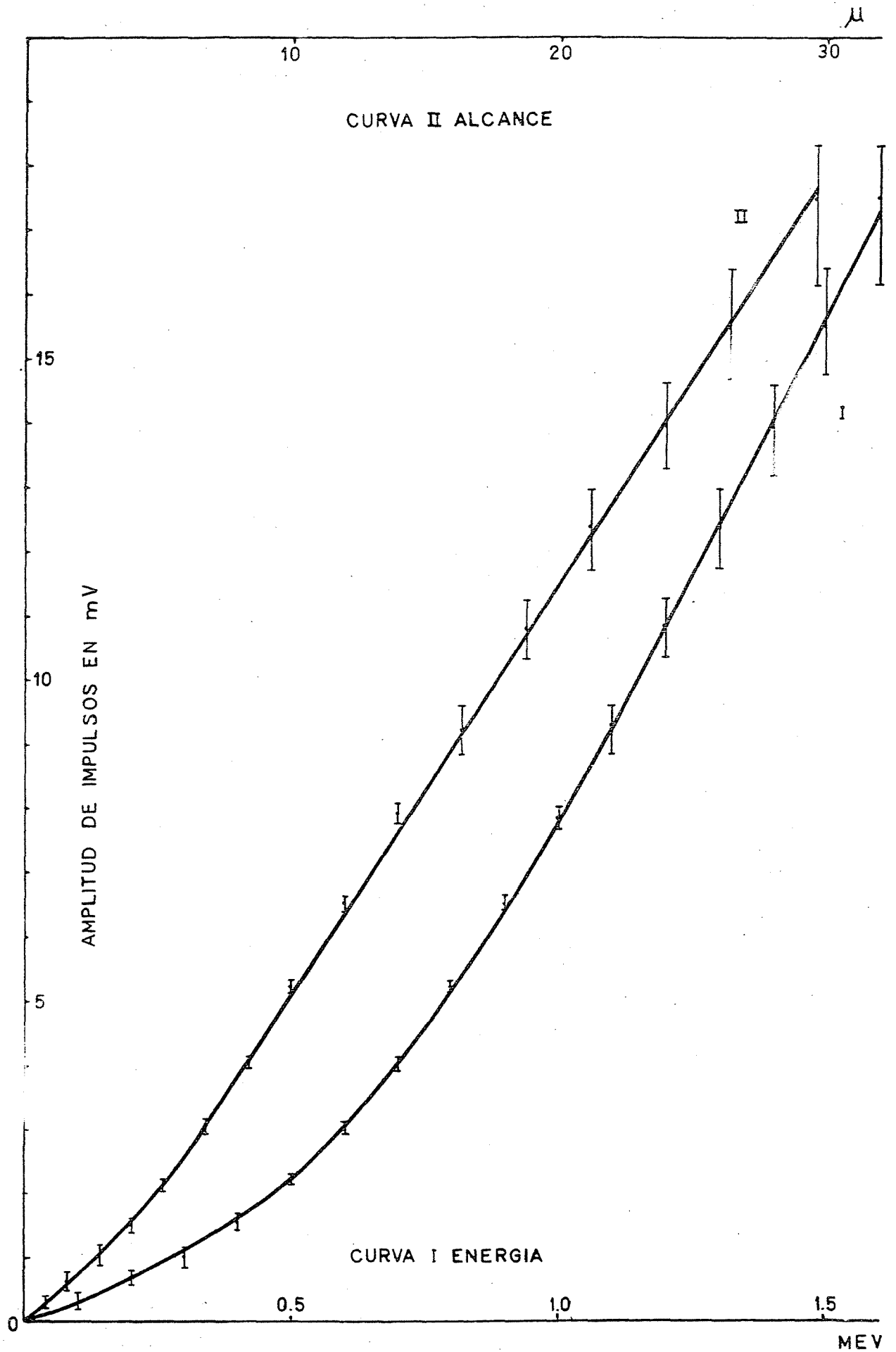


Fig. 6

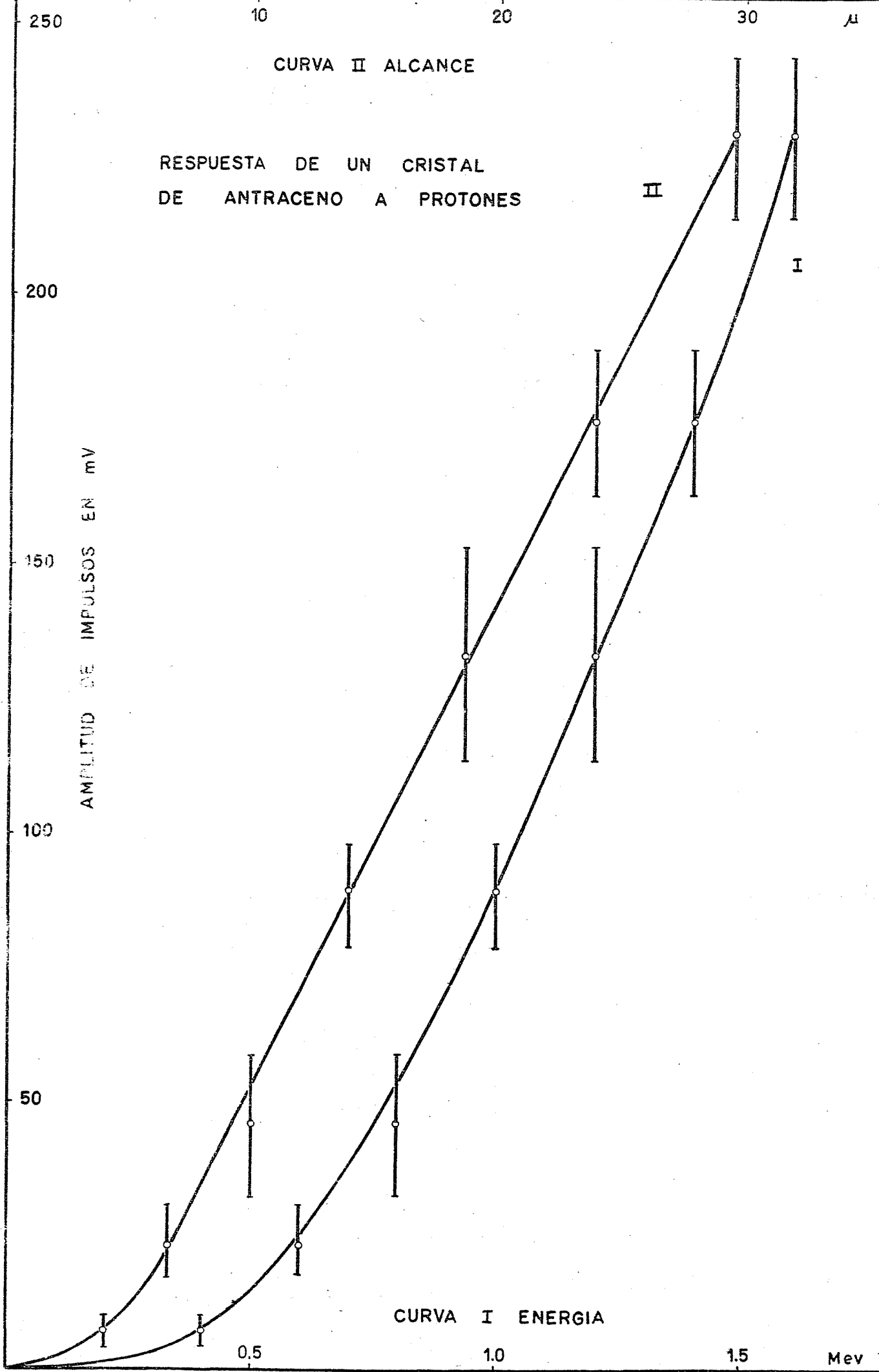


Fig. 7

BIBLIOGRAFIA

1. Taylor, C. J. , Jentschke, W.K. , Remley, M. E. , Eby. P.S. , y Kruger, P.G. , Phys. Rev. 84, 1034 (1951)
2. Birks, J.B. , Phys. Rev. 84, 364 (1951)
3. Wright, G. T. , Phys. Rev. 91, 1282 (1953)
4. M.A. Vigon y otros. Ana. Real. So. Esp. Fis. Qui. , LIV (A), 91, 3 y 4 (1958)
5. Hans A. Bethe, Julius Ashkin : Passage of Radiations though Matter Sec. 1; Experimental Nuclear Physics, Vol. I. E. Segré. John Wiley & Sons Inc. New York 1953.
6. Powell y Occhialini : Nuclear Physics in Photographs. Oxford University Press, Amen House, London E. C. 4 (1947) pág. 39

J. E. N. 59

MU29, MU44

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid,
"Respuestas de detectores de centelleo a partículas cargadas"

VIGON, M. A., MONTES, J., GRANADOS, C. E., GUTIERREZ, R., (1959), 11pp. 3 gráfs. 4 figs. 6 refs.

Se ha estudiado la respuesta de un plástico de centelleo y un cristal de antraceno para protones y deuterones con energías comprendidas entre 0,2 y 1,7 MeV. El haz monoenergético de partículas incide directamente sobre el detector en estudio en contacto óptico con un fotomultiplicador. Los impulsos se introducen en un amplificador que los manda a una escala que hace de monitor y a un analizador de 100 canales. Se obtiene el espectro para cada energía del haz incidente, tomando el máximo del espectro como valor mas

J. E. N. 59

MU29, MU44

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid,
"Respuestas de detectores de centelleo a partículas cargadas"

VIGON, M. A., MONTES, J., GRANADOS, C. E., GUTIERREZ, R., (1959), 11 pp. 3 gráfs. 4 figs. 6 refs.

Se ha estudiado la respuesta de un plástico de centelleo y un cristal de antraceno para protones y deuterones con energías comprendidas entre 0,2 y 1,7 MeV. El haz monoenergético de partículas incide directamente sobre el detector en estudio en contacto óptico con un fotomultiplicador. Los impulsos se introducen en un amplificador que los manda a una escala que hace de monitor y a un analizador de 100 canales. Se obtiene el espectro para cada energía del haz incidente, tomando el máximo del espectro como valor mas

J. E. N. 59

MU29, MU44

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid,
"Respuestas de detectores de centelleo a partículas cargadas"

VIGON, M. A., MONTES, J., GRANADOS, C. E., GUTIERREZ, R., (1959) 11 pp. 3 gráfs. 4 figs. 6 refs.

Se ha estudiado la respuesta de un plástico de centelleo y un cristal de antraceno para protones y deuterones con energías comprendidas entre 0,2 y 1,7 MeV. El haz monoenergético de partículas incide directamente sobre el detector en estudio en contacto óptico con un fotomultiplicador. Los impulsos se introducen en un amplificador que los manda a una escala que hace de monitor y a un analizador de 100 canales. Se obtiene el espectro para cada energía del haz incidente, tomando el máximo del espectro como valor mas

J. E. N. 59

MU29, MU44

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid,
"Respuestas de detectores de centelleo a partículas cargadas"

VIGON, M. A., MONTES, J., GRANADOS, C. E., GUTIERREZ, R., (1959), 11 pp. 3 gráfs. 4 figs. 6 refs.

Se ha estudiado la respuesta de un plástico de centelleo y un cristal de antraceno para protones y deuterones con energías comprendidas entre 0,2 y 1,7 MeV. El haz monoenergético de partículas incide directamente sobre el detector en estudio en contacto óptico con un fotomultiplicador. Los impulsos se introducen en un amplificador que los manda a una escala que hace de monitor y a un analizador de 100 canales. Se obtiene el espectro para cada energía del haz incidente, tomando el máximo del espectro como valor mas