

Sm 142 72 m K β ⁻ 1,03	Sm 145 340 d K 0,66 kein β ⁺ γ 0,06; ... α ⁻	Sm 146 5-10 ⁷ a α 2,55	Sm 147 14,97 1,2-10 ¹¹ a α 2,23 α 87	Sm 148 11,24	Sm 149 13,83 α 40800	Sm 150 7,44	Sm 151 ~ 93 a β ⁻ 0,076 γ 0,02 α ⁺ 12400	Sm 152 26,72 α 140	Sm 153 47 h β ⁻ 0,70; 0,64; 0,80; γ 0,10; 0,07; ...	Sm 154 22,7 α 5,3		
Pm 141 ~ 20 m β ⁺ ~ 2,6 γ	Pm 142 34 s β ⁺ 3,78; ... γ	Pm 143 265 d K γ 0,74	Pm 144 ~ 400 d K kein β ⁺ γ 0,62; 0,70; 0,48; ...	Pm 145 18 a K 0,14 γ 0,072; 0,067	Pm 146 710 d K β ⁺ 0,78 γ 0,75; 0,45	Pm 147 2,65 a β ⁻ 0,23; ... α ⁻ ~ 60	Pm 148 42 d 5,3 d β ⁻ 0,13 β ⁻ 2,52 β ⁻ 3,30; 0,77; γ 0,55 1,47 0,13; 0,13 γ 0,55; 0,71	Pm 149 53 h β ⁻ 1,05; 0,78; ... γ 0,29; ...	Pm 150 2,7 h β ⁻ 2,3; 3,16; ... γ 0,33; ...	Pm 151 28,4 h β ⁻ 1,1 γ 0,34; 0,17; ...	Pm 152 6 m β ⁻ 2,2 γ 0,12; 0,24; ~ 1	
Nd 140 3,3 d K γ 0,11; 0,5	Nd 141 64 s 2,5 h K β ⁻ 0,76 γ 0,04; 0,42; 1,14;	Nd 142 27,11 α 18	Nd 143 12,17 α 240	Nd 144 23,85 2,4-10 ¹⁵ a α 1,83 α 50	Nd 145 8,30 α 60	Nd 146 17,22 α 1,8	Nd 147 11,1 d β ⁻ 0,81; 0,37; ... γ 0,09; 0,53; ... α ⁻	Nd 148 5,73 α 3,7	Nd 149 1,8 h β ⁻ 1,1; 1,5; 0,95 γ 0,03; 0,65	Nd 150 5,62 α 1,5	Nd 151 12 m β ⁻ 2,06; 1,19; 1,82; 1,65 γ 0,09; 2,17	
Pr 139 4,5 h K β ⁺ 1,0 γ 1,3; 1,6; ...	Pr 140 3,4 m K β ⁺ 2,37; ... γ 1,60; 0,90; ...	Pr 141 100 α 10,8	Pr 142 19,1 h β ⁻ 2,15; 0,58 γ 1,57 α ⁻ 18	Pr 143 13,7 d β ⁻ 0,93 kein γ α 89	Pr 144 17,3 m β ⁻ 2,98; 2,29; ... γ 0,69; ...	Pr 145 5,9 h β ⁻ 1,80; ... γ 0,07; 1,15	Pr 146 25 m β ⁻ 3,7; 2,3 γ 0,46; 1,49; 0,75	Pr 147 12 m β ⁻ ~ 0,32; 1,7	Pr 148 2 m β ⁻ ~ 0,30	7	0,45	
Ce 138 9,2 ms 0,250 0,80 1,04 α 0,007 0,6	Ce 139 60 s 140 d Jy 0,75 K 0,10 kein β ⁺ γ ~ 0,17	Ce 140 88,48 α 0,31	Ce 141 32,5 d β ⁻ 0,44; 0,58 γ 0,15	Ce 142 11,07 α 0,94	Ce 143 33,4 h β ⁻ 1,09; 1,38; 0,50; ... γ 0,06; 0,29; 0,67; ... β ⁺ 6,0	Ce 144 284 d β ⁻ 0,32; 0,19; 0,24 γ 0,13; 0,08; ...	Ce 145 3,0 m β ⁻ 2,0; ... γ	Ce 146 14 m β ⁻ 0,70 γ 0,32; 0,22; 0,14; ...	Ce 147 1,2 m β ⁻	Ce 148 0,7 m β ⁻	0,70	
La 137 6-10 ⁴ a K kein γ	La 138 0,089 1,1-10 ¹¹ a K kein β ⁺ β ⁻ 0,21 γ 1,43; 0,81	La 139 99,911 α 8,2	La 140 40,2 h β ⁻ 1,38; 1,10; 0,83; ... γ 1,60; 0,49; 0,37; 0,82; ...	La 141 3,9 h β ⁻ 2,43; 0,91 γ 1,37	La 142 92 m β ⁻ ~ 4,0; ... γ 0,63; 2,40; 0,90; 2,08; ...	La 143 14,0 m β ⁻ 3,30; ... γ 0,63; 1,17; 0,80; 1,98; ...	La 144 kurz β ⁻	07.65.02				1,3
Ba 136 7,81 α 0,016 + ?	Ba 137 2,6 m 11,32 β ⁻ 0,66 α 5,1	Ba 138 71,66 α 0,5	Ba 139 85 m β ⁻ 2,30; 2,14; 1,40; ... γ 0,17; 0,78; ... α 4	Ba 140 12,8 d β ⁻ 1,01; 0,48; 0,6; 0,9 γ 0,54; 0,03; 0,44; 0,16; ...	Ba 141 18 m β ⁻ 2,8; ... γ 0,19; 0,29; 0,46; ...	Ba 142 11 m β ⁻ ~ 4 γ 0,26; 0,89; 1,20; ...	Ba 143 13 s β ⁻	Ba 144 kurz β ⁻			1,7	
Cs 135 2,0-10 ⁶ a β ⁻ 0,21 kein γ α 8,7	Cs 136 13 d β ⁻ 0,34; 0,66 γ 0,83; 1,07; 0,34; ...	Cs 137 30 a β ⁻ 0,51; 1,18 α ~ 2	Cs 138 32 m β ⁻ 3,40; ... γ 1,43; 1,01; 0,46; 2,21; ...	Cs 139 9,5 m β ⁻ 4,3; ... γ	Cs 140 66 s β ⁻ ~ 0,59	Cs 141 kurz β ⁻	Cs 142 ~ 1 m β ⁻	Cs 143 kurz β ⁻	Cs 144 kurz β ⁻		2,6	
Xe 134 10,44 α ~ 0,2	Xe 135 15,7 m 9,2 h Jy 0,53 β ⁻ 0,91; ... γ 0,25; ... 0,27; 1,02	Xe 136 8,87 α 0,15	Xe 137 3,9 m β ⁻ 3,5 γ 0,27; 0,45	Xe 138 17 m β ⁻ 2,4 γ 0,42; 0,51; 1,78; 2,0	Xe 139 41 s β ⁻ ~ 0,90; 0,52	Xe 140 16 s β ⁻	Xe 141 1,7 s β ⁻	Xe 142 ~ 1,5 s β ⁻	Xe 143 1 s β ⁻	Xe 144 ~ 1 s β ⁻	3,1	
J 133 21 h β ⁻ 1,23; 0,59 γ 0,53; 0,87; ...	J 134 53 m β ⁻ 2,41; 1,25; 1,49; γ 0,85; 0,89; 0,61; 1,07; ...	J 135 6,7 h β ⁻ 1,0; 0,47; 1,4 γ 1,14; 1,28; 1,72; ...	J 136 83 s β ⁻ 4,2; 7,0; 5,6; 2,7 γ 1,32; 0,40; 0,27; ...	J 137 24 s β ⁻ n	J 138 6 s β ⁻ n	J 139 2,7 s β ⁻ n			5,9	5,9	5,6	4,0
Te 132 78 h β ⁻ 0,22; ... γ 0,05; 0,23 α ⁻	Te 133 50 m ~ 2 m β ⁻ 1,3; 2,4 γ 0,75; 0,91; 0,43; ... Jy 0,33	Te 134 42 m β ⁻ ~ 2,4 γ 0,20; 0,26; 0,17; ...				5,8	6,4	6,4	5,8			
Sb 131 23 m β ⁻	Sb 132 2,1 m β ⁻	Sb 133 4,1 m β ⁻	Sb 134 0,8 m β ⁻			6,0						

C.N.E.A. Biblioteca
ARCHIVO PUBLICACIONES
1
1965
4

Manual del

Curso de Metodología y

Aplicación de Radioisótopos

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES — REPUBLICA ARGENTINA



REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CURSÓ DE METODOLOGIA Y APLICACION
DE RADIOISOTOPOS

DETECTORES DE CENTELLEO

Josefina Rodriguez y Máximo Rudelli

DETECTORES DE CENTELLEO

INTRODUCCION

Los contadores Geiger-Müller detectan la radiación Gamma con muy baja eficiencia (1% al 3%) de ahí la necesidad de utilizar detectores especiales como los centelleadores.

Cuando la materia es atravesada por átomos cargados o radiaciones nucleares se produce la ionización o excitación de las moléculas de la misma.

Las radiaciones no cargadas como los rayos gamma, los rayos X y los neutrones producen ionización secundaria en su pasaje a través de la materia. La ionización (primaria o secundaria) es la base del funcionamiento de la mayoría de los instrumentos utilizados para medir actividades. Estos instrumentos difieren en los materiales que los constituyen y que luego sufrirán la ionización.

Existen ciertos materiales líquidos o sólidos conocidos como centelleadores, que poseen la propiedad de ser luminiscentes. Efectivamente, al ser chocados por un rayo gamma, parte de la energía gastada por la radiación en excitación molecular o ionización de los átomos del centelleador, es devuelta en forma de luz visible o ultravioleta. Existen centelleadores de distintos materiales, cada uno destinado a detectar distintas radiaciones. Fundamentalmente para gamma, se utilizan cristales de Ioduro de Sodio activados con Talio. Para radiación beta se utilizan cristales de Antraceno. Actualmente se ha generalizado el empleo de centelleadores plásticos y líquidos (centelleadores en solución). La observación y medida de la luz o centelleos producidos en centelleadores por partículas ionizantes individuales, constituye la base del instrumento llamado "contador de centelleo".

Originariamente los centelleos fueron observados visualmente, pero en los instrumentos modernos son convertidos en impulsos de voltaje y registrados en un escalímetro.

Principio del contador de centelleo.

El esquema del equipo incluyendo el detector de centelleo se indica en la fig.1. Se han indicado en forma somera las características del centelleador. En cuanto al fotomultiplicador, solamente diremos que consiste esencialmente de una célula fotoeléctrica, seguida en la misma unidad por un amplificador de corriente de alta ganancia

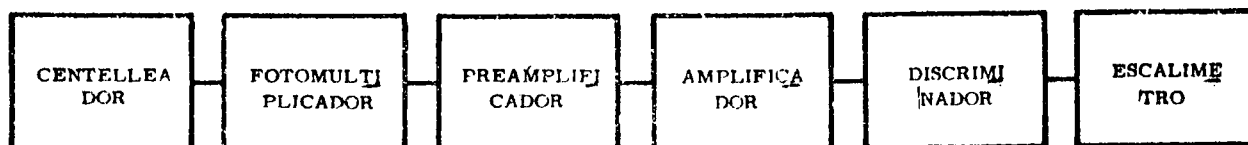


Fig. 1

En el esquema de la fig.2 puede observarse que consiste de:

- Un fotocatódo.
- Un sistema óptico - electrónico, que permite guiar los electrones de un dinodo al vecino que se encuentra a más alto potencial.
- Una serie de blancos para emisión secundaria, llamados dinodos.
- Un ánodo, donde es liberada una corriente de electrones.

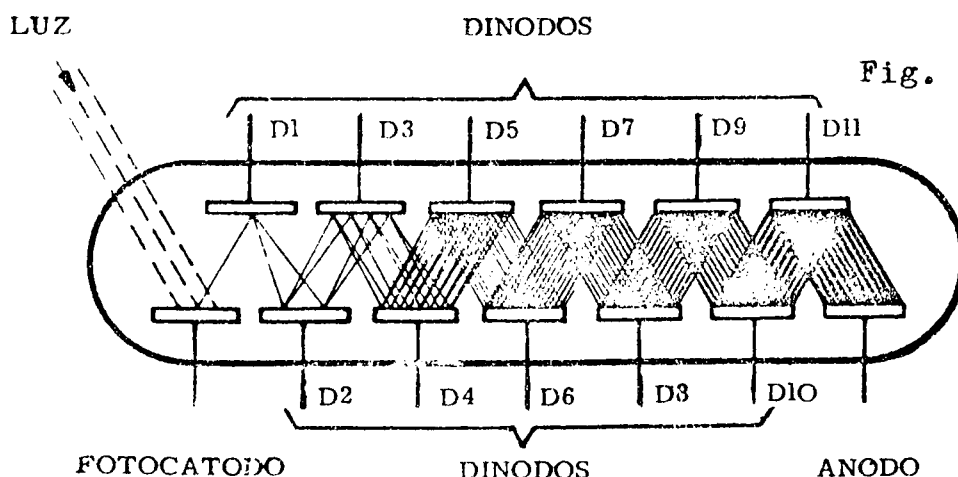


Fig. 2

PRINCIPIO DE OPERACION DE UN FOTOMULTIPLICADOR

La actuación del fotomultiplicador se basa en la emisión electrónica. Existen cuatro tipos de emisión electrónica, dependiente del medio empleado para extraer electrones del material.

- Emisión fotoeléctrica.
- Emisión secundaria.
- Emisión termoiónica.
- Emisión por acción de un campo eléctrico.

Los dos fenómenos primeros son utilizados en el fotomultiplicador. Los dos últimos aparecen como elementos parásitos.

Como en todos los equipos de detección están incluidos un seguidor catódico, un amplificador y un escalímetro. Se intercala también un discriminador, cuyo principio de funcionamiento se indicará más adelante.

Teniendo en cuenta, que nosotros utilizamos fundamentalmente el cristal de centelleo para detectar radiación gamma, indicaremos en forma resumida la interacción de esta radiación con la materia.

La radiación gamma tiene tres formas principales de interaccionar con la materia, que dan origen a tres efectos en competencia:

1.- Efecto fotoeléctrico.

En este proceso toda la energía $E_\gamma = h\nu$ del fotón incidente es transferido a un electrón unido al átomo, el que es separado del mismo con una energía cinética $E_e = h\nu - W$, siendo W la energía de enlace del electrón emitido en su órbita de origen. De esta manera, el rayo gamma desaparece y se emite un electrón.

Generalmente son emitidos electrones de la capa K ó L, produciéndose emisión de rayos X característicos.

Los electrones se emiten en todas direcciones, pero la emisión es nula en la dirección de la radiación incidente.

2.- Efecto Compton.

En este caso un rayo gamma choca con un electrón y le transfiere parte de su energía.

El resultado es la salida de un electrón y un rayo gamma de menor energía que el rayo incidente.

Los electrones Compton salen en todas direcciones con energías variables que van de cero a un valor máximo. La máxima energía que un fotón incidente puede impartir a un electrón del material, con el que interacciona está dada por:

$$E_{\text{comp}} = \frac{E_\gamma}{(1 + m_0 c^2 / 2E_\gamma)}$$

El rayo gamma degradado, también es desviado de su dirección inicial. Se produce aquí también emisión de rayos x característicos.

3.- Formación de pares.

Al pasar un rayo gamma cerca de un núcleo se materializa en un par, un electrón y un positrón, los que salen con una energía cinética tal que se cumple.

$$E_{\gamma} = 2m_0 \cdot c^2 + E^{+} + E^{-}$$

Siendo E^{+} la energía del positrón y E^{-} la energía del electrón.

Si se tiene un haz constituido por rayos gamma de la misma energía, la probabilidad de que se produzca más un efecto que otro, dependerá de la energía de la radiación y de la naturaleza del material absorbente.

Para INa, que es el centelleador, generalmente utilizado para detectar radiación gamma, a bajas energías es preponderante el efecto fotoeléctrico, a energías medias predomina el efecto Compton y por encima de 1.022 MeV comienza a tener alguna probabilidad la formación de pares, teniendo este efecto gran peso a muy altas energías. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, y que el material con el que interacciona la radiación es el centelleador, seguiremos la historia de un rayo gamma desde que entra al cristal hasta que es liberado el impulso al que dió origen.

Supongamos que una partícula cargada (alfa, beta negativa o positiva) con energía E_I , incide en el centelleador y entrega toda o parte de su energía al centelleador. La cantidad de energía entregada al centelleador, depende de las dimensiones de éste comparado con el alcance de la partícula cargada en el material del centelleador.

Cuando se trata de partículas no cargadas (rayos gamma, rayos X o neutrones) ellas entregan su energía al centelleador a través de electrones. Efectivamente las radiaciones gamma ó X pueden transferir, con distinta probabilidad, por los tres procesos indicados, su energía o parte de ella a electrones del centelleador. Como se ha dicho, el peso de cada uno de estos efectos depende de la energía de la radiación incidente, de la densidad del material, en este caso el centelleador, y del número y masa atómica de sus elementos constituyentes.

Nosotros por lo tanto, podemos referirnos al caso de una partícula cargada que incide primariamente sobre el centelleador, o que ha sido arrancada del centelleador por un rayo gamma ó X.

La partícula cargada entrega parte de su energía al centelleador (energía entregada $E_I \cdot A$).

La energía absorbida es convertida por el centelleador con una cierta eficiencia C_I en P fotones de energía E_P . Esta energía es característica de cada cristal.

$$P = \frac{E_I \cdot A \cdot C_I}{E_P}$$

Para partículas de baja ionización específica (electrones rápidos, como los que se producen al interaccionar la radiación gamma con el centelleador) la eficiencia C_I es independiente de $E_I \cdot A$, y de ahí que P , número de fotones por partícula, es proporcional a la energía. Este hecho se hace notar diciendo, que el centelleador responde linealmente a la energía.

Los centelleadores tienen alta transparencia óptica a su propia radiación fluorescente, de manera que casi todos los fotones producidos en el centelleador logran salir de él. Sin embargo, algunos fotones se pierden al pasar del cristal al fotocátodo del fotomultiplicador, de manera que sólo llegan $P' = P \cdot B$, el coeficiente B depende de la transparencia del cristal y de la geometría definida por el centelleador y el fotomultiplicador.

Los fotones son absorbidos en el fotocátodo y convertidos con una cierta eficiencia C en fotoelectrones, es decir del fotocátodo saldrán $n = P' \cdot C$ fotoelectrones. Los n fotoelectrones guiados por el sistema óptico-electrónico se dirigen al primer dinodo de donde saldrán $R \cdot n$ electrones, de ahí serán guiados al segundo dinodo que se encuentra a más alto potencial y de éste saldrán $R \cdot R \cdot n$ electrones, si el fotomultiplicador consta de m dinodos, cada uno de ellos a más alto potencial que el que le precede, la carga total de la señal que llega al anodo será:

$$Q = n \cdot R^m \cdot D \cdot e$$

Siendo n el número de electrones liberados en el fotocátodo, R el factor de multiplicación de cada dinodo, m el número de dinodos, D el factor de eficiencia para la recolección que es muy cercana a 1 y e la carga del electrón. La altura del impulso será:

$$V = \frac{Q}{\text{Capacidad entre anodo y tierra}}$$

R aumenta con el voltaje aplicado al fotomultiplicador, por lo tanto la altura del impulso (V) obtenido también. Es necesario que

el potencial aplicado al fotomultiplicador sea altamente estabilizado, a fin de que no fluctúe el voltaje del impulso perdiendo resolución. Entre el fotocátodo y el anodo se aplican tensiones que dependen del tipo del fotomultiplicador (800 a 2300 voltios) repartiéndose esa tensión entre los distintos dinodos.

La superficie de los dinodos es generalmente, por simplicidad de construcción, realizada del mismo material que el fotocátodo, el que es elegido tratando de combinar, alta emisión fotoeléctrica y alta emisión secundaria con baja emisión termoiónica. Generalmente son de Níquel sobre el que se ha depositado una superficie de Cesio-Antimonio.

Resumiendo, si tenemos una radiación gamma ó un rayo X que es lo que trataremos de detectar en la práctica, esta radiación podrá sufrir uno de los tres efectos en el centelleador.

Vamos a observar que sucede en cada uno de los casos.

1.- Efecto fotoeléctrico.

La radiación gamma de energía E_γ transfiere casi toda su energía $E_I = E_\gamma - W$ siendo W muy pequeño, a un electrón del centelleador. Este electrón entrega al cristal una energía E_1 . A. Esta energía es convertida por el centelleador con una eficiencia C_1 en P fotones de energía E_P .

Al fotocátodo llegan solamente P' fotones

$$P' = P.B = \frac{(E_\gamma - W) \cdot A \cdot C_I \cdot B}{E_P}$$

Del fotocátodo saldrán n fotoelectrones

$$n = P' \cdot C = \frac{(E_\gamma - W) \cdot A \cdot C_I \cdot B \cdot C}{E_P}$$

en el anodo serán recogidos N electrones

$$N = n \cdot R^m \cdot D = \frac{(E_\gamma - W) \cdot A \cdot C_I \cdot B \cdot C \cdot R^m \cdot D}{E_P}$$

y la altura del impulso de salida será:

$$V = \frac{Q}{\text{Capacidad entre anodo y tierra}} = \frac{(E_\gamma - W) \cdot A \cdot C_I \cdot B \cdot C \cdot R^m \cdot D \cdot e}{E_P \cdot \text{Capacidad entre anodo y tierra}}$$

W , A , C_I y E_P dependen del centelleador

B , del centelleador y de la disposición del cristal y foto-multiplicador.

C , del fotocatodo

R^m y D del voltaje aplicado y del fotomultiplicador

Por lo tanto, para un conjunto dado centelleador-fotomultiplicador, las alturas de los impulsos de salida obtenidos serán proporcionales a la energía de la radiación gamma incidente, que ha sufrido el proceso fotoeléctrico. Estos impulsos dan origen al pico fotoeléctrico, o fotopico.

2.- Efecto Compton.

En este caso hemos visto que los electrones Compton pueden presentar energías desde cero hasta un cierto valor máximo. Por lo tanto, se obtendrán impulsos con alturas proporcionales a las diversas energías de los electrones Compton. Estos impulsos que presentan valores continuos son los responsables de la distribución Compton.

El rayo gamma de energía menor proveniente del efecto Compton, puede escapar del cristal, o bien entregar toda su energía a través de cualquiera de los tres efectos. En este último caso, ya que el cristal no puede diferenciar, los fotones producidos en el cristal por el rayo gamma proveniente del Compton se sumarán a los provenientes del electrón Compton y darán un impulso de la misma altura que el proveniente del electrón fotoeléctrico.

3.- Formación de pares.

Se ha visto que se produce un electrón y un positrón cuyas energías son E^+ y E^- , por otro lado el positrón, cuando ha perdido toda su energía dentro del centelleador se aniquila con un electrón del mismo, dando lugar a dos rayos gamma de 0.51 MeV cada uno. De ahí que pueden tener lugar diversas alternativas:

1) Que el positrón y el electrón entreguen toda su energía al centelleador y que los dos fotones de 0.51 MeV sean totalmente absorbidos, en cuyo caso el impulso obtenido será de la misma altura que el proveniente del electrón fotoeléctrico totalmente absorbido, es decir la altura del impulso será proporcional a E_γ .

2) Que el positrón y el electrón y uno de los rayos gamma de aniquilación sean totalmente absorbidos mientras que el otro escape, en ese caso la altura del impulso será proporcional a la energía:

$$(E_\gamma - 0,51 \text{ MeV})$$

3) Que ambos rayos de aniquilación escapen del cristal en ese caso la altura del impulso obtenido será proporcional a la energía:

$$(E_\gamma - 2.0,51 \text{ MeV})$$

4) Además pueden tener lugar diversas combinaciones de estas alternativas.

Si en un gráfico en ordenadas se indica el número de impulsos de una determinada altura (c/min) y en abscisas esa altura, obtendríamos teóricamente algo similar a lo indicado en la fig. 3a.

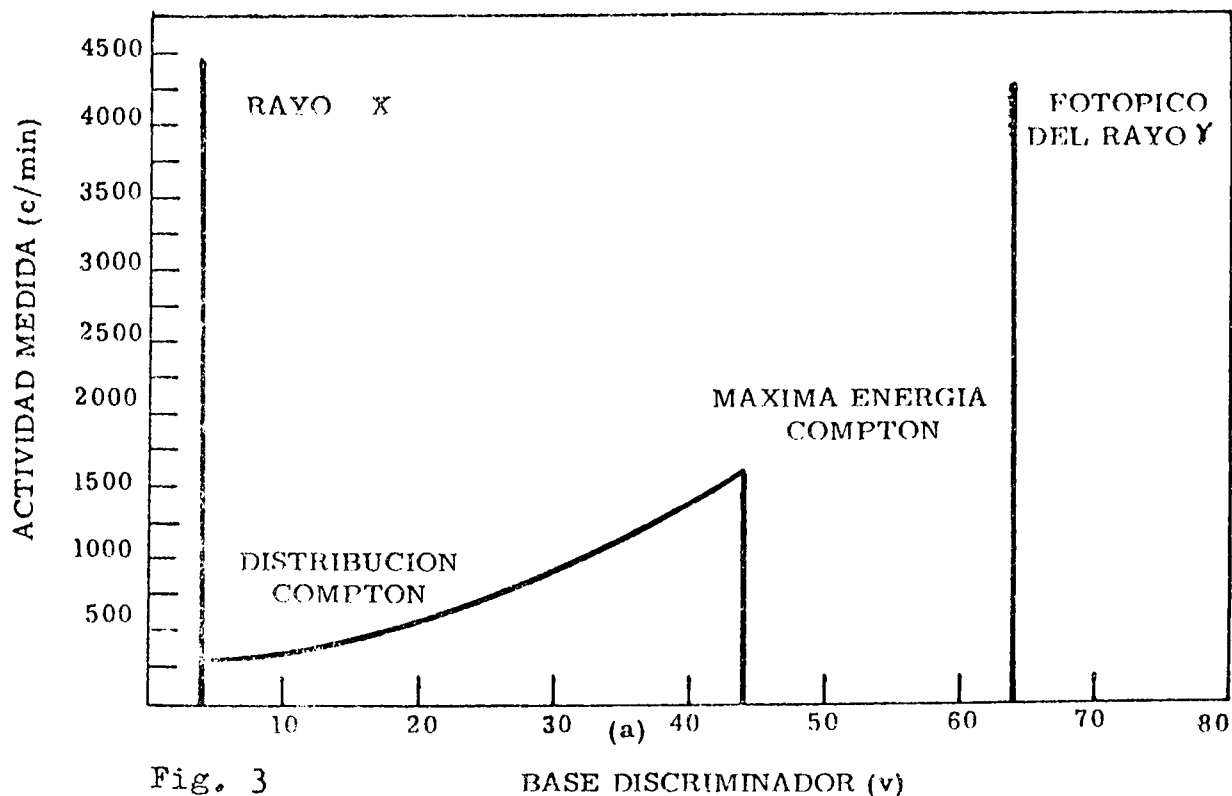


Fig. 3

(a) ESPECTRO GAMMA IDEAL

En la práctica, en realidad se obtiene algo similar a lo representado en la fig. 3b no aparece como cabría esperar una línea en el fotopico, debido a fluctuaciones estadísticas en los valores de n y R que se traducen en una dispersión en la altura del impulso, y que determinan la resolución en energías del instrumento. Una magnitud que mide la resolución en energías del instrumento es el "Poder Resolutor", que queda definido en la siguiente forma:

$$\text{Poder Resolutor} = \frac{\Delta E \cdot 100}{E} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

Esta magnitud da una idea del error con que queda determinada la energía. Cuanto menor es este valor, mayor resolución se obtiene en las energías. Por otro lado una variación del poder resolutor para una energía determinada, en un mismo instrumento y con las mismas ca-

racterísticas de trabajo, indicaría una alteración en el funcionamiento del equipo.

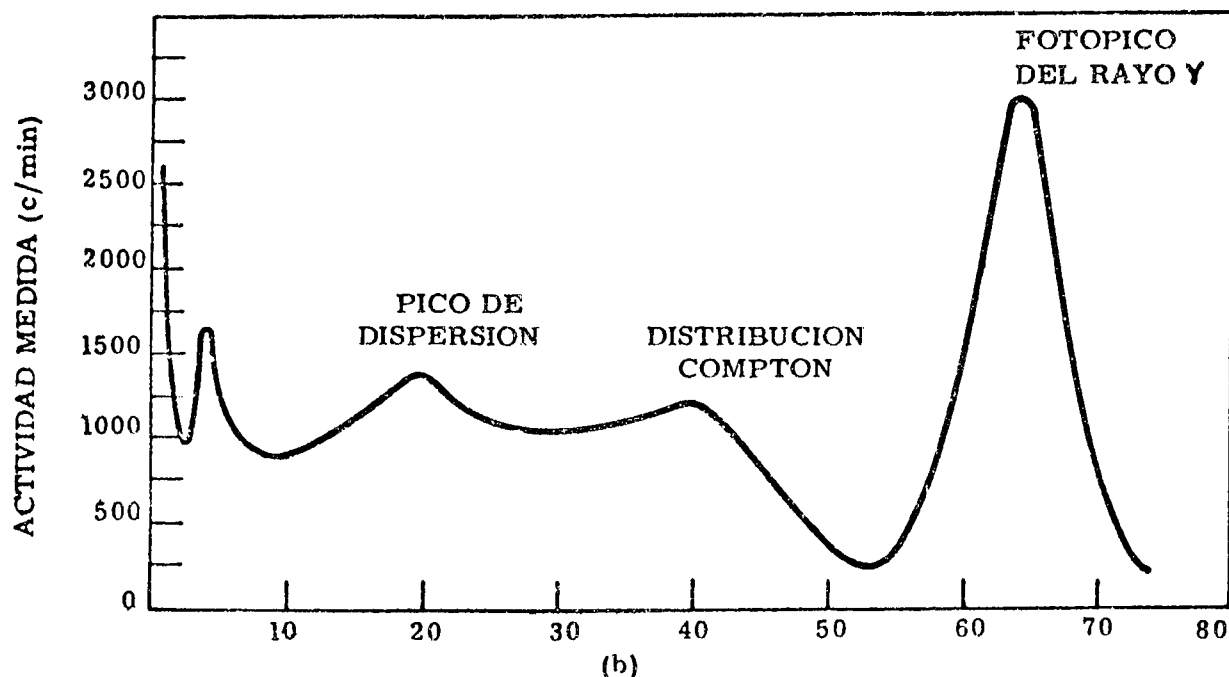


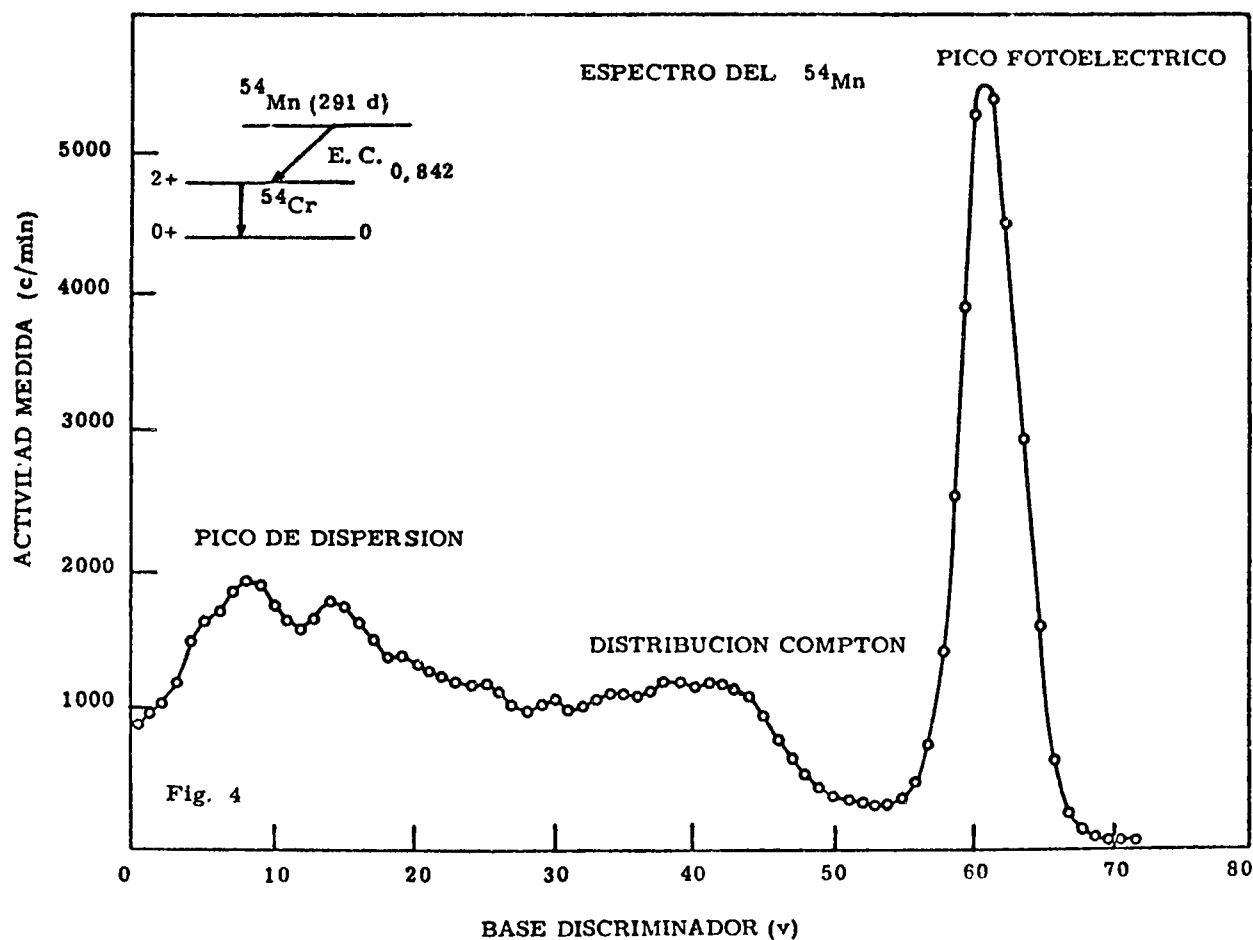
Fig. 3

BASE DISCRIMINADOR (v)

(b) ESPECTRO GAMMA REAL

Si se observa la fig. 3b y 4 notamos la aparición de tres picos:

- a) El pico fotoeléctrico, originado por las radiaciones gamma que se han absorbido totalmente en el cristal.
- b) El pico Compton o distribución Compton, originada en las radiaciones gamma que han sufrido el efecto del mismo nombre, habiendo escapado fuera del cristal el rayo gamma Compton.
- c) El pico de dispersión, al que contribuyen aquellos rayos gamma que sufrieron efecto Compton en los materiales que rodean al centelleador y al fotomultiplicador, y que luego logran entrar al centelleador.



La relación entre las alturas del fotopico y el pico Compton es dependiente de la energía gamma incidente y del tamaño del cristal, (fig.5 y 6). La forma y altura del pico de dispersión dependen de la geometría y de los materiales que rodean al centelleador (fig. 7 y 8).

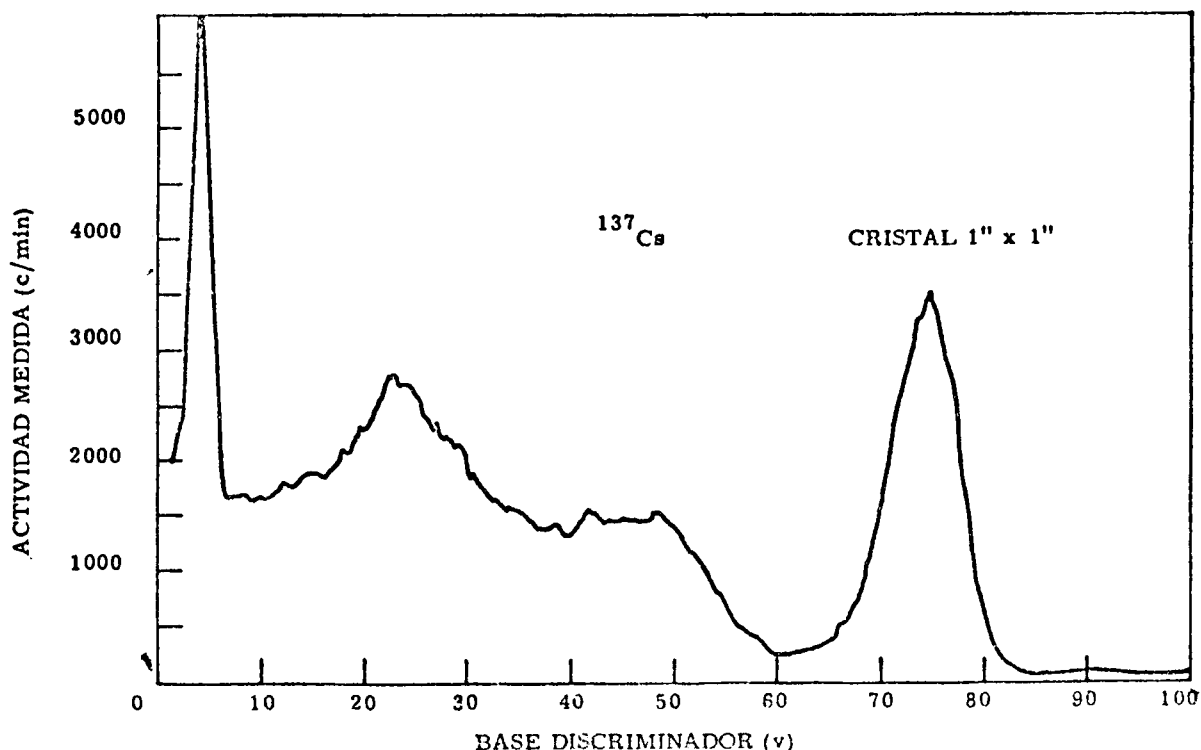


Fig. 5 Efecto del tamaño del cristal en la relación de las áreas fotopico/distribución Compton.

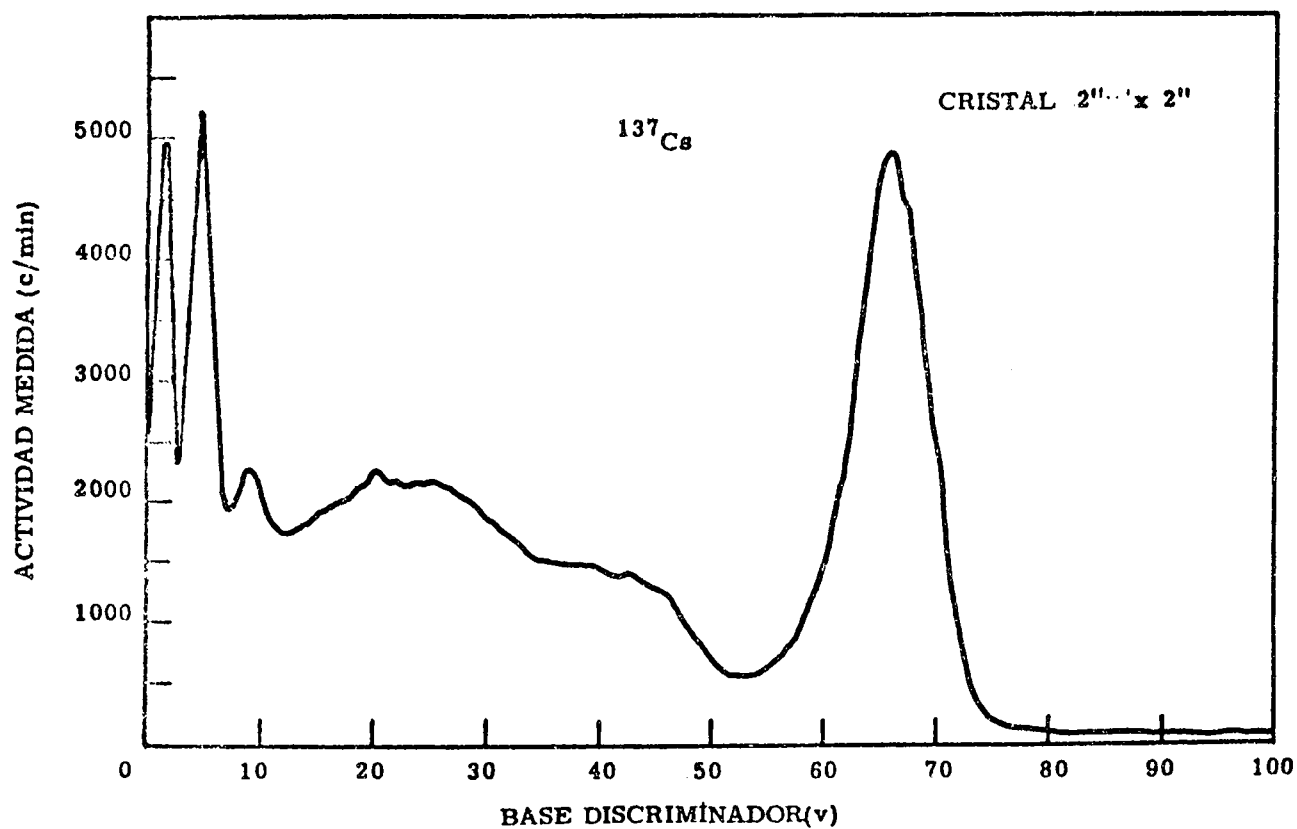


Fig. 6 Efecto del tamaño del cristal en la relación de las áreas fotopico/distribución compton.

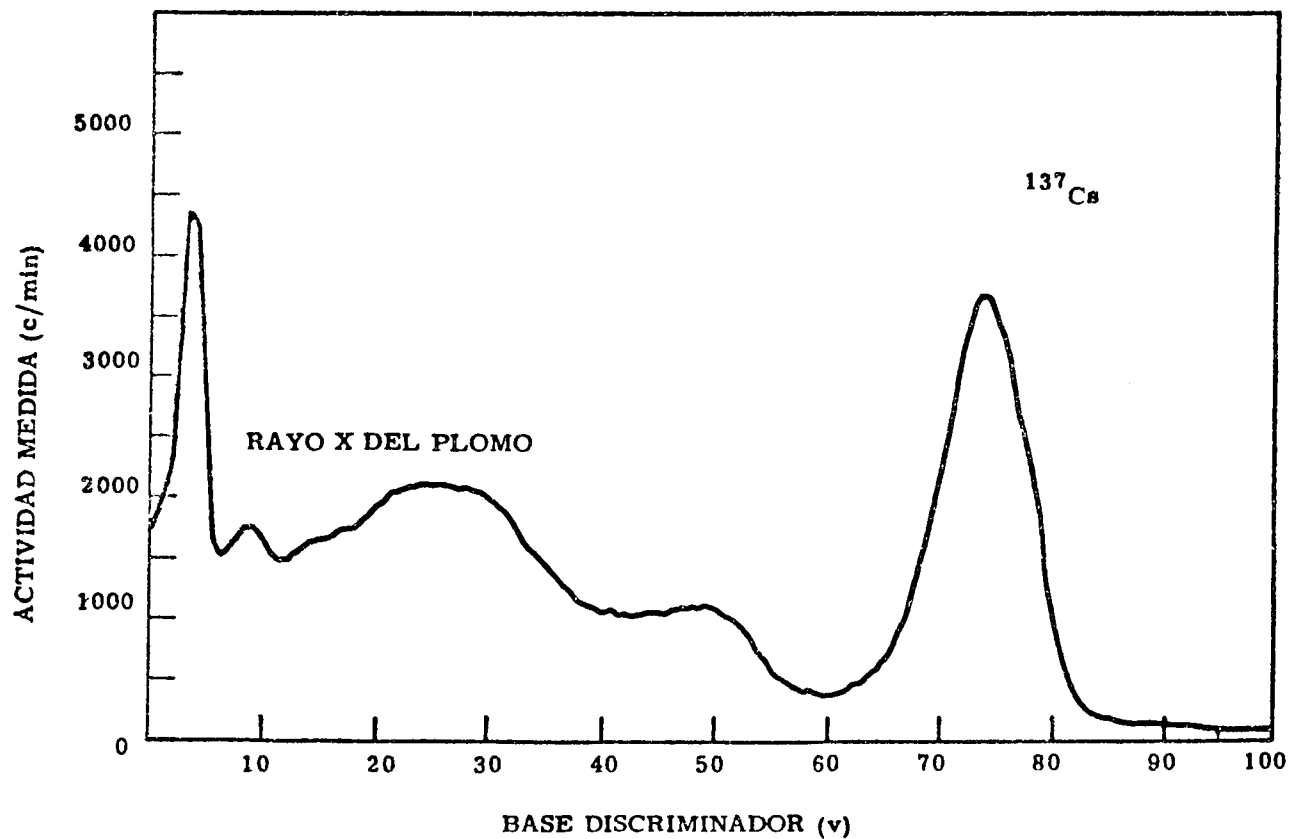
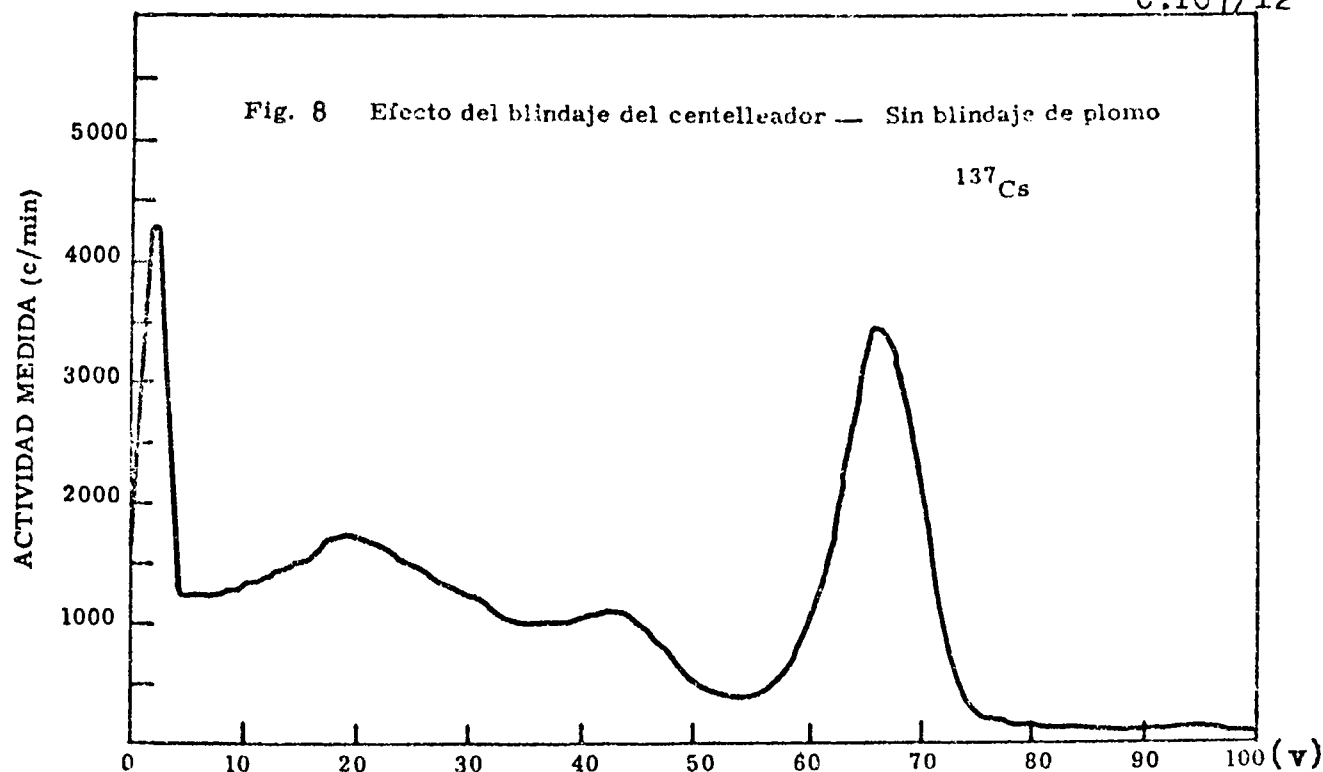
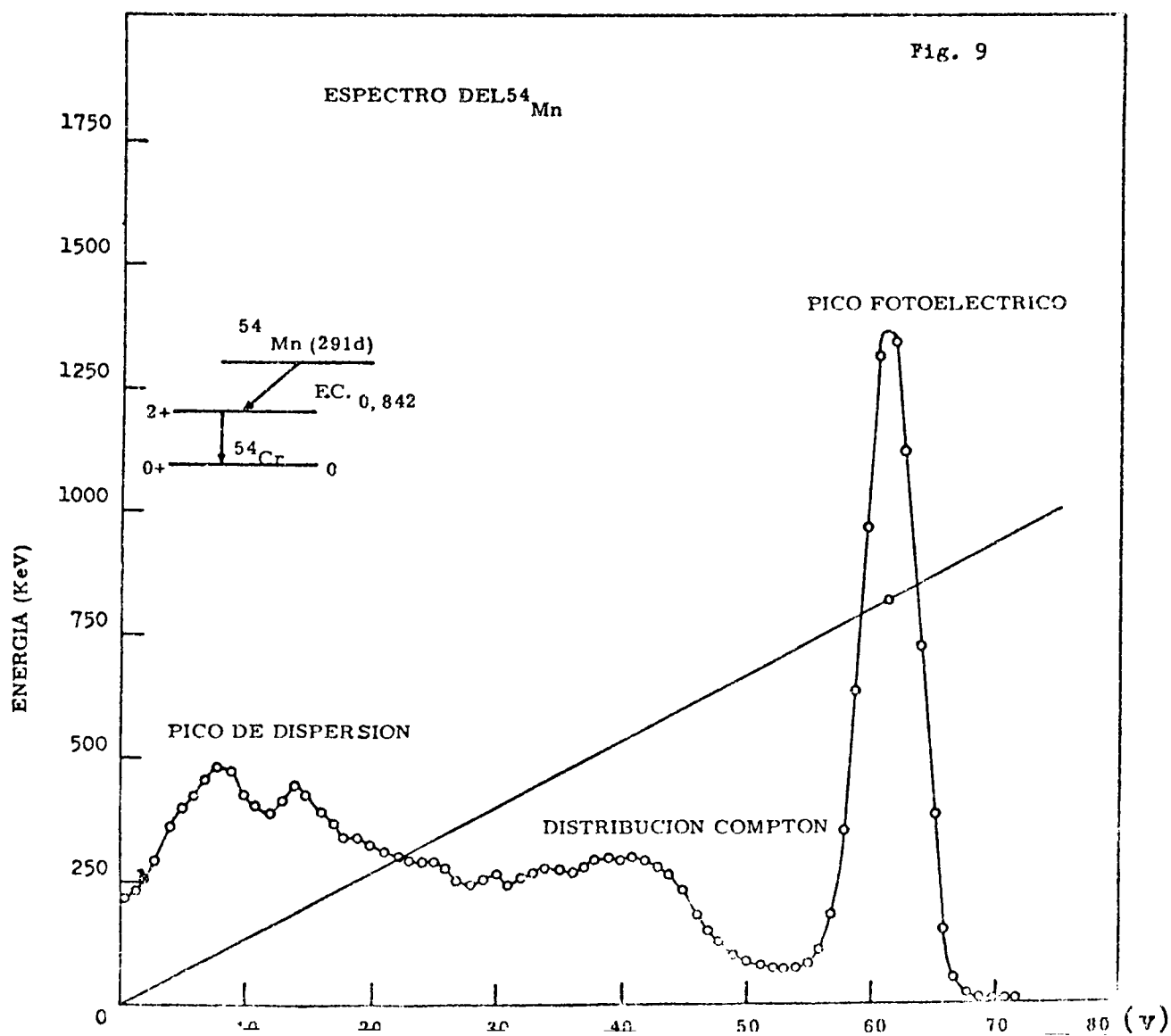


Fig. 7 Efecto del blindaje del centelleador — Con blindaje de plomo



Desde que la altura del impulso es proporcional a la energía entregada al centelleador, podemos pasar del gráfico representado en la fig. 4 al de la fig. 9.



Por otro lado se sabe, que la altura de los impulsos que originan el pico fotoeléctrico es proporcional a la energía de la radiación gamma del nucleído utilizado, de ahí que disponiendo de nucleídos cuyas energías gamma se conocen se puedan lograr gráficos similares a los de la fig. 10, quedando mediante la utilización de los picos fotoeléctricos, el instrumento calibrado en energías según se indicará más adelante.

Si los impulsos de salida no tienen suficiente altura para ser registrados, pasan a un preamplificador y de ahí a un amplificador. Suficientemente amplificados pasan al discriminador.

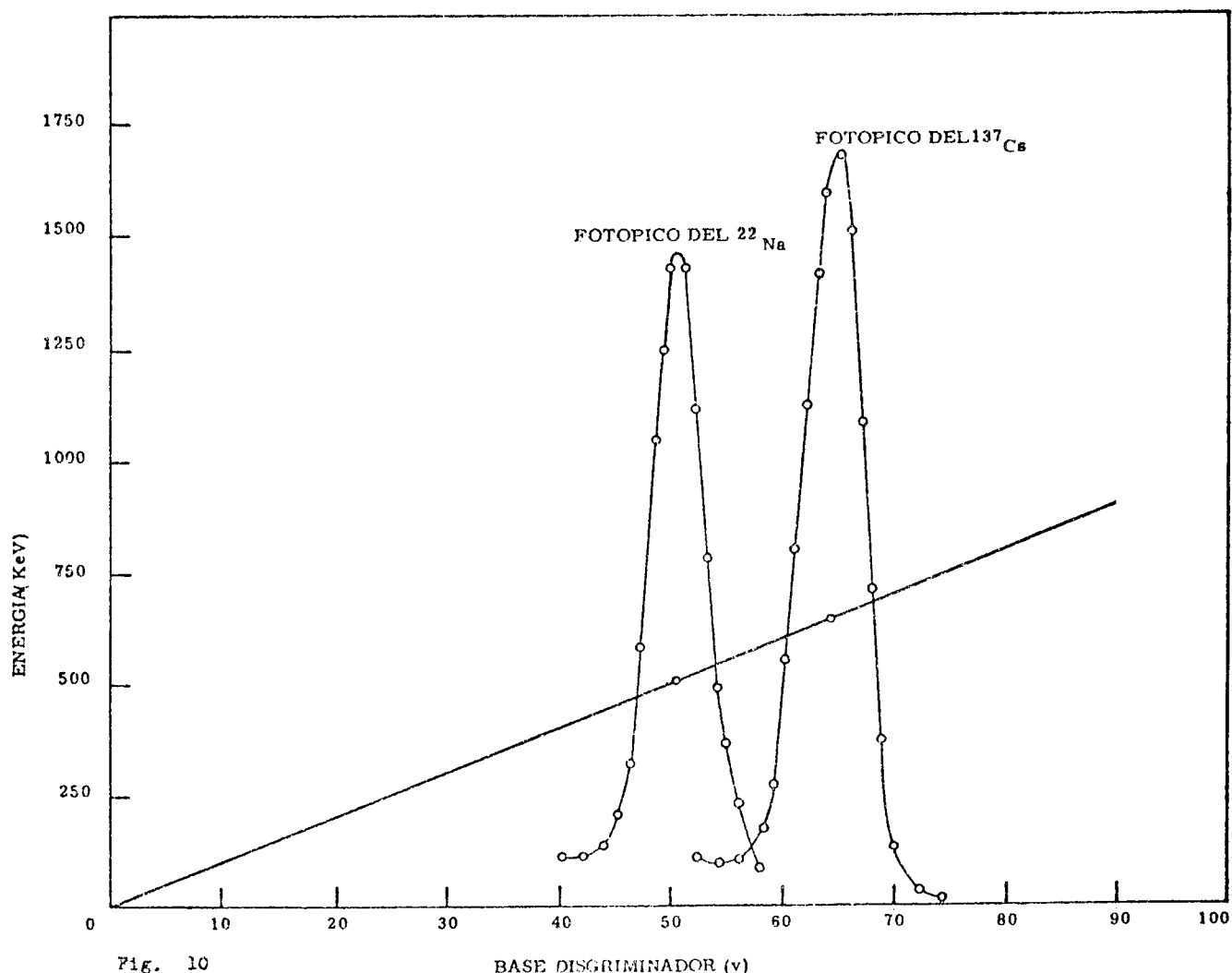


Fig. 10

BASE DISCRIMINADOR (v)

Existen dos tipos de discriminadores:

- a) Espectrómetro.
- b) Discriminador simple.

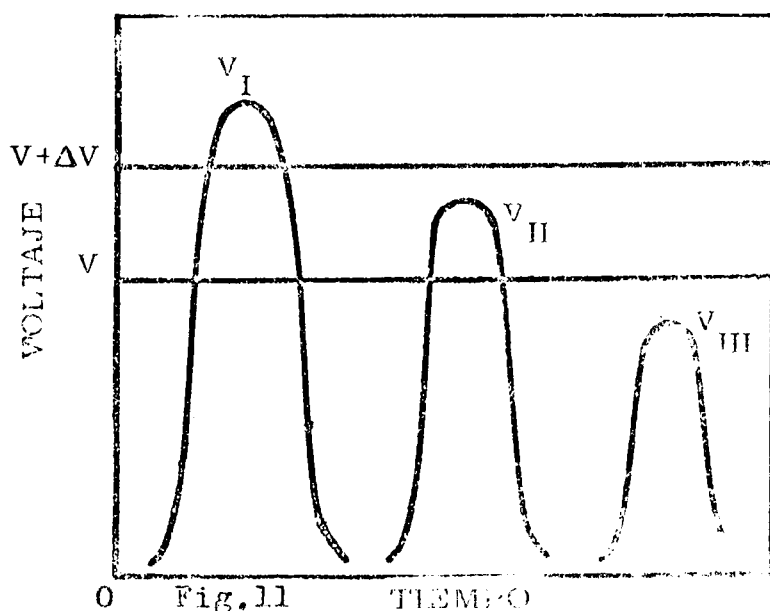
Con el espectrómetro se obtienen gráficos diferenciales (espectros) similares a los de la fig. 4.

El principio del espectrómetro en su esencia es el siguiente: se trata de un dispositivo electrónico que deja pasar impulsos comprendi

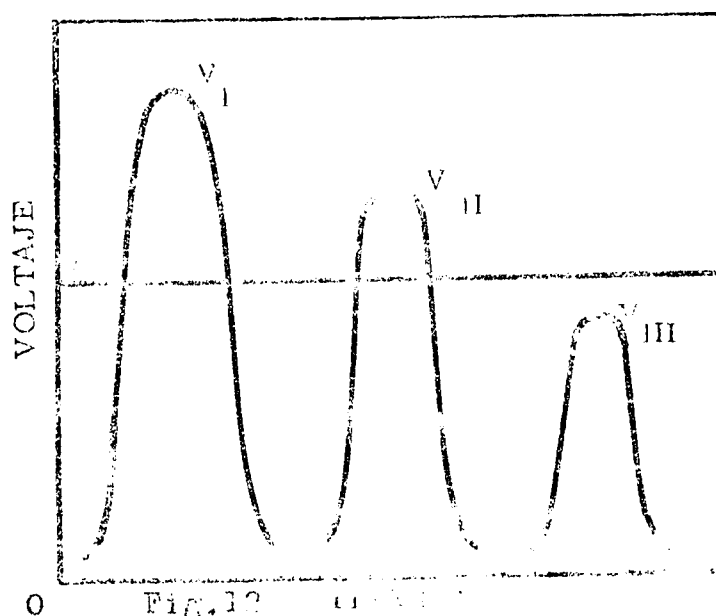
dos entre dos valores de voltaje: V , voltaje de base (que en algunos espectrómetros puede tomar valores de 1 voltio a 100 voltios) y $V + \Delta V$,

ΔV puede tomar, según se desee, distintos valores (1 voltio, 2 voltios, 5 voltios y 10 voltios en general). Al valor ΔV se le suele llamar "ancho de canal" o "ventana". Supongamos haber fijado la base en V voltios, y que la radiación gamma haya dado lugar a impulsos de distinta amplitud (según el tipo de interacción), para ejemplificar seleccionemos tres impulsos, de alturas V_I , V_{II} y V_{III} voltios respectivamente (fig. 11), el espectrómetro impedirá que los impulsos de alturas V_I y V_{III} se registren, en cambio el impulso de la altura V_{II} se registrará.

Si se fija el valor ΔV y se va variando el voltaje de base V , y en un gráfico milimetrado se indican en abscisas los distintos valores de V y en ordenadas el número de impulsos obtenidos a esos distintos valores de base, se obtendrá un gráfico similar al de la fig. 4.



El discriminador simple es un dispositivo que sólo deja pasar impulsos de alturas mayores que un cierto valor fijado por la base (fig. 12), por lo tanto los impulsos de alturas V_I y V_{II} serán registrados, el impulso de altura V_{III} , no.



Si se va variando el voltaje de base V , y en un gráfico milimetrado se indican en abscisas los distintos valores de base (V) y en ordenadas el número de impulsos obtenidos a esos distintos valores de base, se obtienen gráficos similares a los de las figs. 13, 14 y 15.

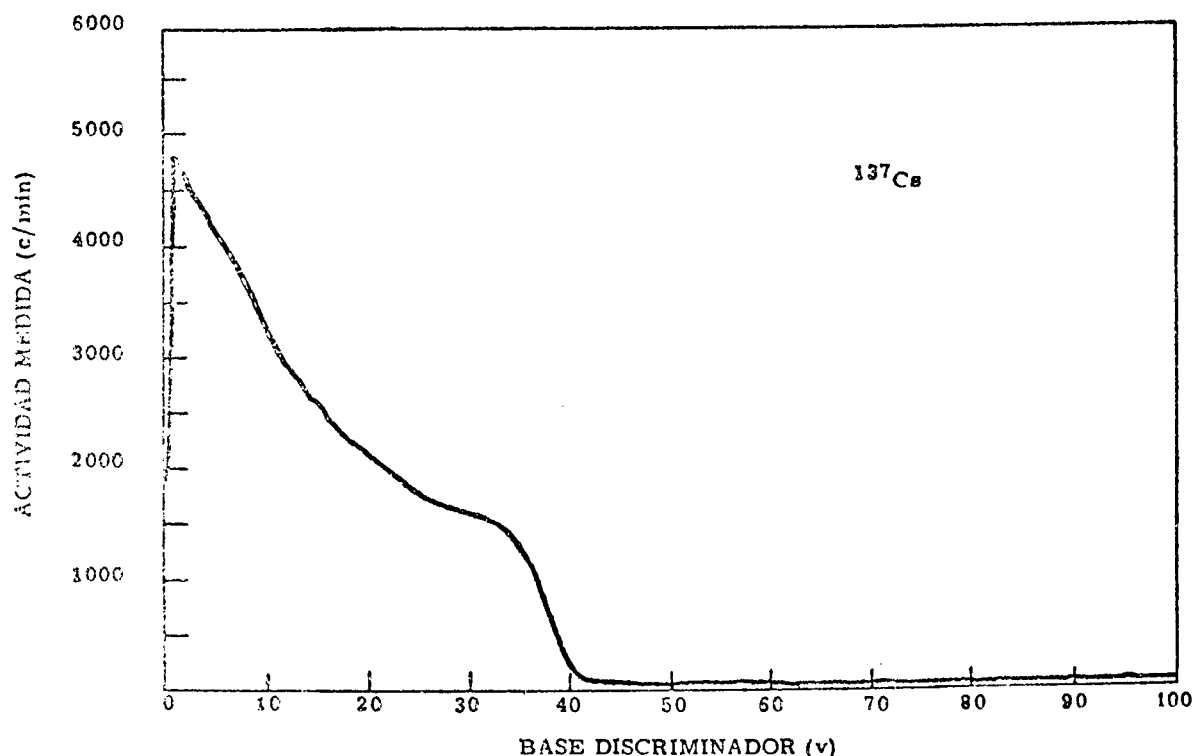


Fig 13 Medida con centelleador y discriminador simple

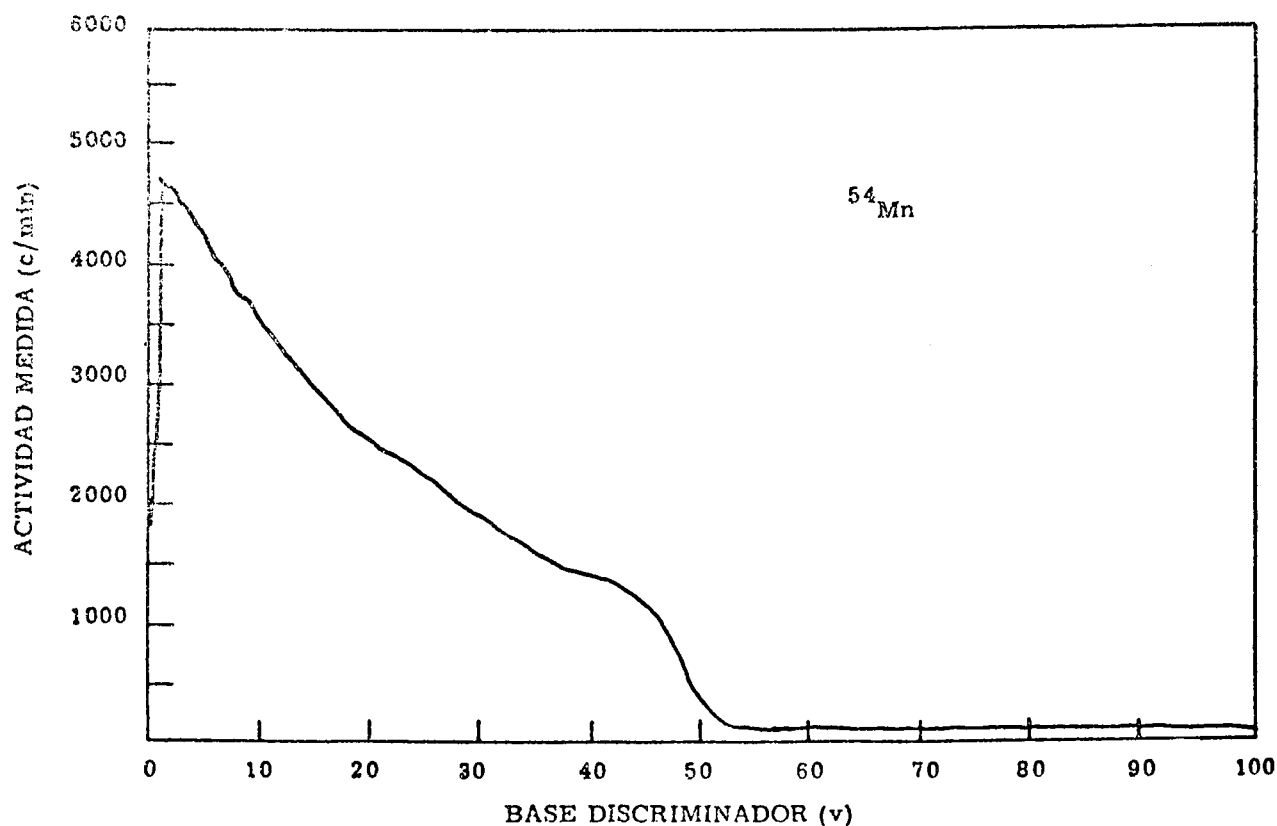


Fig 14 Medicion con centelleador y discriminador simple

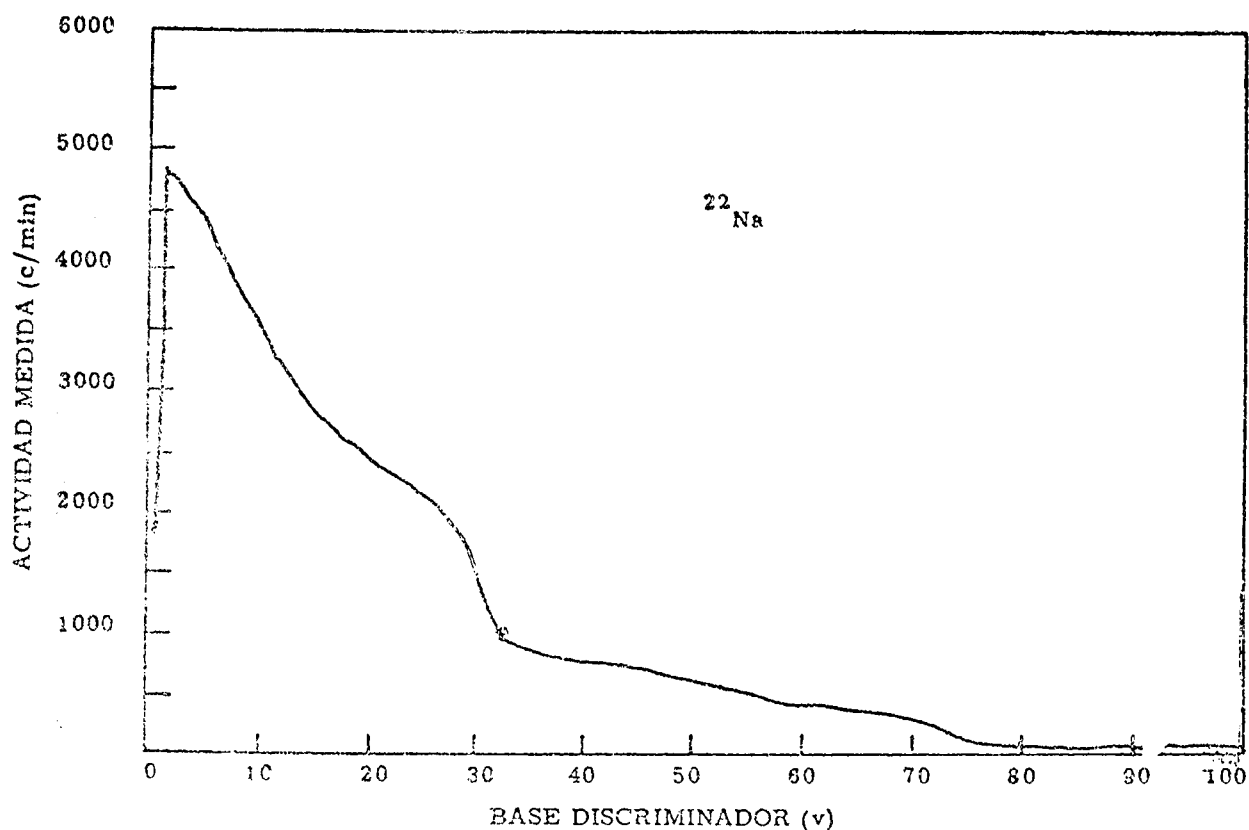


Fig. 15 Medición con centelleador y discriminador simple

Mediante una calibración del equipo con nucleidos de energías gamma conocidas, podremos obtener un gráfico similar al de la fig. 16.

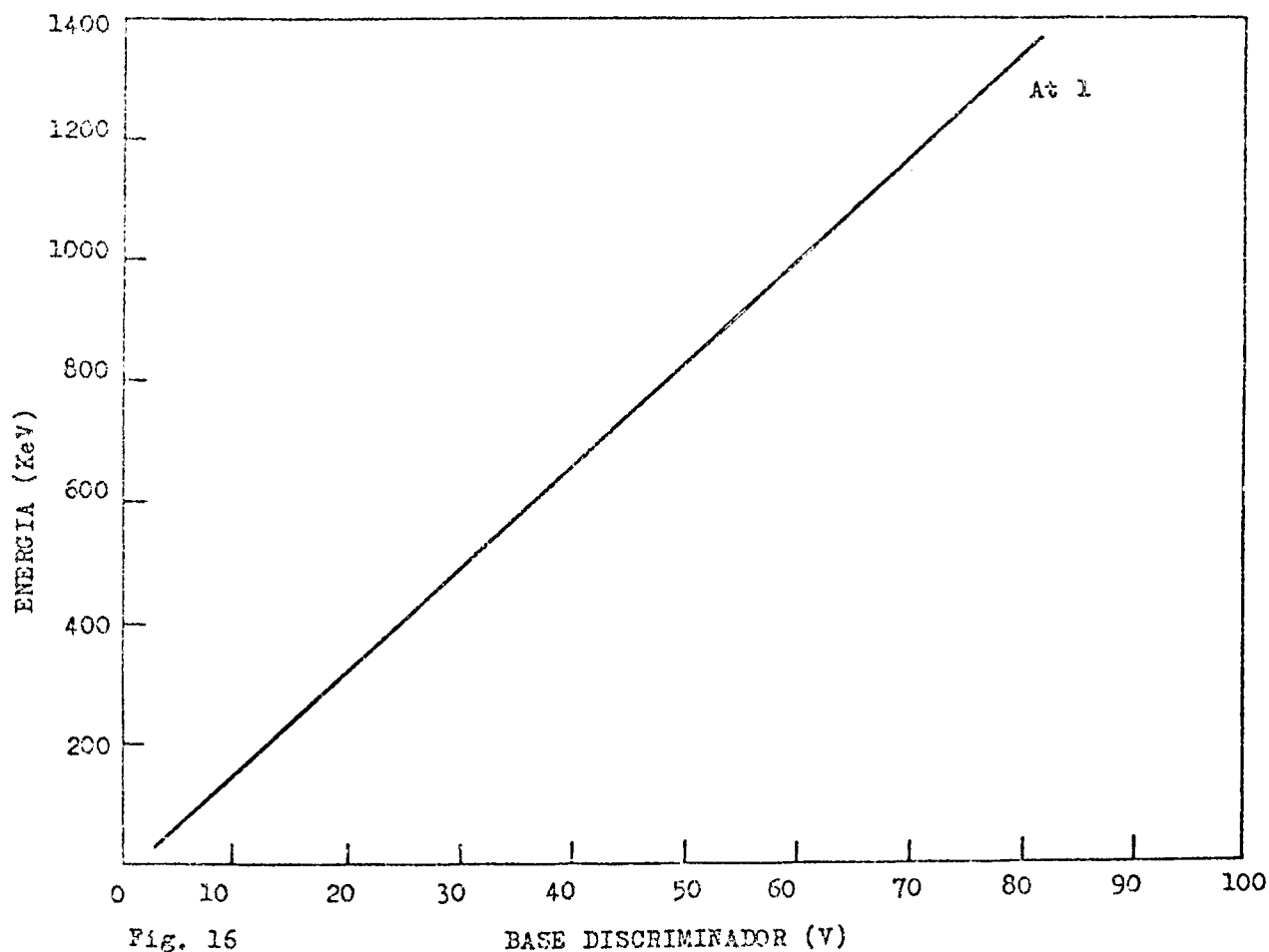


Fig. 16

Otra variable de los equipos es la atenuación. La atenuación indica el grado de amplificación de los impulsos a la salida del amplificador. De ahí que si nosotros representamos las mismas variables que las indicadas en las figs. 10 y 16 a distintas atenuaciones obtendremos gráficos similares al de la fig. 17.

La recta obtenida con una atenuación At 0 corresponde a la mayor amplificación del impulso, y la obtenida con una atenuación At 2 a la mínima amplificación que se le puede dar al mismo.

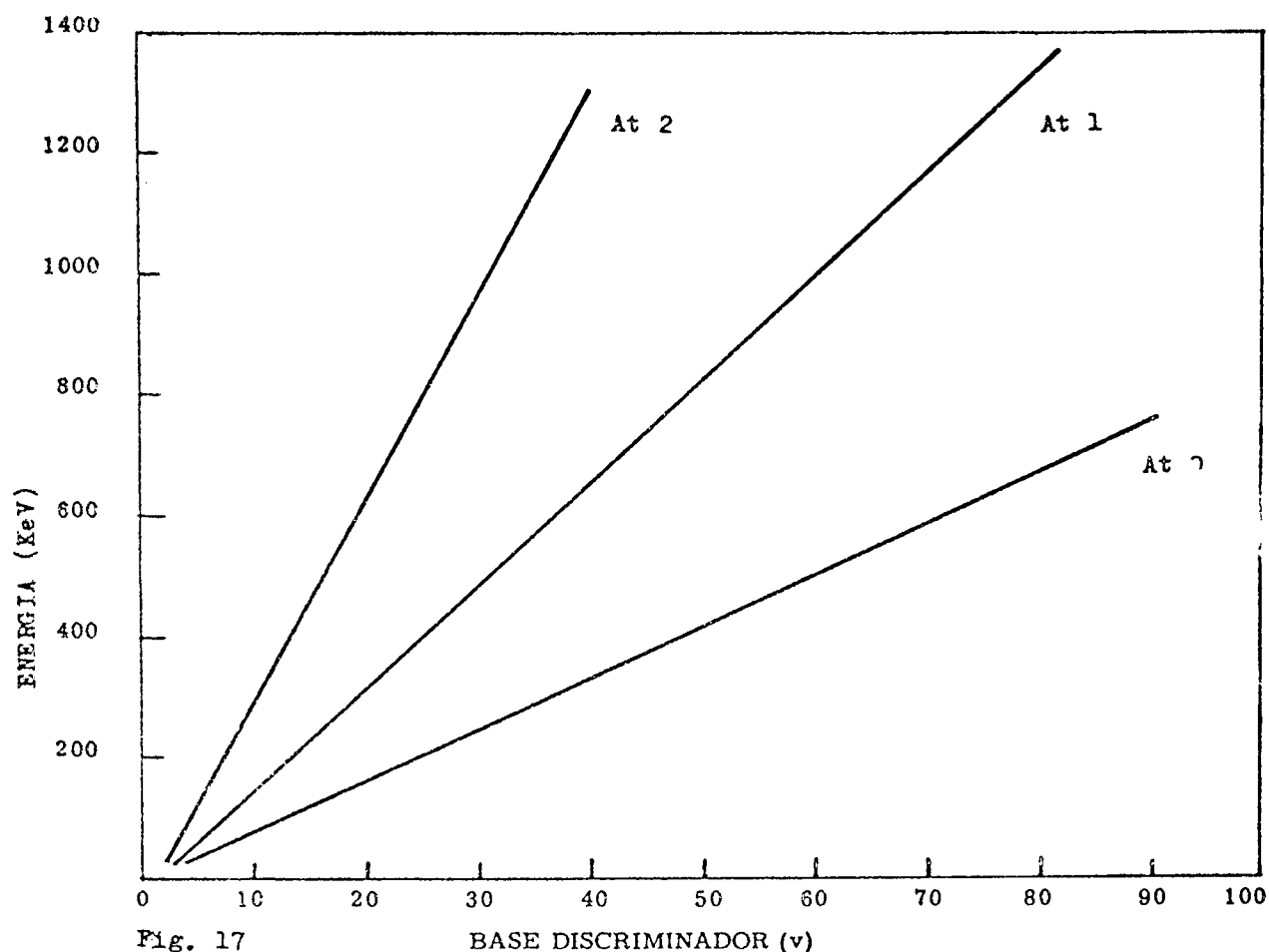


Fig. 17

PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizará un centelleador de Ioduro de Sodio activado con Talio, en un caso tendrá acoplado entre los equipos electrónicos auxiliares un espectrómetro, por lo tanto se podrán obtener espectros. En otro caso tendrá intercalado un discriminador simple.

Con el espectrómetro se tratará de:

- Determinar el pico fotoeléctrico, el pico Compton y el pico de dispersión de una fuente activa.
- Determinar la influencia que pueda tener sobre el espectro anterior, la geometría y medio que rodea a la muestra.
- Calibrar el equipo, vale decir, encontrar la correspondencia entre el voltaje base del discriminador y la energía de la

radiación gamma, detectada a distintas atenuaciones, manteniendo constante el ancho de canal o ventana.

- d) Determinar el fondo a distintos voltajes de base del discriminador manteniendo constante el ancho del canal.
- e) Determinar el poder resolutor, prácticamente se realiza así (ver fig.18): determinar el ancho del pico en voltios a mitad de altura (ΔV), dividir por el voltaje base y multiplicar por 100. Igualmente se puede calcular así: determinar el ancho del pico a mitad de altura, dividir por la distancia del pico al origen y multiplicar por 100.
- f) Medir la actividad relativa y absoluta de un nucleído gamma emisor, utilizando un patrón calibrado.

La determinación de la actividad de una fuente activa (f) se hará comparando el área del pico fotoeléctrico del nucleído patrón con el área del pico fotoeléctrico del nucleído cuya actividad se quiere determinar. Para obtener dichas áreas se empleará el método indicado por Health, según el cual el área del fotopico está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Area} = h \times a$$

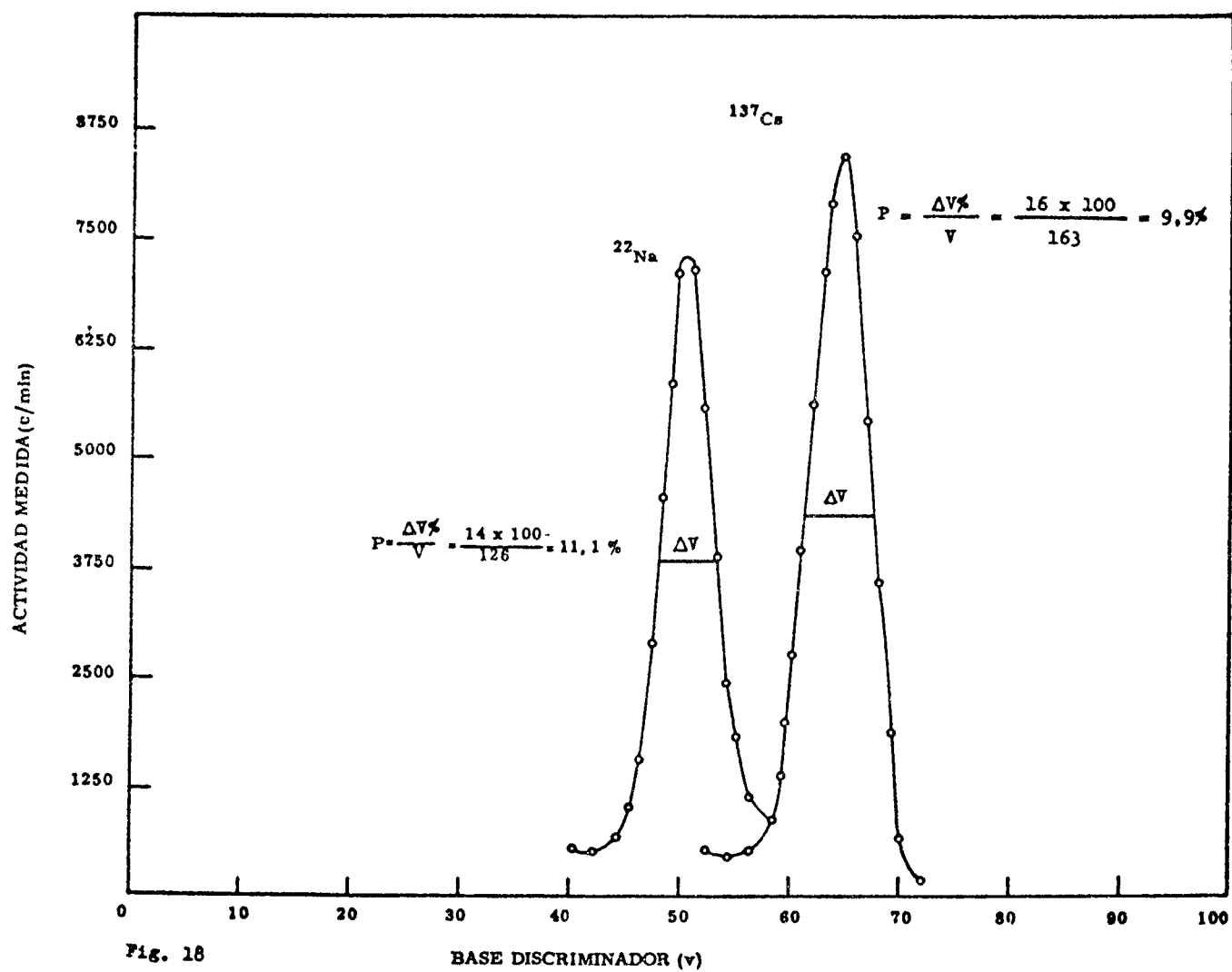
siendo:

h: altura del fotopico.

a: ancho del fotopico a mitad de altura.

Con el discriminador simple se tratará de:

- a) Teniendo en cuenta la calibración anterior del equipo realizada según (c), elegir el voltaje óptimo para medir en forma relativa o absoluta la actividad de un nucleído gamma emisor, mediante la comparación con un patrón calibrado.



DATOS EXPERIMENTALES

REALIZACION DE UN ESPECTRO

FECHA

ESPECTROMETRO

TIPO DE CENTELLEADOR

TAMAÑO DEL CENTELLEADOR

TENSION DE TRABAJO

ATENUACION

ANCHO DE CANAL O VENTANA

FUENTE ACTIVA UTILIZADA

DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

GEOMETRIA

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	CUENTAS/MINUTO

- En papel milimetrado indicar en abscisas las tensiones de base y en ordenadas las actividades obtenidas.
- Localizar el pico fotoeléctrico, el Compton y el pico de dispersión.

INFLUENCIA DE LA GEOMETRIA

FECHA

ESPECTROMETRO

TIPO DE CENTELLEADOR

TAMAÑO DEL CENTELLEADOR

TENSION DE TRABAJO

ATENUACION

ANCHO DE CANAL

FUENTE ACTIVA

DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

GEOMETRIA

TENSION DE BASE (Posición del discriminador)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	<u>CUENTAS</u> MINUTO

- Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas las tensiones de base y en ordenadas las actividades obtenidas.
- Comparar con el espectro anterior del mismo nucleído realizado con otra geometría. Sacar conclusiones.

CALIBRACION DEL ESPECTROMETRO A DISTINTAS ATENUACIONES

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL O VENTANA
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	CUENTAS/MINUTO

Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	CUENTAS/MINUTO

Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	CUENTAS/ MINUTO

- Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.
- Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas los voltajes de base en los cuales se localizaron los picos fotoeléctricos de tres nucleídos y en ordenadas los valores de las energías gamma de los mismos, que dieron origen a dichos picos fotoeléctricos.

FECHA

ESPECTROMETRO

TIPO DE CENTELLEADOR

TAMAÑO DEL CENTELLEADOR

TENSION DE TRABAJO

ATENUACION

ANCHO DE CANAL

NUCLEIDO UTILIZADO

DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	<u>CUENTAS</u> MINUTO

Representar en papel milimetrado indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins)	CUENTAS/MINUTO

Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

TENSION DE BASE (Posición del discriminador) (voltios)	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins.)	<u>CUENTAS</u> MINUTO

- a) Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas tensiones de base y en ordenadas actividades medidas.
- b) Representar en papel milimetrado, indicando en abscisas los voltajes de base en los cuales se localizaron los picos fotoeléctricos de tres nucleídos, y en ordenadas los valores de las energías gamma de los mismos, que dieron origen a dichos picos fotoeléctricos.

DETERMINACION DEL PODER RESOLUTOR

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \times 100}{V}$$

NUCLEIDO UTILIZADO

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

NUCLEIDO UTILIZADO

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

FECHA
 ESPECTROMETRO
 TIPO DE CENTELLEADOR
 TAMAÑO DEL CENTELLEADOR
 TENSION DE TRABAJO
 ATENUACION
 ANCHO DE CANAL
 NUCLEIDO UTILIZADO
 DISTANCIA DE LA FUENTE ACTIVA AL CENTELLEADOR

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

NUCLEIDO UTILIZADO

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

NUCLEIDO UTILIZADO

$$\text{PODER RESOLUTOR} = \frac{\Delta V \cdot 100}{V}$$

DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ABSOLUTA DE UNA
FUENTE ACTIVA UTILIZANDO UN ESPECTROMETRO

FECHA

ESPECTROMETRO

TIPO DE CENTELLEADOR

TAMAÑO DEL CENTELLEADOR

TENSION DE TRABAJO

ATENUACION

ANCHO DE CANAL

FUENTE ACTIVA

TENSION DE BASE	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins)	<u>CUENTAS</u> MINUTO	EFFECTO CERO CUENTAS TOTALES	ΔT (mins)	EFFECTO CERO <u>CUENTAS</u> MINUTO	<u>CUENTAS</u> MINUTO - EFFECTO CERO

FUENTE PATRON

ACTIVIDAD ABSOLUTA DE LA FUENTE PATRON (A_p)

TENSION DE BASE	TOTAL DE CUENTAS	ΔT (mins)	<u>CUENTAS</u> MINUTO	EFFECTO CERO CUENTAS TOTALES	ΔT (mins)	EFFECTO CERO <u>CUENTAS</u> MINUTO	<u>CUENTAS</u> MINUTO - EFFECTO CERO

AREA DEL PICO FOTOELECTRICO DE LA FUENTE PATRON

$$S_p = h \times a$$

AREA DEL PICO FOTOELECTRICO DE LA FUENTE A DOSAR

$$S = h \times a$$

$$\text{ACTIVIDAD BUSCADA} = \frac{S \times A_p}{S_p}$$

DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ABSOLUTA DE UNA FUENTE ACTIVA
UTILIZANDO UN CENTELLEADOR CON DISCRIMINADOR SIMPLE

FECHA

EQUIPO

DISCRIMINADOR SIMPIE

TIPO DE CENTELLEADOR

TAMAÑO DEL CENTELLEADOR

TENSION DE TRABAJO

TENSION DE BASE, ELEGIDA SEGUN CALIBRACION REALIZADA

DISTANCIA DEL PATRON Y DE LA MUESTRA AL CENTELLEADOR

ACTIVIDAD ABSOLUTA DE LA MUESTRA PATRON, A_p

ACTIVIDAD RELATIVA DE LA MUESTRA PATRON, A'_p

ACTIVIDAD RELATIVA DE LA MUESTRA A DOSAR, A'

$$\text{ACTIVIDAD ABSOLUTA DE LA MUESTRA, } A = \frac{A_p \times A'}{A'_p}$$