



19 ES	11	NUMERO	449.144	10 AI
	21			
	22	FECHA DE PRESENTACION	23-6-76	

**PATENTE DE INVENCION**

60 PRIORIDADES:	22 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO		
Ser. nº 589.807	24-6-1.975	EE.UU. de A.

17 FECHA DE PUBLICIDAD	61 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	H01Y	

64 TITULO DE LA INVENCION
PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA DETECTAR RADIACION COMBINADA NEUTRONICA Y GAMMA Y DISTINGUIRLAS ENTRE SI.

71 SOLICITANTE (S)
UNITED STATES ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
Washington, District of Columbia 20545, EE.UU. de A.

72 INVENTOR (ES)
Travis P. Stuart, Wilbur John Tipton.

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE
D. JAIME GOMEZ-ACEBO y MODET.

Este invento se refiere a detección de radiaciones y de un modo más particular a un sistema de detección de radiaciones que puede detectar sucesos de radiaciones gamma y neutrónicas y discriminarlos entre sí.

5. La detección de neutrones en presencia de un flujo grande asociado de rayos gamma ha presentado siempre un problema difícil.

10. Una forma de enfocar el problema ha sido utilizar un tipo de detector, por ejemplo un contador proporcional  $\text{BF}_3$ , que es intrínsecamente sensible a los rayos gamma. Otra forma de enfocar el problema ha sido utilizar un material protector rico en H alrededor de un detector para reducir el flujo gamma captado realmente por el detector.

15. Existe muchas ocasiones en que es necesario detectar de una fuente de radiación la contribución de neutrones y de rayos gamma. Con anterioridad a este invento, esta operación se ha conseguido en general utilizando un par de detectores, uno para detectar los neutrones y el otro para los rayos gamma. No obstante, cuando el reconocimiento de las radiaciones de una fuente ha de realizarse desde un avión, helicóptero, o aparato similar, las exigencias de espacio y/o peso de un doble sistema pueden imponer graves limitaciones en la misión de reconocimiento.

25. Por consiguiente, el presente invento está dirigido a un detector de neutrones -rayos gamma en combinación que puede completar en esencia la separación entre neutrones y rayos gamma pero manteniendo una gran eficacia con respecto a ambos. La reducción en las exigencias de peso y de espacio que ofrece el detector en combinación según el invento sobre los sistemas dobles disponibles anteriormente hace que

30.

sea particularmente conveniente para ser incorporado en sistemas de reconocimiento radiológico aéreo. El detector, según el invento tiene una gran eficacia por tamaño y/o peso con relación a otros sistemas utilizados actualmente para detectar neutrones en presencia de rayos gamma o para detectar neutrones y rayos gamma.

5. Este invento tiene por objeto proporcionar un sistema de detección de radiaciones que es muy eficaz por tamaño y peso. El invento tiene también por objeto proporcionar un sistema de detección de radiaciones capaz de detectar neutrones y rayos gamma. Otro objeto del invento es proporcionar un detector de neutrones -rayos gamma en combinación que puede distinguir entre neutrones y rayos gamma pero manteniendo una gran eficacia con respecto a ambos, Además, otro objeto del invento es proporcionar un sistema de detección de radiaciones de tamaño relativamente pequeño y poco peso y que puede distinguir entre neutrones y rayos gamma.

10. Expuesto brevemente, los objetos anteriores y otros objetos y ventajas del invento se consiguen gracias a un sistema que comprende utilizar un detector para un dispositivo fotomultiplicador que utiliza una combinación de dos materiales luminiscentes, el primero de los cuales escintilla principalmente en respuesta a radiación neutrónica y el segundo de los cuales escintilla principalmente en respuesta a rayos gamma.

15. Una diferencia en las constantes de tiempo de extinción de los dos materiales luminiscentes se utiliza para conseguir discriminación de la forma de los impulsos entre escintilaciones en los dos materiales luminiscentes. La discriminación de la forma de los impulsos se utiliza para contro-

lar un dispositivo de selección de salida, por ejemplo una puerta de coincidencia, para separar la salida del fotomultiplicador en las contribuciones de cada uno de los dos materiales luminiscentes.

5. El detector utiliza una combinación de partículas de vidrio relativamente pequeñas o glóbulos distribuidos en toda una matriz de material de plástico de escintilación. El tamaño de los glóbulos se elige de forma que sean suficientemente grandes para proporcionar una gran probabilidad
10. de absorción de neutrones, pero aun así suficientemente pequeño (y separados a una distancia suficiente) para que el nivel de energía en el cual tiene lugar las escintilaciones correspondientes a acontecimientos gamma sea característicamente muy inferior a las correspondientes a acontecimientos neutrónicos, proporcionando de este modo discriminación de altura de los impulsos. Los
15. glóbulos de vidrio de silicato, activado con cerio y que contienen litio enriquecido con  $^6\text{Li}$ , utilizado junto con una matriz de material de plástico de poliviniltolueno, que se ha enriquecido con material de escintilación, es una combinación particularmente conveniente de materiales luminiscentes para el sistema
20. de detección en combinación según el invento. Los neutrones térmicos se detectan en los glóbulos de vidrio por la reacción  $^6\text{Li}$  (n,  $\chi$ ) t. que tiene un valor Q o energía de desintegración nuclear de 4,79 MeV. La partícula  $\chi$  y tritón se emiten en direcciones opuestas con energías de 2,05 MeV y 2,74 MeV, respectivamente. Como el trayecto libre principal de absorción para neutrones
25. térmicos es normalmente del orden de 0,6 a 0,7 mm para este tipo de vidrio, se pueden alcanzar eficacias de detección neutrónica muy grandes con partículas de vidrio relativamente pequeñas.
30. ñas.

Por otro lado los electrones Compton que surgen de las interacciones gamma en el interior del vidrio tienen un mayor alcance dentro del vidrio que los neutrones de la misma energía equivalente. Por lo tanto, el empleo de partículas de vidrio de tamaño suficientemente pequeños da lugar a una separación de la altura de los impulsos entre neutrones y gamma que tengan la misma energía equivalente.

El poliviniltolueno tiene la capacidad de humedecer los glóbulos de vidrio, proporcionando por lo tanto un buen acoplamiento óptico y facilitando la fabricación del detector en combinación. Además, el índice de refracción del poliviniltolueno es muy próximo al del vidrio, facilitando por lo tanto la transmisión de la luz desde el vidrio al tubo del fotomultiplicador. Como el plástico es un sólido en la gama de temperaturas en la que se utiliza el detector, los glóbulos de vidrio están fijos en su sitio y, por lo tanto, tienen una cierta protección contra choques mecánicos. El plástico se puede formar en una variedad de configuraciones dependiendo de la aplicación particular y debido al alto contenido de hidrógeno del poliviniltolueno, sirve también como moderador para permalizar los neutrones. Con la adición de compuestos químicos de escintilación al poliviniltolueno, se consigue un detector eficaz de rayos gamma que conserve información espectral en los rayos gamma. Por consiguiente, la combinación de discriminación de altura de los impulsos y forma de los impulsos según el invento permite una separación esencialmente completa de los acontecimientos de neutrones y rayos gamma.

Otros objetos y ventajas así como una mayor comprensión del invento se obtendrán al considerar la descripción que sigue de una modalidad de preferencia del mis-

mo con relación a los dibujos adjuntos, en los que;

La figura 1 es una representación parcialmente esquemática y parcialmente diagramática de un aparato para poner en práctica el invento.

5. La figura 2 es un gráfico que ilustra las formas de los impulsos del fotomultiplicados obtenidas de los materiales luminiscentes de vidrio y de plástico utilizando una selección de valores de constante de tiempo RC.

10. La figura 3 es un gráfico que presenta la salida combinada del fotomultiplicador de los materiales luminiscentes de vidrio y de plástico de un aparato según el invento.

15. Las figuras 4 y 5 ilustran las contribuciones por separado del vidrio y del plástico que se combinan en la figura 3, teniendo esta figura así como las figuras 4 y 5, en ordenadas contajer  $\times 10^3$  y en abcisas número de canal.

Puede que sea útil comenzar esta descripción detallada con una revisión general del sistema según el invento junto con los componentes ilustrados en la figura 1 del dibujo. Refiriendones a la figura 1, una combinación de elementos de circuito eléctrico 10 para poner en práctica el invento utilixs un fotomultiplicador 12 con un detector 14 que comprende una pluralidad de partículas o glóbulos de vidrio 15 en una matriz de plástico 16. Los glóbulos de vidrio 15 escintilan principalmente en respuesta a la detección de neutrones y la matriz de plástico 16 escintila en respuesta a la detección de rayos gamma según se expondrá más adelante. Una primera señal de salida 22 procedente del fotomultiplicador 12 se utiliza como señal de entrada 23 a un discriminador de la forma de los impulsos 24. El discriminador de la forma de los impulsos 24 pro-

20.

25.

30.

- porciona una señal de salida 25 que se encuentra en un estado de conmutación cuando la salida 22 del fotomultiplicador se debe a una escintilación en un glóbulo de vidrio 15, y que se encuentra en un segundo estado de conmutación cuando dicha señal de salida 22 se debe a una escintilación en la matriz 16. La señal de salida 25 se utiliza como señal de desconexión cíclica 28 para la puerta de coincidencia 29. Una segunda señal de salida 32 del fotomultiplicador es la señal de entrada 33 a la puerta 29, después de ser amplificada por el amplificador 34, si se desea, o si se considera necesario. Este pasa a ser una de las dos señales de salida 38 o 39, dependiendo de si el estado de conmutación de la señal de desconexión cíclica 29 corresponde a escintilaciones en el vidrio o en el plástico. Las señales de salida 38 o 39 se alimentan a un analizador de canales múltiples 42 para producir representaciones separadas representativas del número de escintilaciones en el vidrio y en el plástico como los gráficos de las figuras 4 y 5, respectivamente, que se expoudrán más adelante.
- Los gráficos de las figuras 2 a 5, son representativos de diversas señales de salida de un circuito detector en el cual el detector 14 del fotomultiplicador 12 se somete a una fuente de  $^{252}\text{Cf}$  moderada que emite neutrones y rayos gamma. El detector 14 comprende partículas 15 de vidrio de escintilación designado como NE 908 en una matriz de polivinilto luenco de escintilación designado NE 102, cuyas composiciones NE 908 y NE 102 son composiciones que se pueden obtener de la Nuclear Enterprises, Inc., de San Carlos California. Las partículas de vidrio se obtiene fracturando una hoja de vidrio y utilizando aquellas partículas que pasan a través de un tamiz que tiene un tamaño de apertura de 1 mm y quedan retenidas sobre un tamiz que

tiene un tamaño de abertura de 1/2 mm. La relación de densidad en peso del plástico al vidrio es del orden de 60:1.

- Una comparación de la curva 40 a 41, 40° a 41° , y 40" a 41" del gráfico de la figura 2 en cuyas abscisas se representa el tiempo en nano segundos sirve para comprender la base sobre la cual se puede hacer la discriminación de la salida del fotomultiplicador 22 para conseguir la señal de desconexión cíclica 28. Un impulso de voltaje de salida V de un tubo fotomultiplicador tiene un tiempo de subida o formación controlado por la constante de extinción  $\tau$  del escintilador y un tiempo de caída determinado por la constante de tiempo RC,  $\tau_c$  del circuito de salida donde R representa la resistencia de carga y C es la capacitancia incluyendo la capacitancia entre electrodos del tubo fotomultiplicador y la capacitancia parásita.
5. Como las constantes de extinción para los materiales luminiscentes de vidrio y de plástico son en esencia sensiblemente diferentes, v.g, 75 nsec vis a vis 2, 4 nsec respectivamente, para el vidrio y el plástico particulares e identificados anteriormente el impulso de voltaje de salida del fotomultiplicador es de una forma significativamente diferente para los dos materiales luminiscentes en una gama de valores  $\tau_c$ , permaneciendo otros factores constantes. Las seis curvas de la figura 2 son para el impulso en el ánodo de un fotomultiplicador normal para los dos materiales luminiscentes a tres valores diferentes de  $\tau_c$ , tales como  $\tau_{c1} = 180 \mu$  segundos,  $\tau_{c2} = 120 \mu$  segundos y  $\tau_{c3} = 9 \mu$  segundos (determinados por los valores de resistencia del resistor regulador de carga RL, tales como  $R_{L1} = 1 M \Omega$ ,  $R_{L2} = 600 \Omega$  ,  $R_{L3} = 50 \Omega$  permaneciendo C constante). Estas curvas son representaciones gráficas de la ecuación :
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\tau c}{\tau_0 - \tau} \left( e^{-t/\tau_0} - e^{-t/\tau} \right)$$

donde

$$V_0 = \frac{Q_T}{c} \quad \text{y} \quad Q_T ;$$

es proporcional a la energía total depositada en el escintilador.

Según resultará evidente por las curvas de la figura 2, existe un cierto número de formas particulares de enfocar el problema que podrían emplearse en el discriminador de formas de los impulsos 24 para discriminar la señal de salida 22 entre escintilaciones en el vidrio G y en el plástico P. Dichas formas de enfocar el problema podrían emplear las diferencias de amplitud, diferencias del tiempo de subida o de formación, u otras características de las curvas.

La curva 44 de la figura 3 es una representación de una imagen del analizador de canales múltiples de la salida del fotomultiplicador 12 según se alimenta como señal de entrada 33 a la puerta 29. La curva 44 es una curva compuesta de las escintilaciones producidas en ambos materiales luminiscentes. Las curvas 45 de la figura 4 y 46 de la figura 5, son, por otro lado, representaciones del analizador de canales múltiples de la señal de salida del vidrio 38 y la señal de salida del plástico 39 procedentes de la puerta de coincidencia 29. El impulso 48 de la figura 4 representa las escintilaciones causadas por neutrones en el vidrio, que se distinguen también como impulso 48' en la curva compuesta 44, mientras que el impulso parcial 49, que termina al nivel del ruido, representa

5. principalmente las escintilaciones en los glóbulos de vidrio debidas a electrones Compton creadas por rayos gamma de baja energía. La discriminación de altura de los impulsos conseguida por los glóbulos de vidrio del detector 12 aparece evidente en la curva 45.

10. La configuración óptima del detector 12 comprendería una separación uniforme de glóbulos de vidrio de un tamaño y a una distancia que aumentaría al máximo la captura de los neutrones en el vidrio y reduciría al mínimo las escintilaciones en el vidrio debido a electrones Compton de origen gamma. Los glóbulos de vidrio en una gama de tamaños de aproximadamente 25 mm a algo menos de unos 3 mm proporcionarían resultados utilizables para aplicaciones particulares. La densidad de carga utilizable para cualquier aplicación particular se determinaría por características del flujo gamma en cuestión. A pesar de que, en teoría, serían preferibles los glóbulos de configuración esférica, se ha obtenido un comportamiento satisfactorio con glóbulos de vidrio o partículas obtenidas simplemente fracturando una hoja de vidrio de la composición química deseada y clasificando las partículas resultantes de formas aleatorias mediante tamices para obtener la gama de tamaños deseada para la aplicación particular.

15. Las salidas 22 y 32 pueden tomarse desde el fotomultiplicador 12 en cualquier lugar conveniente. En una modalidad del invento, la salida 22 se tomó del ánodo y la salida 32 del último dinodo, que era el décimo cuarto en el fotomultiplicador particular empleado. El lugar en el cual se obtienen estas salidas, como es lógico, afectará el grado de amplificación, si lo hubiera, requerido por el amplificador 34

30. o antes de la discriminación de la forma de los impulsos 24.

A pesar de que lo anterior describe las características fundamentales de novedad del invento aplicadas a una modalidad de preferencia, se comprenderá que los expertos en la materia pueden realizar diversas omisiones, sustituciones y/o cambios dentro de los principios y alcance del invento según se expresa en las reivindicaciones adjuntas.

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.

REIVINDICACIONES

5. 1a.- Procedimiento y aparato para detectar radiación combinada neutrónica y gamma y distinguirles entre sí, cuyo procedimiento esta caracterizado porque comprende en una primera etapa utilizar un detector para un fotomultiplicador, cuyo detector comprende un primer material luminiscente que escintila principalmente en respuesta a radiación neutrónica y un segundo material luminiscente que escintila principalmente en respuesta a radiación gamma, en una segunda etapa utilizar una característica distintiva de las escintilaciones de dichos primer y segundo materiales luminiscentes para producir una señal en respuesta a las escintilaciones de uno de dichos materiales luminiscentes, y en una tercera etapa manipular un dispositivo de selección de señal de salida en el cual una señal de salida del fotomultiplicador se ha introducido como una señal de entrada mediante la citada señal para producir una señal de salida desde dicho dispositivo de selección de señal de salida correspondiente a las escintilaciones del primer material luminiscente.
10. 2a.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el primer material es un vidrio activado con cerio y que contiene litio enriquecido con  $^6\text{Li}$ .
15. 3a.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el segundo material es un plástico.
20. 4a.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque el primer material tiene la forma de partículas de vidrio con un tamaño suficientemente grande para proporcionar una gran probabilidad de absorción de neutrones y suficientemente pequeño para reducir la altura de los impul-
25. 30.

son debidos a interacciones gamma en el vidrio.

5. 5a.- Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque el plástico es poliviniltolueno activado con un material de escintilación y forma una matriz para las partículas de vidrio que tienen una gama de tamaños comprendidos entre 0,25 mm y 3 mm.

10. 6a.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha característica distintiva es la constante de extinción de cada uno de los materiales luminiscentes y dicha señal se produce en respuesta a discriminación de la forma de los impulsos de una señal de salida, de voltaje-tiempo del fotomultiplicador.

15. 7a.- Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque la segunda señal se produce en respuesta a escintilación del otro de dichos materiales luminiscentes y el dispositivo de selección de la señal de salida es una puerta de coincidencia, cuya salida corresponde a escintilaciones de dicho primer material luminiscente cuando es manipulado por dicha primera señal y corresponde a escintilaciones del segundo material luminiscente cuando es manipulado por la segunda señal.

20. 8a.- Aparato para la realización del procedimiento según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende un fotomultiplicador; un detector para dicho fotomultiplicador, que comprende un primer material que escintila principalmente en respuesta a radiación de neutrones y un segundo material que escintila principalmente en respuesta a radiación gamma; un dispositivo discriminador, que funciona conectado a una salida del multiplicador para producir una señal en respuesta a la escintilación de uno de dichos materiales; un dispositivo de puerta, que funciona conectado a la salida del dispo-

30.

sitivo discriminador y a otras salidas del fotomultiplicador, para producir una señal de salida correspondiente a las escintilaciones del primer material.

5. 9a.- Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque el primer material es un vidrio activado con cerio y que contiene litio enriquecido con  $^6\text{Li}$  en forma de partículas en una gama de tamaños desde aproximadamente 0,25 mm hasta menos de aproximadamente 3 mm.

10. 10a.- Aparato según la reivindicación 9, caracterizado porque el segundo material es un material de plástico activado con materiales de escintilación.

15. 11a.- Aparato según la reivindicación 8, caracterizado porque el discriminador produce una segunda señal en respuesta a escintilaciones en el segundo material y el dispositivo puerta es una puerta de coincidencia y produce una segunda señal de salida correspondiente a escintilaciones de otro material.

20. 12a.- Aparato según la reivindicación 11, caracterizado porque las dos salidas del fotomultiplicador se toman del ánodo y el último ánodo del mismo, dicho primer material es un vidrio activado con cerio y que contiene litio enriquecido con  $^6\text{Li}$  en forma de partículas con una gama de tamaños desde aproximadamente 0,25 mm hasta menos de aproximadamente 3 mm en dispersión dentro de una matriz del segundo material que es un poliviniltolueno enriquecido con material de escintilación.

30. 13a.- Procedimiento y aparato para detectar radiación combinada neutrónica y gamma y distinguir las entre si, tal y como queda sustancialmente descrita en la presente memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

Esta memoria consta de catorce hojas  
escritas a máquina por una sola cara.

77 SET. 1976

Madrid

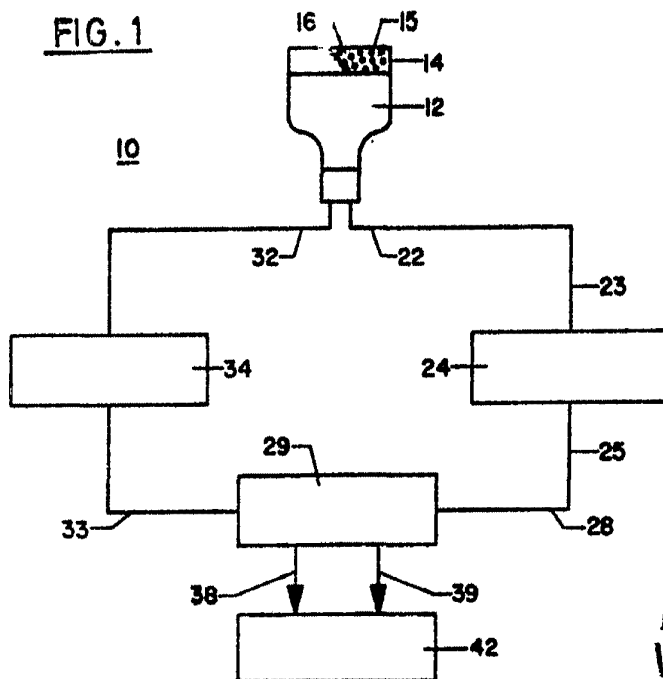
UNITED STATES ENERGY RESEARCH  
AND DEVELOPMENT ADMINISTRATION

OSCAR TORRES Y HERRERA

Firmado: L. Goeta Forcadell



FIG. 1



ESCALA VARIABLE

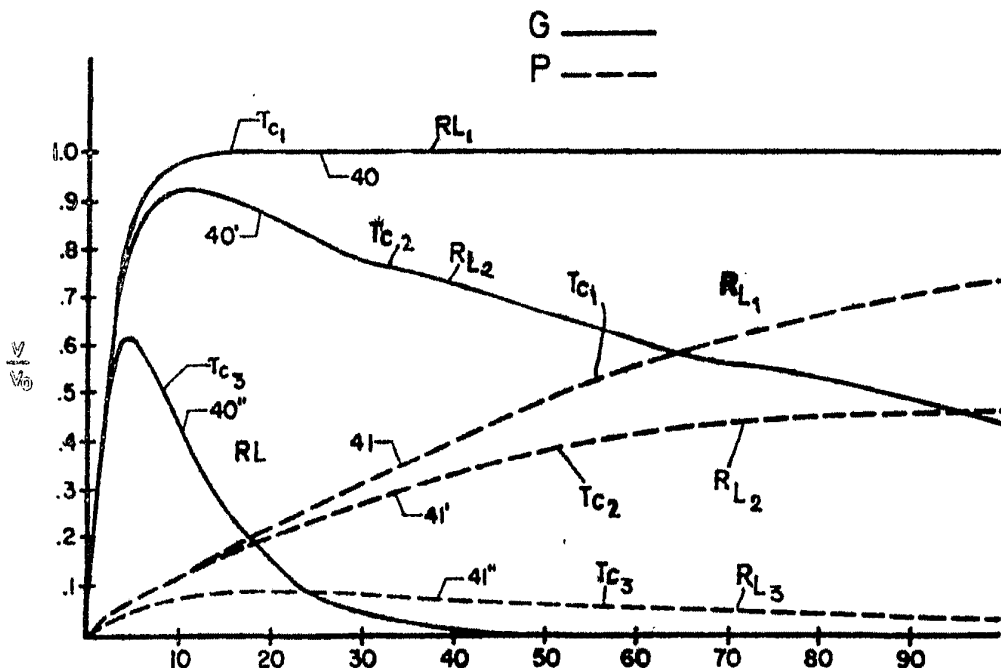
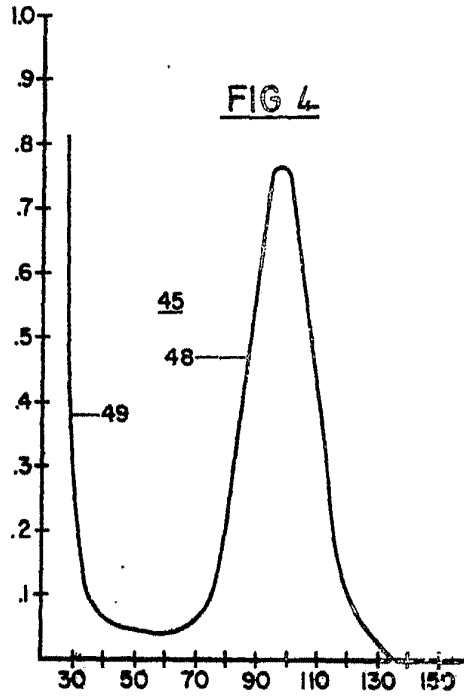
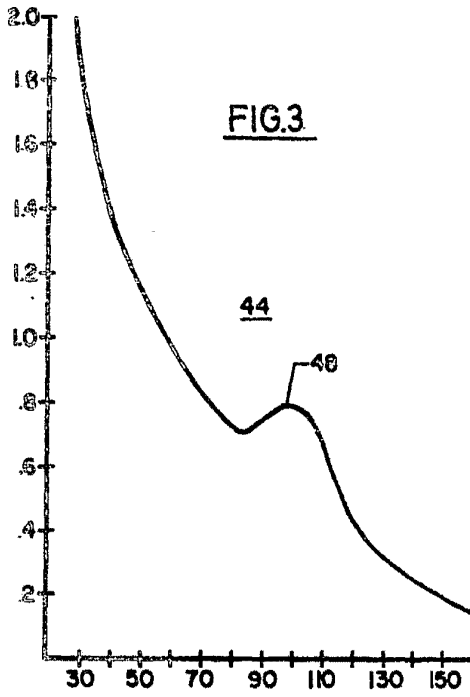


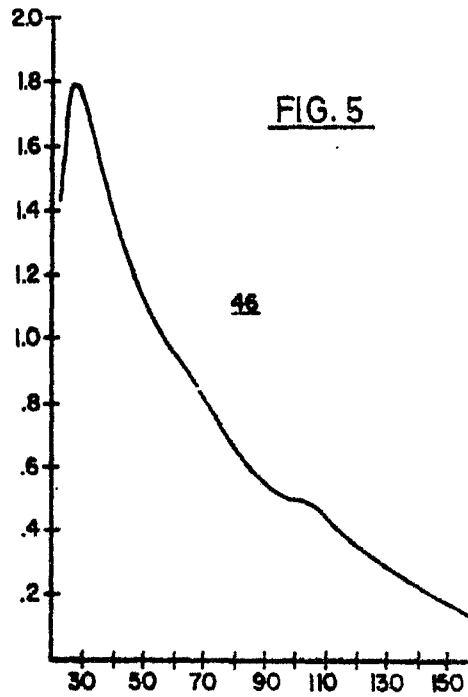
FIG. 2

Madrid

GOMEZ BARRA Y LÓPEZ



ESCALA  
VARIABLE



Madrid  
GOMEZ ACEDO Y MUÑOZ  
Ingenieros