

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 282**

51 Int. Cl.:

G01T 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12008547 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2746816**

54 Título: **Detector de centelleo de rayos gama que conserva la distribución original de la luz de centelleo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.10.2019

73 Titular/es:

**GENERAL EQUIPMENT FOR MEDICAL IMAGING
S.A. (ONCOVISION) (50.0%)
C/ Jerónimo de Monsoriu 92, Bajo Izq
46022 Valencia, ES y
BRUKER BIOSPIN AG (50.0%)**

72 Inventor/es:

**BENLLOCH BAVIERA, JOSÉ MARÍA;
GONZÁLEZ MARTÍNEZ, ANTONIO JAVIER;
SÁNCHEZ MARTÍNEZ, FILOMENO;
MOLINOS SOLSONA, CÉSAR;
CATRET MASCARELL, JUAN VICENTE;
CORRECHER SALVADOR, CARLOS y
PAVÓN HERNÁNDEZ, NORIEL**

74 Agente/Representante:

MILTENYI , Peter

ES 2 727 282 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Detector de centelleo de rayos gama que conserva la distribución original de la luz de centelleo

5 Campo de la invención

La invención se refiere al diseño de los detectores de centelleo según su uso en sistemas de obtención de imágenes nucleares, como la tomografía computarizada de emisión monofotónica (SPECT) o la tomografía de emisión de positrones (PET), con el fin de realizar diagnósticos médicos.

10 No obstante, debe entenderse que la presente invención también puede aplicarse en muchos otros campos técnicos, por ejemplo, en la astrofísica, con los telescopios de rayos gamma, o en la geofísica, en la exploración de rocas y minerales.

15 Antecedentes de la invención

Hay disponible un amplio abanico de técnicas de imágenes médicas para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Se puede diferenciar entre la obtención de imágenes morfológica, como la tomografía computarizada (TAC), obtención de imágenes por resonancia magnética (RM), rayos X, ultrasonidos, etc. u obtención de imágenes funcionales, como con el uso de radiografía de rayos gamma, tomografía computarizada de emisión monofotónica (SPECT) o tomografía de emisión de positrones (PET).

La medicina nuclear es una rama especial de la medicina en donde pueden obtenerse imágenes de los procesos fisiológicos mediante la detección de la radiación que procede de las sustancias marcadoras radiactivas inyectadas en las regiones de interés (como órganos, huesos, tejido, etc.) del objeto de exploración.

En el caso de la PET, cuando el marcador radiactivo en descomposición emite un positrón, el positrón destruye un electrón, creando un par de fotones de rayos gama de gran energía que se emiten en direcciones opuestas. Para detectar los rayos gamma producidos, en general, se utilizan detectores de cristal de centelleo de la siguiente manera.

En el caso de la PET, cuando un fotón de rayos gamma entra por el cristal, este interactúa con los átomos del cristal, creando un flash de fotones de menor energía emitidos de manera isotrópica, después de la excitación o ionización de los átomos de cristal. En esta denominada acción de centelleo, la energía de los fotones de rayos gama se transforma así en fotones de menor energía (normalmente de campo visual) que, después, se pueden medir con fotosensores. Así mismo, la energía de los fotones de menor energía es proporcional a la energía de los fotones de rayos gama incidentes.

40 Cuando se realizan dos detecciones de fotones de rayos gamma en ubicaciones opuestas al mismo o casi al mismo tiempo (en una tolerancia de unos cuantos nanosegundos, debido a las distintas distancias de recorrido de los fotones hasta los detectores) se supone que se han creado en el mismo proceso de destrucción. Por tanto, se sabe que el origen de esta emisión de pares de rayos gamma debe residir en la línea que conecta las dos posiciones de detección. Esta línea suele denominarse línea de respuesta (LDR, véase también el documento US2010/0044571A1). La sección transversal de una pluralidad de detecciones y LDR de pares de rayos gamma se puede utilizar para crear un mapa tridimensional de la región de interés, donde la concentración de los marcadores radioactivos es la más alta.

Los fotosensores utilizados para medir los fotones de centelleo suelen ser tubos fotomultiplicadores sensibles a la posición (PMT) o los semiconductores recientemente propuestos basados en detectores, tal como multiplicadores de silicio (SiPM). Los SiPM suelen consistir en un conjunto de fotodiodos de avalancha que operan en el modo Geiger. Aunque los SiPM necesitan menos tensión de suministro que los PTM, sufren de ruido térmico de fondo, que aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada del área de superficie cubierta por el detector. Por tanto, es deseable mantener el área del detector del SiPM activa tan reducida como sea posible, pero sin reducir el área de emisión de luz del centelleador.

55 Tal y como se ha mencionado anteriormente, la distribución de energía medida por el fotosensor de dichas cámaras de rayos gamma es proporcional a la distribución de energía del rayo gamma incidente y, por tanto, permite diferenciar entre la energía de la radiación gamma incidente original y de la radiación secundaria, tal como las acciones de radiación de fondo o de dispersión Compton. Así mismo, la luz de centelleo detectada contiene información sobre la ubicación espacial del caso de centelleo dentro del centelleador y, por tanto, sobre la fuente de la radiación gamma, la región de interés de la que deben tomarse imágenes.

Los documentos de la técnica anterior US 4.150.292 y US 6.858.847 describen realizaciones de los detectores de ese tipo en el campo de la obtención de imágenes nucleares.

65

Se sabe que los detectores de rayos gamma basados en centelleadores tienen una resolución de la energía más deficiente que los detectores de estado sólido de germanio de gran pureza. No obstante, los detectores de centelleo siguen siendo el tipo más habitual de detectores utilizado, debido a su coste moderado, a su gran eficiencia, a su aplicabilidad a gran escala y a la posibilidad de que operen a temperaturas ambiente.

5 En los últimos años, se han realizado grandes esfuerzos por mejorar la resolución de energía de los detectores de centelleo mediante la maximización de la eficacia recopiladora de la luz de centelleo creada después de la absorción de los fotones de rayos gamma dentro del centelleador. Las simulaciones informáticas y los experimentos han demostrado que la capacidad de capturar esta luz está muy influida por la geometría del centelleador, el material de revestimiento de su superficie exterior y el acoplamiento del centelleador-fotodetector.

15 Por ejemplo, un acabado óptico reflectante difuso aumenta la cantidad de luz que alcanza el fotosensor, mientras que el uso de un solo reflector especular (es decir, una superficie pulida) tiene el efecto contrario. Los mejores materiales para cubrir los centelleadores de luz eficientes tienen una reflectividad difusora. El politetrafluoroetileno (PTFE, Teflon) por ejemplo, es un material habitual utilizado para revestir la superficie exterior de un centelleador. El trabajo reciente del documento US 2011/0017916 A1 muestra cómo combinar una capa difusora y reflectora especular para aumentar la eficacia recopiladora, no obstante, a expensas de empeorar la información acerca de la distribución original de la luz de centelleo. En el documento US 2011/0017916 A1 el objetivo es recopilar toda la luz, independientemente de su origen en el espacio, perdiendo así resolución espacial.

20 En el documento US 2010/0044571 A1 hay montado un fotosensor sobre la superficie del centelleador de entrada de los rayos gamma para aumentar la resolución espacial, aprovechando el hecho de que la mayoría de los casos de centelleo se producen cerca de la superficie de entrada debido a la probabilidad de interacción exponencial. Sin embargo, dicha configuración de fotosensor sobre la superficie de entrada tiene la desventaja de que la radiación gamma se atenúa cuando atraviesa el fotosensor, que puede producir pérdidas significativas a energías menores.

30 La distribución de la luz de un caso de centelleo medida por el fotosensor sensible a la posición, es decir, la intensidad de la luz de centelleo como función de la posición sobre el fotosensor, depende de la posición tridimensional de la acción de centelleo dentro del centelleador. A partir de la posición centroide, la anchura y los momentos más altos de la distribución de la luz medida con el fotosensor, puede reconstruirse la ubicación original de la acción de centelleo, tal y como se muestra en el documento EP1617237A1. La exactitud de cómo puede determinarse la ubicación de la acción de centelleo depende de la dispersión de la luz de centelleo antes de alcanzar el fotosensor sensible a la posición. En un centelleador del estado de la técnica, los reflejos en las caras del centelleador aumentan la eficacia recopiladora de luz, pero también conllevan un ensanchamiento, desenfocando respectivamente la distribución de la luz recibida por el fotosensor, dando como resultado estimaciones menos precisas de la posición de la acción de centelleo tridimensional y, por tanto, generando una pérdida de la resolución espacial del detector de rayos gamma.

40 Los medios actuales para mejorar la resolución espacial dentro del campo de visión de la cámara de rayos gamma normalmente solo se refieren al uso de distintos tipos de colimadores montados en frente del detector de rayos gamma, para así filtrar los rayos gamma antes de que suceda la acción de centelleo (Kimiaei *et al.*, 1996, Journal of Nuclear Medicine, vol. 37, n.º 8, pp. 1417-1421).

45 **Sumario de la invención**

El problema técnico objetivo que debe resolverse es mejorar un detector de centelleo de rayos gamma, en particular, con respecto a su resolución espacial.

50 Este problema se resuelve con un aparato detector de centelleo de rayos gamma según la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas de la invención se divulgan en las reivindicaciones dependientes.

Un aparato según la reivindicación 1 tiene la ventaja de que conserva la distribución de la luz original de los fotones de la acción de centelleo y, por tanto, acota mejor la información sobre la ubicación de las acciones de centelleo dentro del centelleador para conseguir una resolución espacial mayor de la región de emisión de rayos gamma, es decir, la región de interés, en comparación con el estado de la técnica.

Esta ventaja se consigue gracias a la sinergia de dos características inherentes a la invención.

60 En primer lugar, la capa de absorción, que cubre (al menos una parte de) al menos una cara del centelleador, reduce el reflejo interno de la luz de centelleo, reduciendo así la dispersión de la luz de centelleo dentro del centelleador y, de esta manera, aumenta la resolución espacial del detector de rayos gamma.

65 En segundo lugar, el uso de al menos un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), tal como concentrador(es) y/o placa(s) frontal(es), permite reducir aún más la dispersión de la luz de centelleo del centelleador mediante la limitación del abanico permitido de ángulos de incidencia de la luz de centelleo guiados hasta el/los fotosensor(es) sensibles a la posición, de modo que, al final, se alcanza una mínima dispersión

de la luz de centelleo, lo que habría sido imposible de conseguir solo con el uso de capas absorbentes o SLIAC.

Un elemento SLIAC puede estar configurado, por ejemplo, para acotar la visión del fotosensor sensible a la posición de la luz de centelleo recibida a ángulos de aceptación de media luz de centelleo máximos de menos de 45°, es decir, ángulos de aceptación de la luz plena (= 2 x mitad) de menos de 90°.

La capa absorbente puede ser de cualquier tipo que absorba más del 90 % o, al menos, más del 50 % de los fotones de centelleo incidentes en el abanico de energía visible, creados por las acciones de centelleo debidas a la interacción de los rayos gamma entrantes con el centelleador. Por ejemplo, puede ser un revestimiento de pintura negra o de epoxi negra.

La capa absorbente también puede proporcionarse como un cuerpo rígido o soportada por un cuerpo rígido, y que esté acoplada de forma óptica a la(s) cara(s) del centelleador.

Para ser claros, hay que destacar que a las caras del centelleador que no están cubiertas por una capa absorbente se les hace referencia como caras del centelleador transparentes a los fotones de centelleo, respectivamente, como capas del centelleador que emiten fotones de centelleo.

Así mismo, a no ser que se especifique otra cosa, los fotosensores descritos en el presente documento deben de entenderse como fotosensores sensibles a la posición.

Preferentemente, una cara de un centelleador o una parte de este, que está cubierta por una capa absorbente, está cubierta por, al menos, el 50 % de la superficie de dicha cara del centelleador.

Los elementos de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), tal como los concentradores y/o las placas frontales, pueden acoplarse de manera óptica entre la cara de emisión de la luz de centelleo del centelleador y el fotosensor, para así guiar/canalizar y/o concentrar la luz de centelleo emitida sobre el fotosensor, aumentando la resolución espacial del detector de rayos gamma mediante la limitación del abanico permitido de los ángulos máximos de aceptación de luz plena/media luz .

Los concentradores pueden ser de cualquier tipo. Por ejemplo, pueden ser concentradores-transformadores de ángulo (TA), que se caracterizan por tener caras laterales compuestas por dos partes, una superficie parabólica y una superficie plana recta. Sin embargo, también se pueden utilizar los concentradores parabólicos compuestos (CPC), que tienen la forma de una sección parabólica girada.

Los concentradores CPC o TA también pueden denominarse concentradores adaptados (CPCa, TAa), lo que significa que están adaptados a un ángulo de inclinación específico y a los requisitos de curvatura del proceso de fabricación. Puede preferirse el uso de TA/TAa ya que pueden tener menos ruido de interferencia (fugas de luz no deseadas) que los CPC, CPCa cuando se disponen en un conjunto de concentradores.

El uso de los concentradores, como SLIAC, también puede tener la ventaja de que el área del fotosensor puede hacerse menor que el área de emisión de la luz de centelleo de la cara del centelleador y, por tanto, se puede reducir el ruido térmico no deseado del fotosensor.

Ya que los TA/TAa pueden tener ángulos de salida de luz más pequeños que los CPC/CPCa, el uso de los TA/TAa puede permitir la utilización de fotosensores incluso más pequeños/más compactos, como en el caso del uso de CPC/CPCa, y el ruido térmico del fotosensor también se puede minimizar más.

Para permitir un embalaje denso de los concentradores, lo mejor es hacer coincidir la forma de los fotosensores y del concentrador, así como minimizar los espacios muertos del fotosensor, las caras de entrada de luz de centelleo y salida de centelleo de los concentradores pueden tener forma rectangular, preferentemente cuadrada.

En una disposición preferida de ejemplo de la invención, la geometría del centelleador en un aparato según la reivindicación 1 se caracteriza por tener una cara de base superior, que es la cara de entrada de los rayos gamma, una cara de base inferior, opuesta a la cara de base superior, y una pluralidad de caras laterales.

La cobertura de más caras o de una parte más grande del centelleador con una capa absorbente puede reducir la dispersión de la luz de centelleo incluso más aún y, en consecuencia, también puede aumentar la resolución espacial del detector de rayos gamma.

En las disposiciones de la invención, en donde todas las caras laterales o todas las caras, exceptuando la cara que se orienta hacia el fotosensor sensible a la posición, están cubiertas por una capa absorbente, por lo que tienen la ventaja de que la resolución espacial esperada es mayor, en comparación con los centelleadores que tengan menos caras cubiertas por una capa absorbente.

Según otra disposición preferida de ejemplo, un aparato detector de rayos gamma puede comprender un fotosensor

sensible a la posición y concentradores montados en el centelleador, sobre la cara de entrada de los rayos gamma. Esta configuración aprovecha el hecho de que la mayoría de las acciones de centelleo se producen cerca de la cara de entrada del centelleador, debido al aumento exponencial de la probabilidad de interacción del centelleador de rayos gamma.

5 En una realización concebida adicional, los fotosensores sensibles a la posición y los concentradores están acoplados de manera óptica a dos caras del centelleador, en concreto, a la cara de entrada (o cara de base superior) de los rayos gamma y a la cara opuesta a la cara de entrada (o cara de base inferior). Tal y como se ha mencionado anteriormente, se pueden utilizar concentradores de todo tipo (por ejemplo, un TA, varios TA, un CPC, CPCa) en cada fotosensor sensible a la posición/conjunto de fotosensores sensibles a la posición, para así concentrar la luz de centelleo.

15 Como ya se ha mencionado anteriormente, las placas frontales, como SLIAC, también se pueden utilizar para filtrar la luz de centelleo, permitiendo que solo pasen los fotones de centelleo con ángulos de incidencia específicos y, en particular, las placas frontales que pueden limitar los ángulos de aceptación de media luz de centelleo máximos a menos de 45°.

20 De manera más específica, también se pueden utilizar placas frontales con una abertura numérica de entre 0,58 y 1,00, reduciendo de este modo aun más el abanico de los ángulos de aceptación de media luz máximos permitidos para que la luz de centelleo incida entre los 19° y los 34°.

25 Una disposición de ejemplo adicional de la invención puede ser un detector de rayos gamma según cualquiera de las disposiciones anteriormente descritas, en donde la forma del centelleador es un prisma troncado, tal como una pirámide truncada.

Un centelleador con forma de pirámide truncada tiene la ventaja de permitir un embalaje denso de una pluralidad de detectores de rayos gamma en configuraciones con forma de anillo o de tubo útiles para albergar un objeto que deba explorarse. Además de las consideraciones geométricas, también reduce los efectos de borde del centelleador.

30 Los centelleadores utilizados en cualquiera de los ejemplos aquí descritos de las realizaciones pueden ser monocristales o cristales pixelados. No obstante y preferentemente, el centelleador es un monocristal, ya que los cristales pixelados suponen más áreas de espacio muerto en el detector de rayos gamma, proporcionando así menos sensibilidad al detector en comparación con centelleadores de monocristales.

35 De manera alternativa, en una realización preferida de ejemplo, el material del centelleador también puede ser plástico, cerámica o vidrio.

40 El fotosensor sensible a la posición utilizado en cualquiera de las realizaciones de ejemplo aquí descritas puede ser un conjunto de fotosensores sensibles a la posición o un solo fotosensor sensible a la posición que cubra una cara transparente a la luz de centelleo del centelleador, es decir, una cara sin cubrir con una capa absorbente. El tipo de fotosensor puede ser un tipo fotomultiplicador basado en silicio o un tipo de fotodiodo de avalancha o cualquier otro tipo sensible a la posición y energía de los fotones de las acciones de centelleo incidentes.

45 Una disposición de la invención que tiene la ventaja de ser más eficiente en la recopilación de luz que las otras realizaciones descritas en el presente documento comprende un retroreflector, acoplado de manera óptica a una cara del centelleador transparente a la luz de centelleo, opuesta a la cara del centelleador transparente a la luz de centelleo, a la que se acoplan de manera óptica el fotosensor sensible a la posición y los concentradores, y en donde una de las caras restantes del centelleador está cubierta por una capa absorbente.

50 Opcionalmente, una placa frontal/placa frontal adicional o una pluralidad de placas frontales se pueden acoplar de manera óptica entre el retroreflector y la cara del centelleador transparente a la luz de centelleo, a la que se acopla el retroreflector de manera óptica. Dicho de otra forma, puede haber una placa frontal adicional o una pluralidad de placas frontales acopladas a una cara del centelleador transparente a la luz de centelleo distinta de la cara del centelleador transparente a la luz de centelleo a la que se acopla el fotosensor sensible a la posición.

55 Breve descripción de las figuras

Las siguientes figuras sirven como realizaciones de ejemplo de la invención.

60 **Figura 1:** un detector de rayos gamma que incluye un centelleador 1, un fotosensor 2 y un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, un conjunto de concentradores 3.

Figura 2: Vista transversal de la figura 1.

65 **Figura 3:** Vista despiezada del detector de rayos gamma de la figura 1 que muestra las capas 4 del medio de

acoplamiento óptico.

Figura 4: Vista parcialmente despiezada del detector de rayos gamma de la figura 1 con una placa frontal 5 adicional y un retrorreflector 6.

Figura 5a: Detector de rayos gamma con un fotosensor 2' y concentradores ubicados en la cara de entrada del centelleador de los rayos gamma.

Figura 5b: Detector de rayos gamma con un fotosensor 2' montado en la cara de entrada del centelleador de los rayos gamma y un fotosensor 2 y concentradores en la cara inferior del centelleador 1.

Figura 6: Un conjunto de concentradores.

Figura 7: Vistas transversales de concentrador parabólico compuesto (CPC) y del concentrador transformador de ángulo (TA).

Figura 8: Vista transversal de un concentrador transformador de ángulo adaptado (TAa).

Figura 9: Vista en perspectiva de una matriz de los concentradores transformadores de ángulo adaptados (TAa).

Descripción detallada de las figuras

La **figura 1** muestra una realización, en donde el centelleador 1 es un monocristal que tiene una forma de pirámide truncada que tiene todas sus caras, excepto la cara de base inferior (BF) (que se ve mejor en la figura 2), cubiertas por una capa absorbente AL, y en donde hay acoplado de manera óptica un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, un conjunto de concentradores 3, a la cara inferior transparente a la luz de centelleo del centelleador de monocristal en pirámide truncada, para así guiar la luz de centelleo hacia un fotosensor sensible a la posición 2. Hay visibles dos de las cuatro caras laterales LF y la cara de base superior TF. El área de la cara de base superior TF es más pequeña que el área de la cara de base inferior BF.

En este punto, también habría que destacar que, cuando se hace referencia al acoplamiento óptico de los elementos ópticos, quiere decir el uso de un medio óptico, tal como silicona, lubricante o gel, plástico térmico o cualquier otro material adecuado con un índice de refracción que reduzca los reflejos internos, especialmente los reflejos sobre la superficie del fotosensor. Por ejemplo, el medio de acoplamiento puede ser una fina capa de gel de silicona (con un grosor menor de 250 micrómetros) con un índice de refracción entre 1,4 y 1,5. No obstante, también es posible que el medio de acoplamiento sea el aire.

La(s) capa(s) absorbente(s) pueden proporcionarse como revestimiento(s) o pintura(s) aplicada(s) de manera individual o conjuntamente en la(s) superficie(s) del centelleador. También pueden proporcionarse como, por ejemplo, una tapa o cubierta o envolvente, que sea rígida y que se acople de manera óptica al centelleador (o la capa absorbente se pueda proporcionar como capa provista sobre la superficie de dicha tapa, cubierta o envolvente y que esté soportada de esa manera). Las capas absorbentes de las distintas caras del centelleador pueden proporcionarse como una capa que cubre varias caras o como una pluralidad de capas, que cubren cada una (al menos una parte) de una cara.

En vez de los concentradores, que pueden ser de cualquier tipo descrito en el resumen general de la invención, también se podrían utilizar una placa frontal/pluralidad de capas frontales (no mostrada) para guiar la luz de centelleo hacia un fotosensor sensible a la posición 2.

Así mismo, es posible poder utilizar en conjunto, al menos, una placa frontal y un conjunto de concentradores, por ejemplo, con una placa frontal o una pluralidad de placas frontales (no mostradas) acopladas entre el conjunto de concentradores (3) y la cara inferior BF del centelleador.

La **figura 2** muestra una vista transversal de la realización ejemplar presentada en la figura 1, en donde se puede observar que la cara inferior BF del centelleador 1 no está cubierta por una capa absorbente AL, pero sí que lo están la cara de base superior TF y las caras laterales LF, y que el fotosensor sensible a la posición 2 está ubicado por debajo del conjunto concentrador, en la cara inferior, para medir los fotones de centelleo que salen del centelleador a través de la cara inferior y que son guiados por un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, los concentradores 3.

Una capa absorbente que cubre una cara del centelleador puede estar haciendo contacto directo con la cara o puede estar acoplada de manera óptica a dicho tipo de cara.

La **figura 3** es una versión de la vista despiezada transparente de la realización ejemplar mostrada en la figura 1, donde se muestran las capas 4 del medio de acoplamiento óptico entre el centelleador y los concentradores y el

fotosensor sensible a la posición y los concentradores. Estas capas del medio de acoplamiento óptico son finas en comparación con el grosor del centelleador, el elemento SLIAC, por ejemplo, los concentradores 3, o el fotosensor sensible a la posición 2.

- 5 Como ya se ha mencionado anteriormente, de manera alternativa o adicional a los concentradores podría acoplarse de manera óptica una placa frontal/placas frontales (no mostradas) en la cara transparente a la luz del centelleador, a la que se acopla de manera óptica un fotosensor sensible a la posición.

10 La **figura 4** muestra una realización ejemplar, en donde la base superior y la base inferior del centelleador son transparentes a la luz del centelleador y en donde los rayos gamma entran por la cara superior y un fotosensor sensible a la posición 2 (con o sin concentradores en frente de este) está acoplado de manera óptica a la cara inferior, y en donde, además, puede acoplarse de manera óptica una placa frontal 5 entre la cara superior y un retroreflector 6. Dicha disposición de ejemplo tiene la ventaja de aumentar la eficiencia de recopilación de la luz de centelleo en comparación con las disposiciones que tienen todas menos una cara cubiertas por una capa absorbente.

20 En una realización adicional de ejemplo alternativa (**figura 5a**), un fotosensor sensible a la posición 2' está montado sobre la cara superior del centelleador con forma de pirámide truncada. De nuevo, un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, un conjunto de concentradores 3 (que pueden ser del tipo CPC, CPCa, TA, TAa o cualquier otro tipo de concentrador) y/o una(s) placa(s) frontal(es) pueden acoplarse de manera opcional entre dicha cara superior y el fotosensor sensible a la posición 2'.

25 En este caso, por ejemplo, todas las caras de los centelleadores, excepto la cara superior, están cubiertas por una capa absorbente.

30 La **figura 5b** muestra un ejemplo de una realización, en donde un fotosensor 2' está montado sobre la cara superior del centelleador, que es la cara de entrada de los rayos gamma. Un fotosensor 2 adicional y un elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, un conjunto de concentradores 3 (que pueden ser del tipo CPC, CPCa, TA, TAa o cualquier otro tipo de concentrador) y/o una(s) placa(s) frontal(es), están fijados a la cara inferior del centelleador. En este caso, tanto la cara superior como la inferior del centelleador son transparentes a la luz de centelleo.

35 Aunque en el dibujo no se muestra, es posible además que, en la configuración de la figura 5b, se pueda utilizar un segundo elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, un segundo conjunto de concentradores y/o placa(s) frontal(es), para así guiar la luz hacia el fotosensor 2'.

40 También se podría utilizar una pluralidad de detectores de centelleo de rayos gamma según cualquiera de las realizaciones de ejemplo descritas en el presente documento para crear conjuntos de detectores de rayos gamma, cuya forma se adapta a fines específicos, como una estructura de tubo o anillo utilizada en el diagnóstico médico.

45 **Figura 6:** Los elementos de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC), por ejemplo, los concentradores y/o placas frontales, que guían la luz hacia un fotosensor, pueden acoplarse de manera óptica en frente de un fotosensor en cualquiera de las disposiciones de ejemplo de un detector de centelleo de rayos gama según la invención descrita en el presente documento. Los concentradores pueden ser del tipo CPC, CPCa, TA o TAa, y pueden disponerse en conjuntos de varios tamaños. Por ejemplo, aquí se muestra un conjunto de concentradores 3 de 16x16.

50 **Figura 7:** Se muestran las vistas transversales de un concentrador parabólico compuesto (CPC) a la izquierda y de un concentrador transformador de ángulo (TA) a la derecha. La incidencia de la luz procede de la parte superior y los ángulos de aceptación de media luz se indican con θ_1 y los ángulos de salida de la media luz se indican con θ_2 .

De hecho, en las geometrías de la trayectoria de la luz mostradas, dichos ángulos de aceptación de media luz son los ángulos de aceptación de media luz máximos.

55 Para terminar, hay que destacar que un ángulo de aceptación de luz plena es dos veces su ángulo de aceptación de media luz. La mitad del ángulo de salida del CPC es $\pi/2$, mientras que la mitad del ángulo de salida del TA es de menos de $\pi/2$. El TA se caracteriza por tener laterales compuestos por una parábola DQ y un espejo plano QB. Las trayectorias de la luz de ejemplo se indican con r_1 , r_2 y r_3 .

60 **Figura 8:** Se muestra una vista transversal de un concentrador transformador de ángulo adaptado (TAa) con un radio de curvatura CR y un ángulo de inclinación DA.

65 **Figura 9:** Se muestra una vista en perspectiva de una matriz de 8x1 ejemplar de los concentradores transformadores de ángulo adaptados (TAa), que se ha moldeado con radios de curvatura CR y ángulos de inclinación DA.

Para terminar, hay que destacar que se asume claramente que son posibles configuraciones adicionales o, respectivamente, combinaciones de los elementos ópticos utilizados en las realizaciones de ejemplo anteriores como realizaciones de ejemplo alternativas del mismo concepto inventivo.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para detectar rayos gamma, que comprende:
 un centelleador (1), un fotosensor sensible a la posición (2) y, al menos, un elemento de acotamiento del ángulo de
 5 incidencia de la luz de centelleo (SLIAC) (3), que es uno de un concentrador o placa frontal, en donde
 el centelleador (1) tiene una pluralidad de caras (LF, TF, BF); y
 en donde el fotosensor sensible a la posición (2) está dispuesto para detectar los fotones de centelleo que salen de
 una cara transparente a los fotones de centelleo del centelleador (1), y
 10 en donde el elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC) (3) está acoplado de
 manera óptica entre una cara transparente a los fotones de centelleo del centelleador y el fotosensor sensible a la
 posición, y el elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC) (3) está configurado
 para guiar los fotones de centelleo que salen del centelleador hacia el fotosensor sensible a la posición,
 caracterizado por que
 15 al menos una parte o toda la, al menos, una cara del centelleador está cubierta por una capa absorbente (AL), que
 está dispuesta para absorber los fotones de centelleo producidos por las acciones de centelleo debido a la
 interacción de los rayos gamma entrantes con el centelleador (1), y
 por que
 el elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de centelleo (SLIAC) (3) limita el ángulo de aceptación
 20 de media luz máximo permitido (Θ_1) para que la luz de centelleo golpee el fotosensor sensible a la posición a menos
 de 45°.
2. Un aparato según la reivindicación 1, en donde el elemento de acotamiento del ángulo de incidencia de la luz de
 centelleo (SLIAC) es, al menos, uno de un conjunto de concentradores (3) y/o una(s) placa(s) frontal(es).
- 25 3. Un aparato según la reivindicación 2, en donde los concentradores son transformadores de ángulo (TA) o
 transformadores de ángulo adaptados (TAa), o concentradores parabólicos compuestos (CPC) o parabólicos
 compuestos adaptados.
- 30 4. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el centelleador (1) tiene una cara
 superior (TF), que es la cara de entrada de los rayos gamma, una cara inferior (BF), opuesta a la cara superior (TF),
 y una pluralidad de caras laterales (LF).
- 35 5. Un aparato según la reivindicación 4, en donde al menos una parte o la totalidad de todas las caras laterales (LF)
 del centelleador (1) está cubierta por una capa absorbente (AL).
6. Un aparato según la reivindicación 4 o 5, en donde al menos una parte o la totalidad de todas las caras laterales
 (LF) del centelleador (1) y la cara base (BF) están cubiertas por una capa absorbente (AL) y la cara transparente a
 los fotones de centelleo del centelleador (1) es la cara superior (TF).
- 40 7. Un aparato según la reivindicación 4 o 5, en donde al menos una parte o la totalidad de todas las caras laterales
 (LF) del centelleador (1) y la cara superior (TF) están cubiertas por una capa absorbente (AL) y la cara transparente
 a los fotones de centelleo del centelleador (1) es la cara inferior (BF).
- 45 8. Un aparato según la reivindicación 5, en donde el fotosensor sensible a la posición (2) está acoplado de manera
 óptica a la cara inferior (BF) y un segundo fotosensor sensible a la posición (2) está acoplado de manera óptica a la
 cara superior (TF) del centelleador (1).
- 50 9. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha placa frontal está acoplada a una
 cara del centelleador (1) transparente a los fotones de centelleo; y en donde dicha placa frontal permite que solo
 pasen fotones de centelleo con ángulos de incidencia específicos, o reduce el abanico de los ángulos de aceptación
 de media luz máximos permitidos de la luz de centelleo incidente entre los 19° y los 34°.
- 55 10. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el centelleador (1) tiene forma de
 pirámide truncada.
11. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el centelleador (1) es al menos uno de
 los tipos de una lista que comprende monocristal y cristal pixelado.
- 60 12. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 11, en donde el material del centelleador es al
 menos uno de los tipos de una lista que comprende, plástico, cerámica, vidrio.
- 65 13. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fotosensor sensible a la posición (2)
 tiene al menos una configuración de una lista que comprende, un conjunto de fotosensor sensible a la posición que
 cubre el área de un centelleador de cara transparente a los fotones de centelleo, un solo fotosensor sensible a la
 posición que cubre el área de un centelleador de cara transparente a los fotones de centelleo; y en donde el tipo de
 fotosensor es al menos uno de los tipos de una lista que comprende un fotomultiplicador basado en silicio y un

fotodiodo de avalancha.

5 14. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, exceptuando las reivindicaciones 6 y 7, en donde un retroreflector (6) está acoplado de manera óptica a la cara transparente a los fotones de centelleo del centelleador (1), opuesta a la cara del centelleador transparente a los fotones de centelleo, a la que se acopla de manera óptica el fotosensor sensible a la posición.

10 15. Un aparato según la reivindicación 14, en donde una placa frontal (5) adicional está acoplada de manera óptica entre el retroreflector (6) y el centelleador (1), y en donde dicha placa frontal (5) adicional permite que solo pasen los fotones de centelleo con ángulos de incidencia específicos, o reduce el abanico de ángulos de aceptación de media luz máximos permitidos para la luz de centelleo incidente entre los 19° y los 34°.

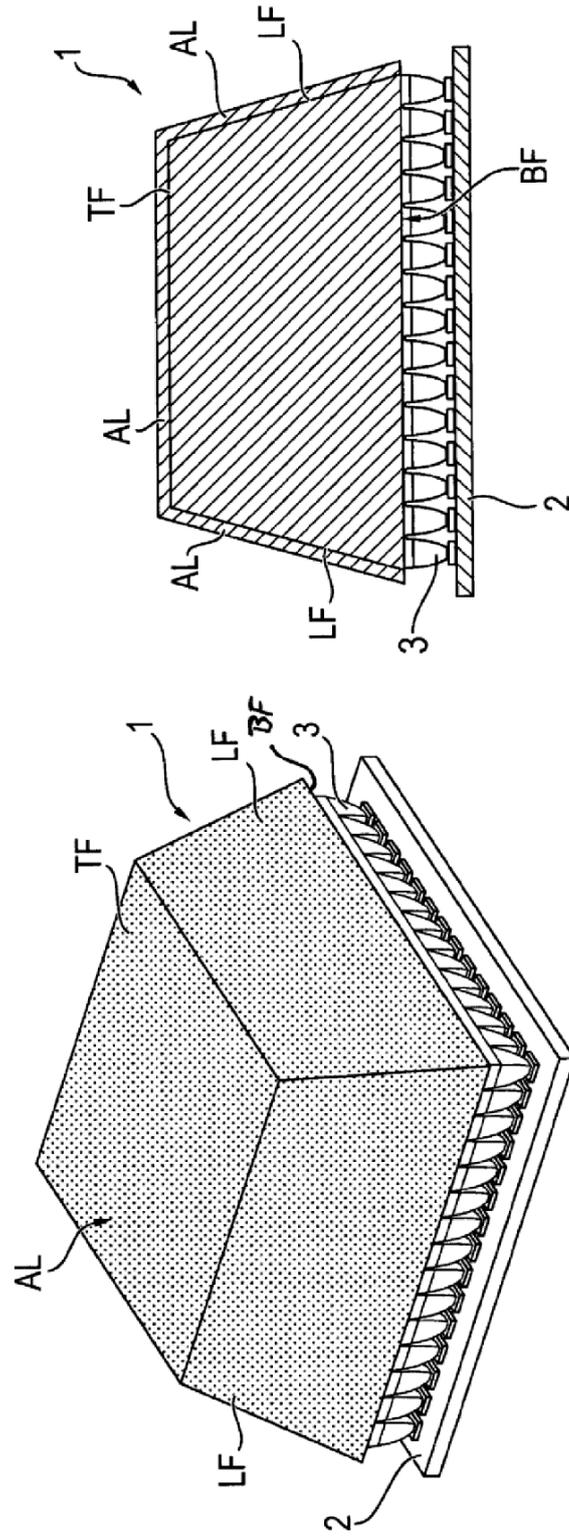


FIG. 2

FIG. 1

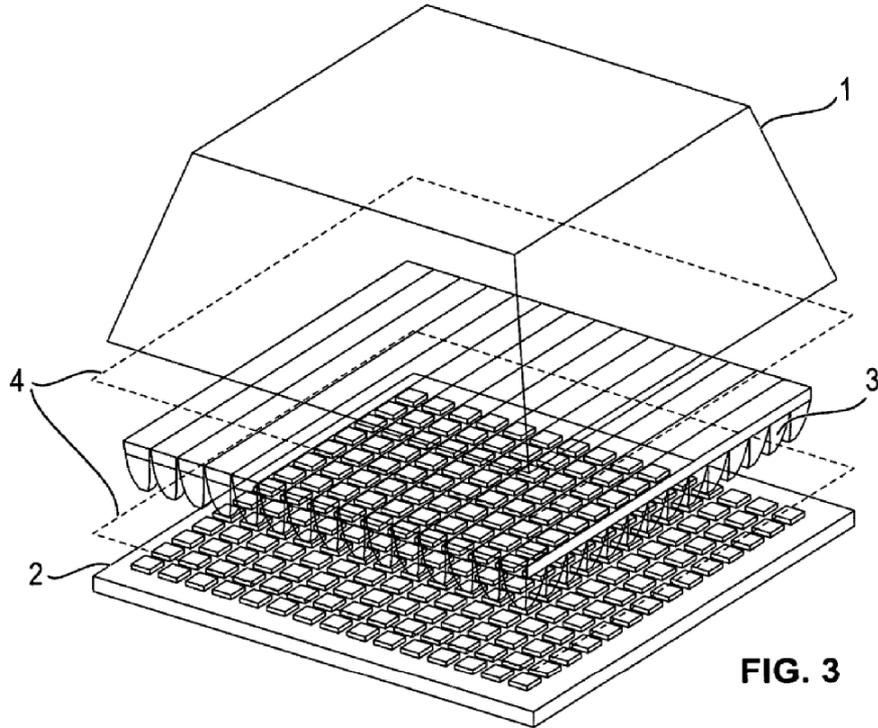


FIG. 3

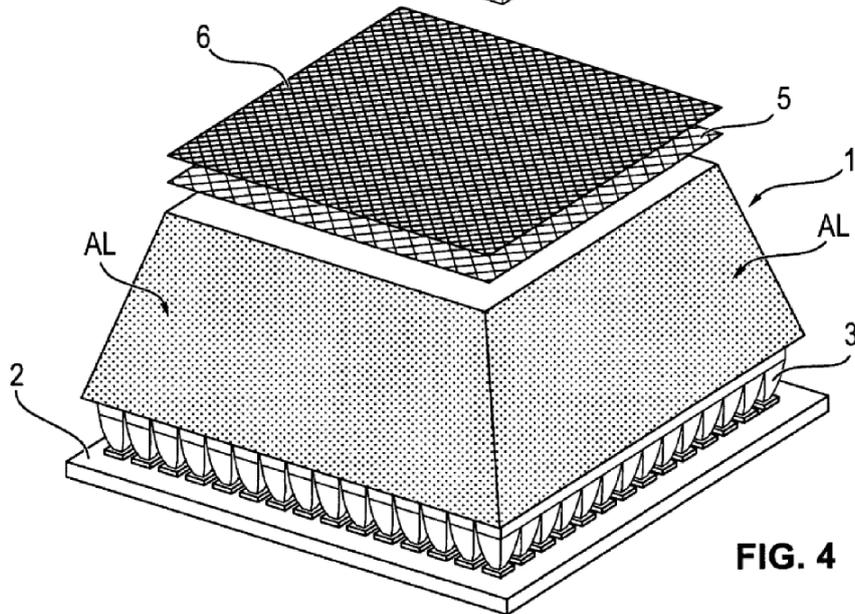


FIG. 4

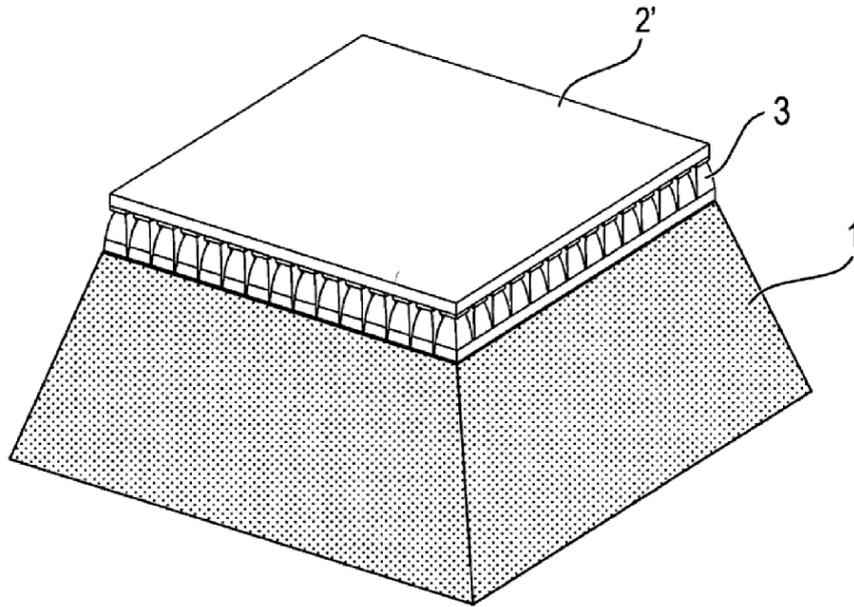


FIG. 5a

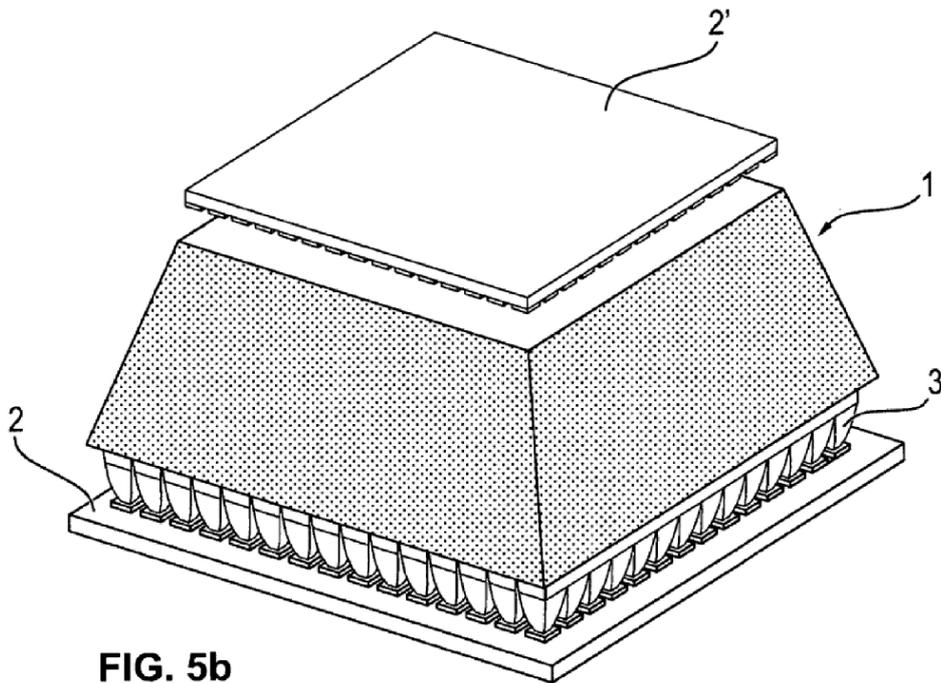


FIG. 5b

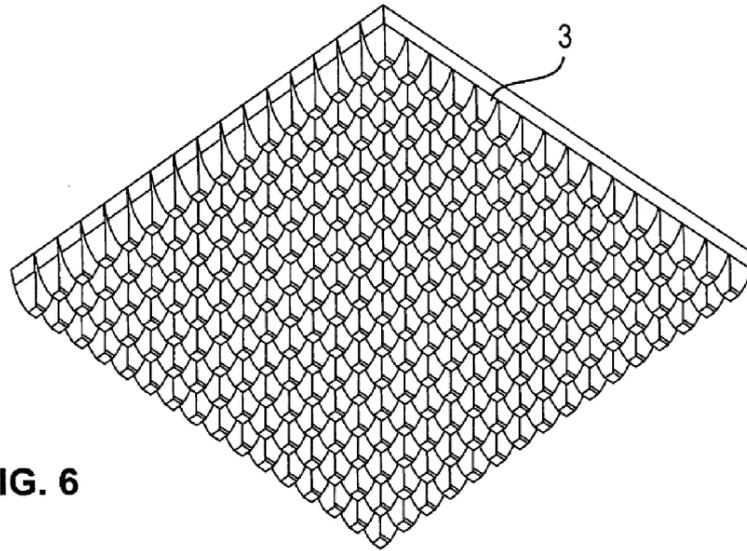


FIG. 6

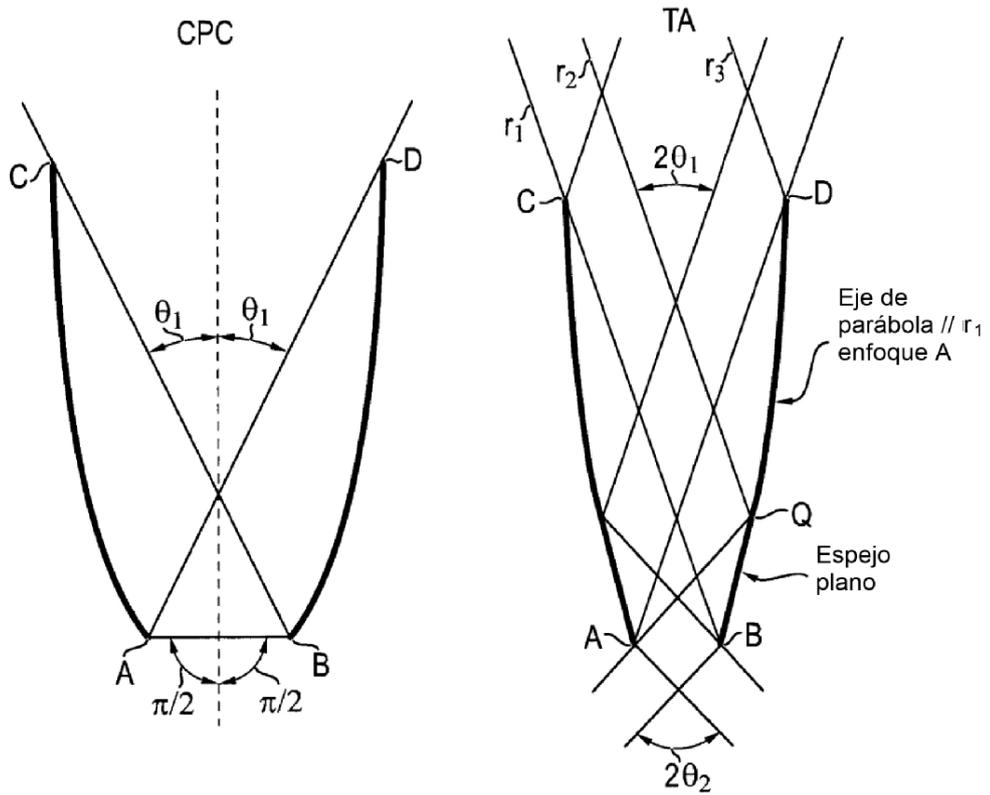


FIG. 7

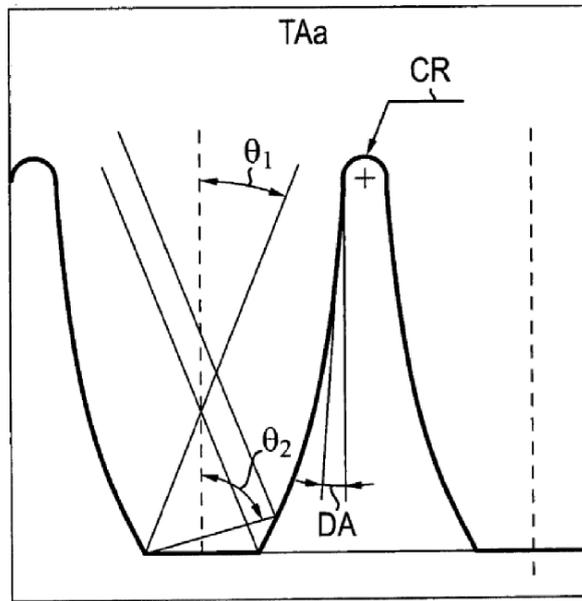


FIG. 8

Matriz de TAa de 8x1

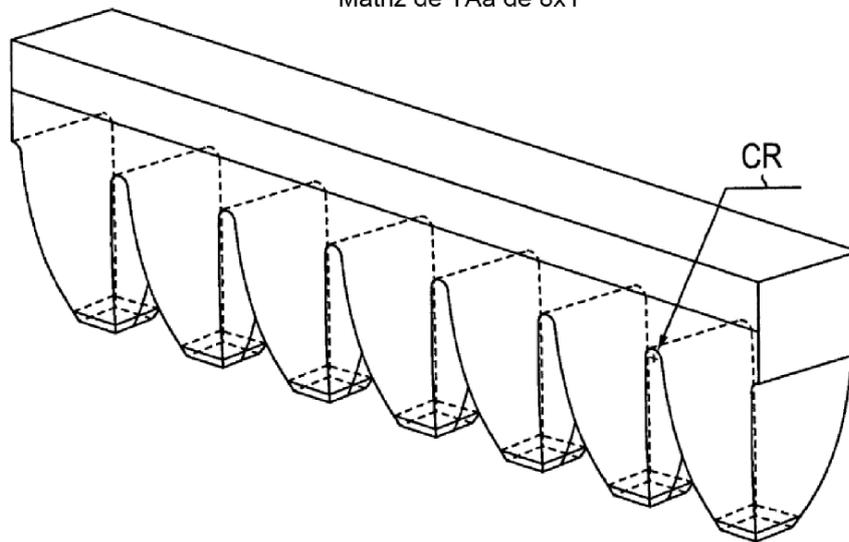


FIG. 9