

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 823 949**

21 Número de solicitud: 201930972

51 Int. Cl.:

G01T 1/164 (2006.01)

G01T 1/20 (2006.01)

G01T 1/29 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

07.11.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

10.05.2021

Fecha de concesión:

26.01.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

02.02.2022

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (50.0%)**

C/ Serrano, nº 117

28006 Madrid (Madrid) ES y

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (50.0%)

72 Inventor/es:

LLOSÀ LLÁCER, Gabriela Dolores;

LACASTA LLÁCER, Carlos y

BARRIO TOALA, John

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **DISPOSITIVO Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FOTONES Y PARTÍCULAS CARGADAS Y USO DE LOS MISMOS**

57 Resumen:

Dispositivo y método de detección de fotones y partículas cargadas y uso de los mismos.

Se detalla una solución para la determinación de eventos relacionados con fotones y partículas cargadas de utilidad en terapias que hacen uso de metodologías relacionadas con la hadrónica. En un aspecto de la invención se tiene un dispositivo que presenta una estructura tipo sándwich de paneles detectores de fotones (1) y paneles detectores de partículas cargadas (2) que pueden estar convenientemente asociados a respectivos sensores. Asimismo, se incluye un método para detección de fotones y partículas cargadas que hace uso del citado dispositivo. Finalmente, se detalla un uso concreto del objeto de la invención en terapia hadrónica.

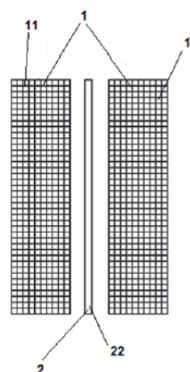


FIG. 1A

ES 2 823 949 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

DISPOSITIVO Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FOTONES Y PARTÍCULAS CARGADAS Y USO DE LOS MISMOS

5

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la invención se enmarca en el campo técnico de la física, más concretamente en el campo de la detección de partículas.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

La terapia hadrónica tiene como uno de sus principales inconvenientes que no existe un método efectivo para determinar en tiempo real si la dosis de radiación se está aplicando adecuadamente en el sitio previsto. La detección de las partículas secundarias que escapan del tejido al ser irradiado proporciona un método de monitorización de la terapia. En la actualidad, la tomografía por emisión de positrones es el único método utilizado, pero presenta serios inconvenientes en cuanto a eficiencia de detección y prestaciones, por lo que se estudian métodos alternativos de monitorización.

20

Una de estas alternativas consiste en la detección de la radiación gamma que emite el tejido. En la actualidad existen distintos tipos de detectores en desarrollo con el propósito de detectar la radiación gamma emitida, pero aún no están en uso. Se han desarrollado tanto cámaras colimadas como cámaras Compton.

25

Las cámaras colimadas constituyen un método sencillo, próximo a su uso clínico, pero poco eficiente y que sólo proporciona una visión unidimensional de las variaciones en la aplicación de la dosis.

30

Las cámaras Compton se utilizan o investigan de cara a la detección y localización de radiación en diferentes ámbitos: astrofísica, seguridad nacional, localización de fuentes radiactivas tras desastres nucleares, imagen médica y, recientemente, en monitorización en terapia hadrónica. En cada caso comprenden unos detectores que han de estar optimizados para un escenario concreto. Este tipo de cámaras proporcionan un método de monitorización más eficiente. Sin embargo, su respuesta también está limitada debido a que en el entorno de aplicación clínica se detectan un gran número de eventos debidos a ruido, que degradan la

35

señal, considerándose como evento una interacción de una partícula cargada o de un fotón de la radiación con los detectores o paneles detectores.

5 En *Traini, Giacomo et al. Physica Medica: European Journal of Medical Physics, Volume 34, 18 - 27* se detalla un dispositivo para detectar el origen de las partículas secundarias cargadas que se producen tras la interacción de un haz de iones de carbono con el tejido del paciente, y relaciona el perfil de emisión de estas partículas con la posición del pico de Bragg y, por tanto, con la dosis de radiación. Este dispositivo forma parte de un aparato mayor que incluye un detector PET (Tomografía por Emisión de Positrones). El detector de partículas cargadas
10 se compone de una serie de planos hechos de fibras centelleadoras acopladas a SiPM (fotomultiplicadores de Silicio) y dos centelleadores más a continuación.

El documento US2014110592, describe una cámara Compton para reconstrucción de imagen que detecta las partículas generadas en una interacción Compton (radiación gamma y
15 electrones) describiendo asimismo distintos módulos con distintas disposiciones, y los resultados se analizan para la determinación del cono Compton.

El documento WO 2016140371 A1 describe un dispositivo con capacidad de detectar la traza (*tracking*) de energía depositada por un electrón emitido en la interacción Compton para una
20 mejor determinación de la dirección de incidencia de un rayo gamma. La invención descrita en este documento tiene como objetivo resolver el problema de la indeterminación del primer punto de interacción del rayo gamma cuando se produce dispersión múltiple en el detector o cuando interacciona simultáneamente otro rayo gamma, y el detector de electrones es el mismo en el que se produce la primera interacción Compton del fotón.

25 Sin embargo, la detección de la traza conlleva el uso de detectores de precisión (y frecuentemente de coste elevado), con capacidad de detectar varias interacciones del electrón, y los detectores que permiten determinar la traza en general tienen baja eficiencia de detección de fotones.

30 En el documento US 9535016 A1 el sistema reivindicado comprende un dispositivo para mejorar la eficiencia de las imágenes de CT (Tomografía Computarizada) mediante la utilización de los eventos dispersados en el paciente. Se propone en el documento un detector de electrones que detecta el escape de los electrones con el fin de descartar ese tipo de
35 eventos.

En el sistema descrito en el documento anterior, el objeto del que se pretende obtener la imagen se encuentra situado entre la fuente y un panel detector de radiación gamma. Los fotones de esta invención han de ser de baja energía, del orden de los empleados en CT, ya que se pretende que interaccionen con el objeto y sean dispersados en él.

5

Dadas las bajas energías de los fotones en este documento, los electrones emitidos en la interacción Compton en su mayoría no escapan del panel detector. Si lo hacen, tienen energías bajas y es muy poco probable que alcancen el objeto o el segundo detector. El problema que se plantea en este documento, y por lo que se propone añadir un detector de electrones, es que se llevan parte de la energía, que no se deposita en el detector, y con ello distorsionan la medida del evento. Gracias al detector de electrones esos eventos pueden ser rechazados. El detector de electrones pretende rechazar ese tipo de eventos, pero los electrones no interaccionan en el objeto ni con el segundo detector.

10

15

Ninguna de las soluciones presentes en el estado del arte permite determinar cuáles de los eventos registrados son buenos y cuáles no, con el fin de descartar estos últimos y mejorar la relación señal/ruido (SNR), sin necesidad de reconstruir la traza. Tampoco logran a su vez ser fácilmente compatibles con métodos de imagen estructurales y reconstrucción, lo que permitiría, en aplicaciones de terapia, una mejor determinación de la zona irradiada y del tumor.

20

En general los detectores Compton, y en particular los que obtienen imágenes utilizando fotones de alta energía, detectan un número elevado de eventos de fondo que distorsionan las imágenes obtenidas. Estos eventos se producen tanto por partículas incidentes en el primer detector, distintas a los fotones procedentes del objeto, como por partículas secundarias generadas al interaccionar el fotón con el primer detector o con detectores sucesivos.

25

30

Estas partículas interaccionan en los distintos detectores produciendo coincidencias aleatorias que el sistema registra como eventos buenos, dando lugar a un fondo de ruido en las imágenes. El número de estas partículas, y por tanto de los eventos de fondo, se incrementa con la energía de los fotones.

35

La invención propuesta pretende detectar los eventos de fondo producidos por partículas generadas en los detectores, y adicionalmente partículas cargadas de cualquier tipo (electrones, positrones, protones, iones, fragmentos cargados), procedentes de la radiación

incidente, para poder eliminarlos de las imágenes, cosa que no hace ninguna de las cámaras Compton del estado de la técnica. Además, proporciona información del evento para mejorar la resolución del dispositivo.

5 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la invención va dirigido a mejorar la relación señal/ruido en un dispositivo detector de fotones, mediante la detección de las partículas cargadas incidentes o generadas por la interacción de los fotones, y puede ser utilizado para monitorizar la dosis de radiación en
10 terapia hadrónica.

El dispositivo detector del primer aspecto de la invención comprende varios planos detectores, intercalando detectores de partículas cargadas y detectores de fotones, preferentemente procedentes de una radiación gamma.
15

De esta manera, el dispositivo detector del primer aspecto de la invención permite distinguir entre fotones y partículas cargadas, reduciendo el problema de ruido de fondo que provocan las partículas cargadas, mejorando así la relación señal/ruido SNR.

Preferentemente, el dispositivo detector, en una primera realización, consta de varios planos detectores que combinan un detector de partículas cargadas central (como puede ser un detector de silicio, fibras centelleadoras), con dos detectores optimizados para la detección (interacción Compton) de fotones de alta energía denominados primer detector de fotones y segundo detector de fotones (entre cientos de keV y 10-20 MeV), estando el detector de
20 partículas cargadas central posicionado entre ambos detectores de fotones e interaccionando los fotones en los paneles detectores de fotones. El detector de partículas cargadas permite determinar si las señales detectadas en el segundo detector de fotones corresponden a los
25 fotones dispersados en el primer detector de fotones, o a partículas cargadas.

En una realización alternativa, el dispositivo comprende adicionalmente un detector de partículas cargadas anterior, posicionado preferentemente entre una fuente de radiación incidente y el primer panel detector de fotones, y el detector de partículas cargadas central posicionado a continuación del primer panel detector de fotones, en un lado opuesto al del panel detector de partículas cargadas anterior. A continuación del panel detector de partículas
30 cargadas central está posicionado el segundo panel detector de fotones.
35

5 El panel detector de partículas cargadas central tiene capacidad de detectar partículas cargadas generadas por la interacción de fotones en el primer panel detector de fotones, generando una señal, dando opción tanto a rechazar, como a tener en cuenta esta información para reconstruir un evento, contribuyendo a determinar de modo más preciso la energía depositada en el primer detector de fotones y si el evento es válido o no válido.

El panel detector de partículas cargadas anterior permite detectar partículas cargadas procedentes de la radiación incidente y distinguirlas de los fotones.

10 En la presente invención, se pretende obtener una imagen de la distribución de emisión de los fotones (mediante radiotrazador, activación por irradiación externa o por ser radiactivo), como puede ser el cuerpo de un paciente, y por tanto es el propio objeto o paciente el que actúa como fuente de radiación y se sitúa delante del panel detector de fotones o del panel detector de partículas cargadas anterior, en función de la realización.

15 En la presente invención, no se pretende que los fotones interaccionen con el objeto, sino con el primer detector de fotones. La invención es útil en situaciones en que hay partículas cargadas incidiendo en el dispositivo o en las que la energía de los fotones es suficiente para producir partículas secundarias, y que pueden provocar un aumento del ruido en la imagen.

20 A diferencia de otros detectores con aplicación similar, el dispositivo de la realización alternativa de la invención, que comprende dos paneles detectores de partículas cargadas y dos paneles detectores de fotones posicionados en una estructura tipo sándwich, permite distinguir diferentes tipos de partículas, determinar si la partícula incidente es un fotón (evento válido) o una partícula cargada (evento válido o no válido). También permite determinar si los fotones, tras la interacción en cada uno de los detectores, continúan su trayectoria o si las partículas producidas por el fotón en la interacción con los detectores depositan toda su energía en el detector, o escapan.

30 Esta capacidad de detección permite reconstruir cada evento y determinar cuáles de los eventos registrados son buenos y cuáles no, con el fin de descartar estos últimos y mejorar la relación señal/ruido (SNR), y con ello las prestaciones del dispositivo de la invención con respecto a los sistemas existentes o en desarrollo.

Además, el dispositivo es compatible con métodos de imagen estructurales y reconstrucción, tales como la tomografía (TAC) y la resonancia magnética (MRI), lo que permite una mejor determinación de la zona irradiada y del tumor.

5 Es por tanto un segundo aspecto de la invención un método de detección de fotones y partículas cargadas.

Asimismo, el objeto de la invención, en un tercer aspecto de la misma, va dirigido a un uso que permite llevar a cabo una monitorización de la administración de la dosis de radiación en
10 terapia hadrónica basándose en los fotones de la radiación gamma preferentemente, que emite el tejido al ser irradiado.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

15 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

20 Figuras 1A y 1B.- Muestran una vista esquemática de una primera realización del dispositivo objeto de la invención.

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de una segunda realización del dispositivo objeto de la invención.

25 Figura 3.- Muestra una vista esquemática de una tercera realización del dispositivo objeto de la invención.

Figura 4.- Muestra una vista esquemática de una cuarta realización del dispositivo objeto de la
30 invención.

Figura 5.- Muestra una vista esquemática de una quinta realización del dispositivo objeto de la invención.

35 Figura 6.- Muestra una vista esquemática de una sexta realización del dispositivo objeto de la invención.

Figura 7.- Muestra dos gráficas donde se aprecian los valores registrados de coincidencias en función del espesor de cada detector de Si del detector de partículas cargadas, para fotones incidentes de 3 MeV (izquierda) y 6 MeV (derecha).

5 Figura 8.- Muestra dos gráficas donde se aprecian porcentaje de sucesos de ruido que el detector de partículas cargadas es capaz de detectar para fotones incidentes de 3 MeV (izquierda) y 6 MeV (derecha).

10 Figura 9.- Muestra dos gráficas donde se aprecian los porcentajes de fotones primarios (procedentes del haz) que interaccionan en el silicio para 3 MeV y 6 MeV a la izquierda y derecha respectivamente.

15 Figura 10.- Muestra un ejemplo de la reducción de ruido en una imagen 2D de un pico de Bragg simulado.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20 En una primera realización preferente del dispositivo correspondiente a un primer aspecto de la invención, que se puede apreciar en la figura 1A, se tiene un dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas, que presenta una estructura tipo sándwich, sobre el que incide una fuente de radiación, en el cual se tiene, primeramente, un primer panel detector de fotones (11) que provoca una dispersión Compton de los fotones incidentes, de manera que se produce aumento en su longitud de onda perdiendo parte de su energía antes de pasar hacia un siguiente panel.

25 A continuación del primer panel detector de fotones (11), en un lado opuesto al de la fuente de radiación, se sitúa un panel detector de partículas cargadas central (22), que detecta partículas cargadas generadas por la interacción de fotones en el primer panel detector de fotones (11), generando una señal, dando opción tanto a rechazar, como a tener en cuenta esta información para reconstruir un evento, contribuyendo a determinar de modo más preciso la energía depositada en el primer panel detector de fotones (11) y si el evento es válido o no válido. Con ello se logra mejorar los resultados del dispositivo.

30 Por último, en esta primera realización, el dispositivo comprende un segundo panel detector de fotones (12), a continuación del panel detector de partículas cargadas central (22), en un lado opuesto al de la fuente incidente de radiación, en el que interaccionan los fotones

dispersados en el primer panel detector de fotones. El panel detector de partículas cargadas central (22) permite asimismo distinguir si las partículas que inciden en el segundo panel detector de fotones (12) son fotones o partículas cargadas.

5 Adicionalmente, en una segunda realización, y tal y como se muestra en la figura 1B, el dispositivo puede comprender un panel detector de partículas cargadas anterior (21), preferentemente fabricado en un material que comprende Silicio, y ubicado entre la fuente de radiación incidente y el primer panel detector de fotones (11), que detecta partículas cargadas, tanto de la radiación incidente como del ambiente, generando una señal al atravesar dicho
10 panel detector anterior (21) las partículas cargadas.

En una posible tercera realización de la invención, como la que se muestra replicada en la figura 2, el dispositivo comprende además de los dos paneles detectores de fotones (11, 12) con cristales centelleadores (en este caso de LaBr₃, pero puede ser de LaBr₃, CeBr₃, o un
15 detector semiconductor de CdTe o CZT), y el detector de partículas cargadas anterior (21) y detector de partículas cargadas central (22), formados por detectores de silicio, un panel detector de partículas cargadas posterior (23), que detecta partículas cargadas de la radiación incidente que atraviesan el segundo panel detector de fotones (12), generando una señal.

20 En un ejemplo de realización llevado a cabo mediante simulación, se hace incidir un haz de fotones o de electrones de 3/6 MeV y se registran los sucesos que dan lugar a señales en ambos paneles detectores de fotones (11, 12) en coincidencia temporal, y se estudia si los detectores de partículas cargadas (21, 22) de Silicio cumplen su función de ayudar a distinguir las partículas cargadas de los fotones, es decir, los sucesos válidos del ruido de fondo.

25 En una cuarta realización de la invención mostrada en la figura 3, el dispositivo comprende adicionalmente un segundo panel detector de partículas cargadas central (22).

En una quinta realización de la invención, el dispositivo comprende adicionalmente un tercer
30 panel detector de fotones (13). Entre los tres paneles detectores de fotones (11, 12, 13) pueden disponerse un panel detector de partículas cargadas central (22) y un panel detector de partículas cargadas posterior (23) entre el segundo y tercer panel detectores de fotones (22, 23). Además, puede situarse un panel detector de partículas cargadas anterior (21) entre la fuente de radiación y el primer panel detector de fotones (11) y /o un panel detector de
35 partículas cargadas trasero (26) a continuación del tercer panel detector de fotones (13).

Alternativamente en esta quinta realización, tal y como se muestra en la figura 4, entre la fuente de radiación y el primer panel detector de fotones (11), pueden situarse dos paneles detectores de partículas cargadas anteriores (21) y dos paneles detectores de partículas cargadas centrales (22) entre el primer detector de fotones (11) y el segundo panel detector de fotones (12). A continuación del último, se posicionan dos paneles detectores de partículas cargadas posteriores (23).

En una sexta realización alternativa de la invención, mostrada en la figura 5, además de los elementos de la primera realización descritos en la figura 1B, el dispositivo comprende dos parejas de detectores de partículas cargadas laterales (24). Cada uno de los detectores de partículas cargadas laterales (24) de cada pareja se posiciona a cada lado de, o bien el primer detector de fotones (11) o del segundo detector de fotones (12), perpendicularmente a ellos. De esta manera, tienen la capacidad de detectar partículas cargadas de la radiación incidente que atraviesan los paneles detectores de fotones (11, 12) y que se desvían de una trayectoria perpendicular a estos.

En una séptima realización de la invención, reflejada en la figura 6, que comprende todos los elementos de la primera realización mostrados en la figura 1B, el dispositivo comprende adicionalmente dos parejas de detectores de partículas cargadas alineados (25), los detectores de cada pareja se posicionan uno al lado del otro, y cada una de las parejas de detectores de partículas cargadas alineados (25) se sitúan a continuación del primer detector de fotones (11) y del segundo detector de fotones (12). De esta manera, estos detectores tienen la capacidad de detectar las partículas cargadas que atraviesan los paneles detectores de fotones (11, 12) que se desvían de la trayectoria perpendicular a estos.

Adicionalmente, y en todas las realizaciones descritas anteriormente, el dispositivo puede comprender un primer detector de señal asociado a cada detector de fotones (11, 12, 13) y un segundo detector de señal asociado a cada panel detector de partículas cargadas (21, 22, 23, 24, 25, 26).

Se aportan en este documento dos posibles casos de implementación del método objeto de un segundo aspecto de la invención: un primer caso en el que llegan al dispositivo partículas cargadas, y un segundo caso en que incide una radiación gamma en el cristal centelleador del primer panel detector de fotones (11) y las partículas secundarias generadas hacen que el suceso no sea válido.

Para simular el primer caso, se hace incidir sobre el dispositivo de la figura 3, que comprende cuatro paneles detectores de partículas cargadas (21, 22, 23) entre los cuales se encuentran respectivamente dispuestos cada uno de los paneles detectores de fotones (11, 12), un haz de rayos gamma o de electrones de 3 MeV en la superficie del panel detector de partículas cargadas anterior (21), a la izquierda en la figura 3.

En este caso los detectores de fotones (11, 12) son de LaBr₃, de 32×35mm² y 10mm de espesor, separados entre sí 30 mm. Se registran los sucesos que den lugar a señales en ambos detectores de fotones (11, 12) en coincidencia temporal y se estudia si los detectores de partículas cargadas (21, 22, 23) cumplen su función de ayudar a distinguir los sucesos válidos del fondo de ruido.

Al analizar los resultados, se observa que el 0.715 % de los eventos produce interacción en los dos paneles detectores de fotones (11, 12) en coincidencia y por tanto son registrados por el dispositivo como sucesos potencialmente válidos. Sin embargo, estos eventos corresponderían a ruido, puesto que la interacción no es debida a fotones. De ellos, casi la totalidad de los eventos (0.714%) produce una señal en el panel detector de partículas cargadas anterior (21), el cual se encuentra ubicado delante del primer panel detector de fotones (11) en el lado de incidencia de la radiación del panel detector de partículas cargadas (11), por lo que son rechazados fácilmente.

Con el fin de ilustrar la eficiencia del dispositivo en diferentes situaciones, en el segundo caso se llevaron a cabo simulaciones diversas, con haces de fotones de 3 MeV o de 6 MeV que inciden sobre el dispositivo y variando el espesor de los detectores de fotones (11, 12) entre 50 micrómetros y 1000 micrómetros.

Se estudia el porcentaje de eventos detectados en tres casos:

En un primer caso, referido en las gráficas de la figura 7, de un total de eventos simulados (1 millón para cada espesor de los paneles detectores de partículas cargadas (21, 22, 23)), en función del espesor de los paneles detectores de partículas cargadas (21, 22, 23) para fotones incidentes de 3 MeV y 6 MeV correspondientes a la gráfica de la izquierda y derecha respectivamente. Los valores registrados son adecuados para dos paneles detectores de fotones (11, 12) en coincidencia con las dimensiones y geometría estudiados, e incluyen tanto sucesos buenos como sucesos malos o ruidosos.

En un segundo caso, referido en las gráficas de la figura 8 para fotones de radiación incidentes de 3 MeV y 6 MeV, en la gráfica de la izquierda y derecha respectivamente, de entre los eventos registrados como coincidencias en cada caso, porcentaje de sucesos de ruido que el panel detector de partículas cargadas anterior (21) es capaz de detectar. Estos sucesos de ruido degradarían la respuesta del primer detector de fotones (21), pero gracias al panel detector de partículas cargadas anterior (21) pueden ser detectados y eliminados del análisis.

En un tercer caso, referido en las gráficas de la figura 9, de entre los eventos registrados como coincidencias en cada caso, porcentaje de fotones primarios (procedentes del haz de radiación incidente) que interaccionan en el panel detector de partículas cargadas anterior (21) (para 3 MeV y 6 MeV a la izquierda y derecha respectivamente). Estos son eventos de ruido no deseados que se generan por incluir en el dispositivo el panel detector de partículas cargadas anterior (21).

El objeto de la invención es capaz de detectar, mediante el panel detector de partículas cargadas anterior (21), un porcentaje significativo de eventos de ruido que degradarían su respuesta (la práctica totalidad de las partículas cargadas incidentes y un 20-30% de las coincidencias registradas), y pueden ser eliminados. Los eventos de ruido generados al introducir el panel detector de partículas cargadas anterior (21), que a su vez pueden degradar el rendimiento del dispositivo, se mantienen en niveles reducidos. Por tanto, se mejora el rendimiento frente a los dispositivos que incorporan únicamente paneles detectores de fotones.

En la figura 10 se muestra la reducción de ruido en una imagen de un pico de Bragg simulado. En la imagen de la izquierda se incluyen todos los eventos. En la imagen de la derecha se han eliminado los eventos con interacción en el Silicio. Como se puede comprobar en la figura 10, gracias a la utilización de la presente invención, se produce una reducción significativa del ruido en la imagen.

Las imágenes de la figura 10 se han obtenido con un dispositivo basado en una realización como la de la figura 3, en la que se tiene un primer panel detector de fotones (11) entre dos paneles detectores de partículas cargadas (21, 22), y un segundo panel detector de fotones (12) entre otros dos paneles detectores de partículas cargadas (22, 23).

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas, caracterizado por que comprende:

- 5 - un primer panel detector de fotones (11), que provoca una dispersión Compton de una radiación incidente con partículas cargadas, de manera que se produce aumento en su longitud de onda perdiendo parte de su energía, generando una señal,
- 10 - un panel detector de partículas cargadas central (22), a continuación del primer panel detector de fotones (11) en un lado opuesto al de la radiación incidente y que identifica partículas cargadas generadas en el primer panel detector de fotones (11), generando una señal, y
- 15 - un segundo panel detector de fotones (12), a continuación del panel detector de partículas cargadas central (22), en un lado opuesto al del primer panel detector de fotones (11), donde interaccionan los fotones dispersados y/o las partículas cargadas generadas en el primer panel detector de fotones (11), generando una señal.

2.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un panel detector de partículas cargadas anterior (21) ubicado entre la radiación incidente y el primer panel detector de fotones (11), que identifica partículas cargadas de la radiación incidente o del ambiente, generando una señal.

20

3.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente un detector de partículas cargadas posterior (23) que detecta partículas cargadas generadas por la interacción de fotones en el segundo panel detector de fotones (12).

25

4.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 3, que comprende adicionalmente un segundo panel detector de partículas cargadas central (22).

30 5.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un tercer panel detector de fotones (13) posicionado a continuación del segundo panel detector de fotones (12), y un panel detector de partículas cargadas posterior (23) posicionado entre el segundo panel detector de fotones (12) y el tercer panel detector de fotones (13).

35

6.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 5, que comprende adicionalmente un panel detector de partículas anterior (21) posicionado entre la fuente de radiación y el primer panel detector de fotones (11).

5 7.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 5, que comprende adicionalmente un panel detector de partículas cargadas trasero (26) posicionado a continuación del tercer panel detector de fotones (13).

10 8.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 5, que comprende adicionalmente un panel detector de partículas anterior (21) posicionado entre la fuente de radiación y el primer panel detector de fotones (11), y un panel detector de partículas cargadas trasero (26) posicionado a continuación del tercer panel detector de fotones (13).

15 9.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 4, que comprende adicionalmente un segundo panel detector de partículas cargadas anterior (21), un segundo panel detector de partículas cargadas posterior (23), un tercer panel detector de fotones (13) a continuación de los paneles detectores de partículas posteriores (23), y dos paneles detectores de partículas cargadas traseros (26), a continuación del tercer panel detector de fotones (13).

20 10.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente unas parejas de detectores de partículas cargadas laterales (24), estando posicionada una primera pareja perpendicularmente a cada lado del primer detector de fotones (11) y una segunda pareja perpendicularmente a cada lado del segundo detector de fotones (12).

30 11.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas de la reivindicación 2, que comprende adicionalmente unas parejas de detectores de partículas cargadas alineados (25), posicionados los detectores de partículas cargadas alineados (15) de cada pareja alineados uno al lado de otro, estando una de las parejas posicionada entre el primer detector de fotones (11) y el detector de partículas cargadas central (22), y una segunda pareja posicionada a continuación del segundo detector de fotones (12).

35 12.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un primer detector de señal

asociado a cada detector de fotones (11, 12, 13) y un segundo detector de señal asociado a cada panel detector de partículas cargadas (21, 22, 23, 24, 25, 26).

5 13.- El dispositivo de detección de fotones y partículas cargadas, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los paneles detectores de fotones (11, 12, 13) son unos detectores basados en un material centelleador seleccionado entre LaBr₃, CeBr₃, GAGG o un detector semiconductor seleccionado entre CdTe y CZT .

10 14.- Método de detección de fotones y partículas cargadas que hace uso del dispositivo descrito en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende las etapas de:

- determinar un nivel de señal en al menos uno de los paneles detectores de partículas cargadas (21, 22, 23, 24, 25, 26) mediante detector de señal, y
 - definir como evento negativo cuando el nivel de señal determinado en el paso anterior es distinto de 0.
- 15

15.- Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 para monitorizar dosis de radiación en terapia hadrónica.

20 16.- Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 para reconstrucción de imágenes.

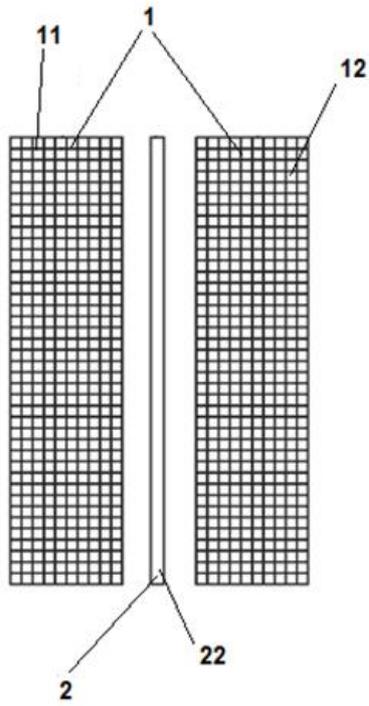


FIG. 1A

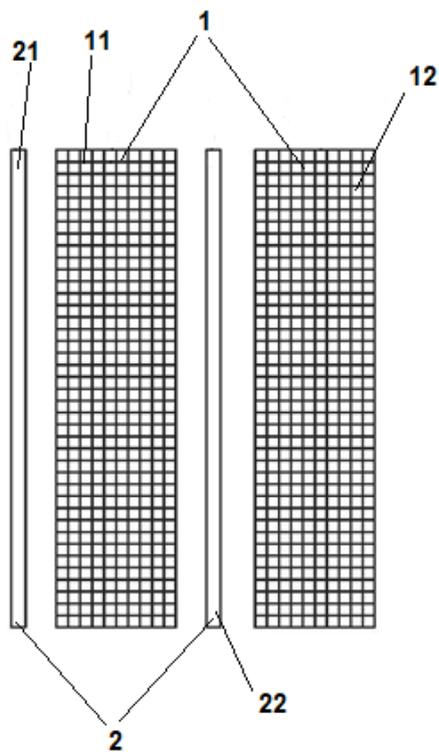


FIG. 1B

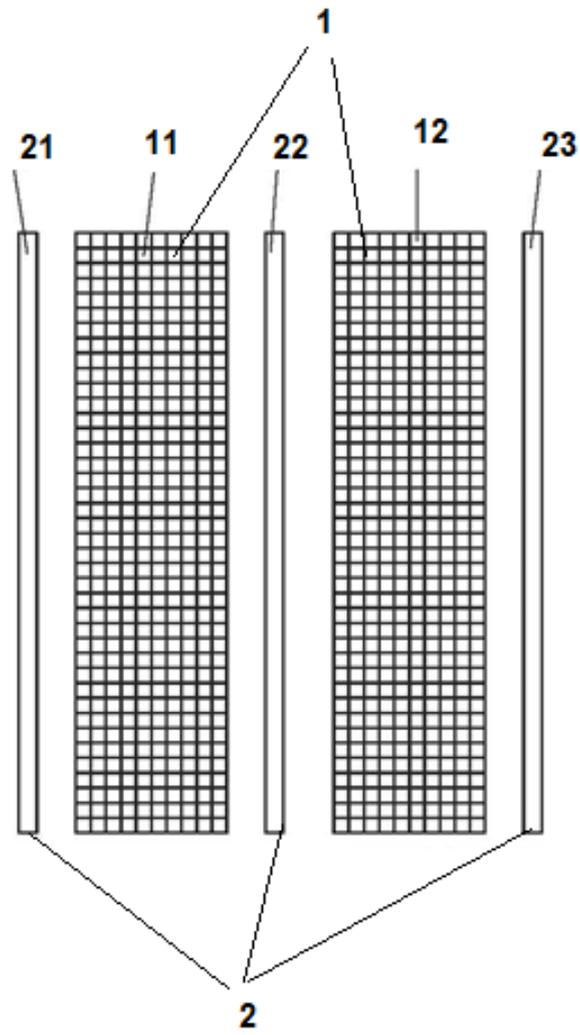


FIG. 2

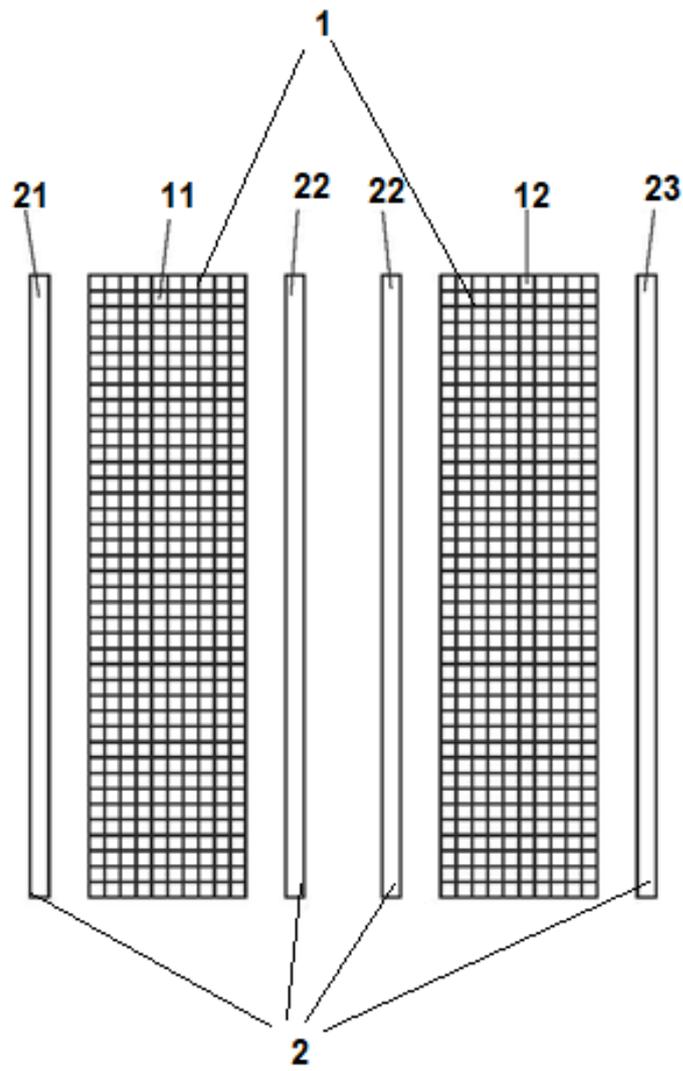


FIG. 3

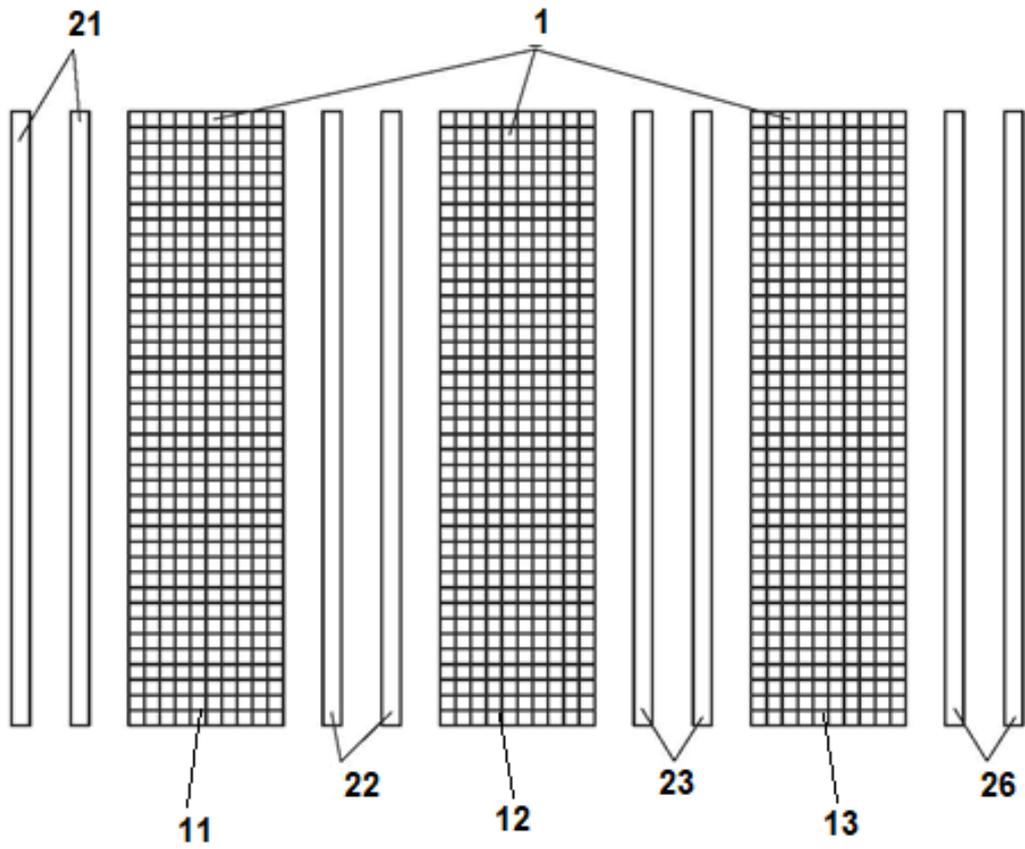


FIG. 4

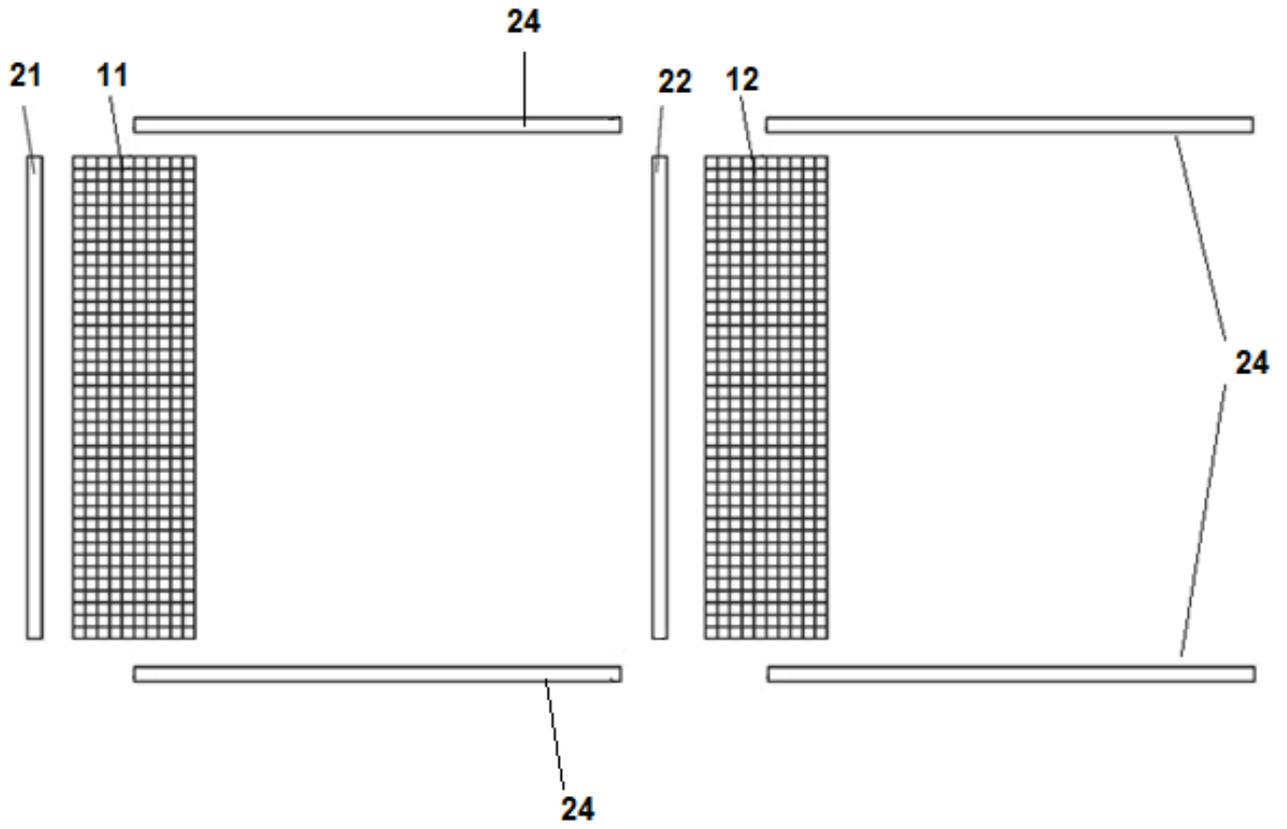


FIG. 5

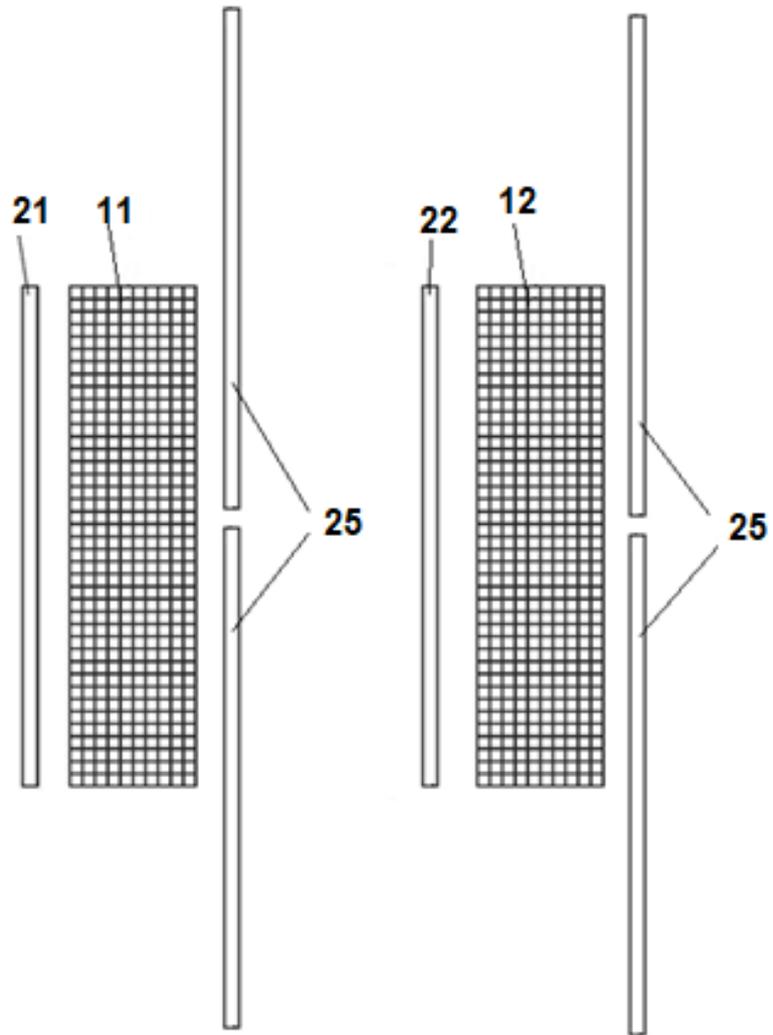


FIG. 6

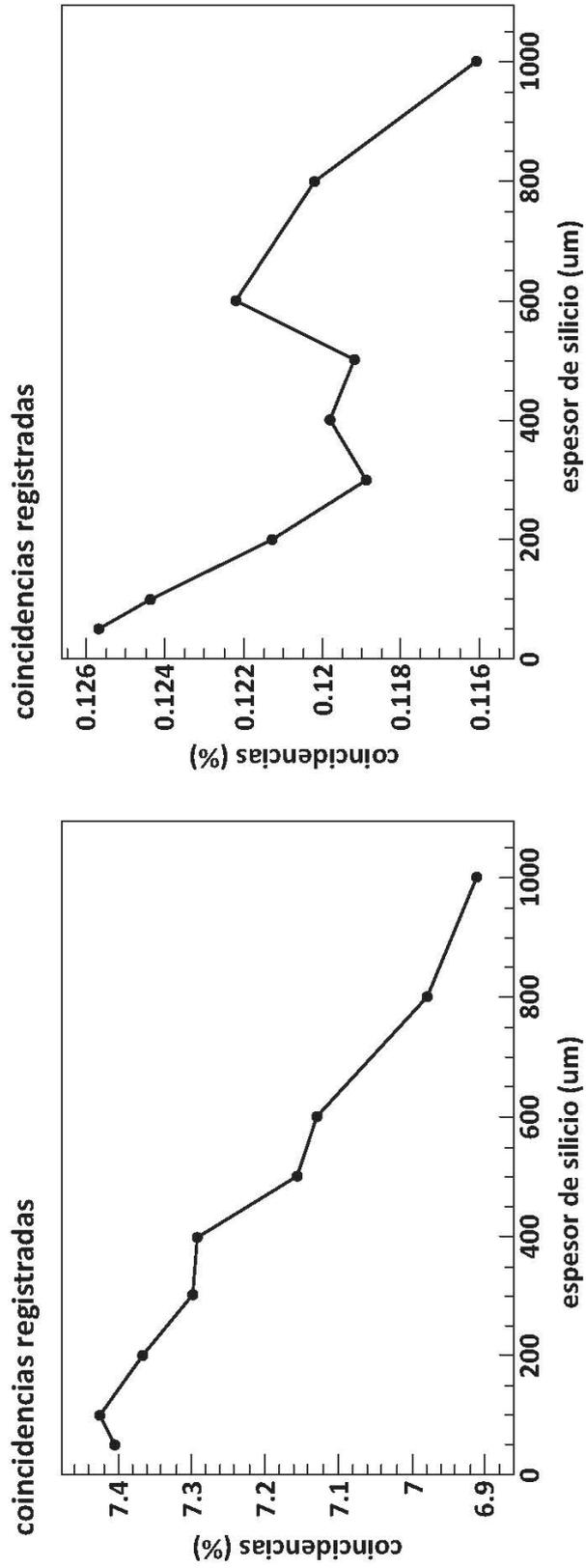


FIG. 7

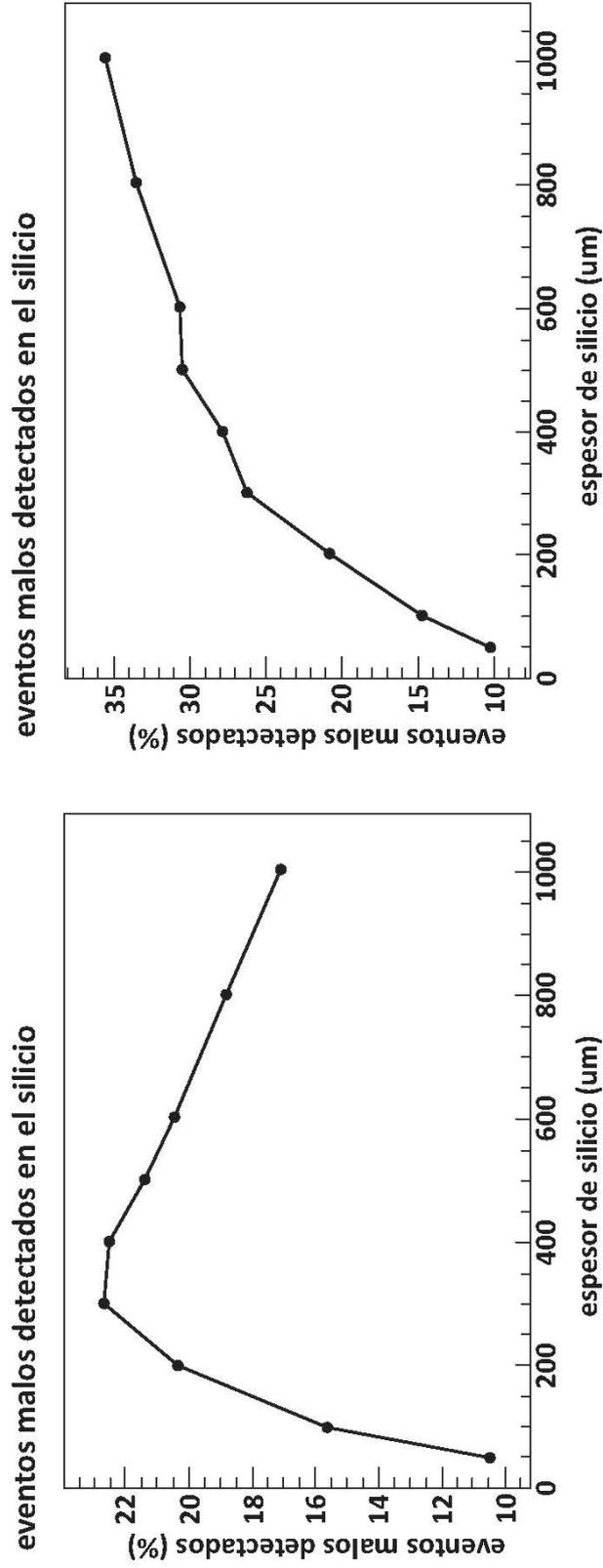


FIG. 8

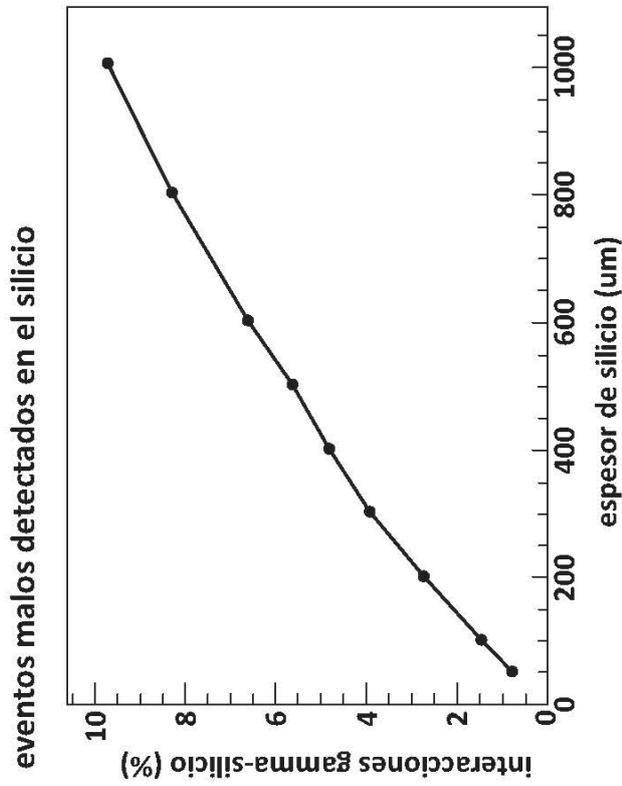
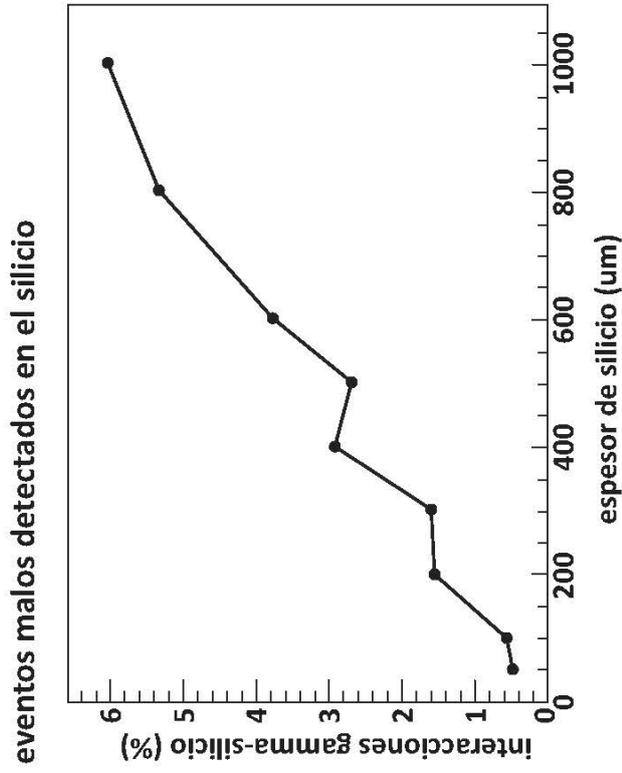


FIG. 9

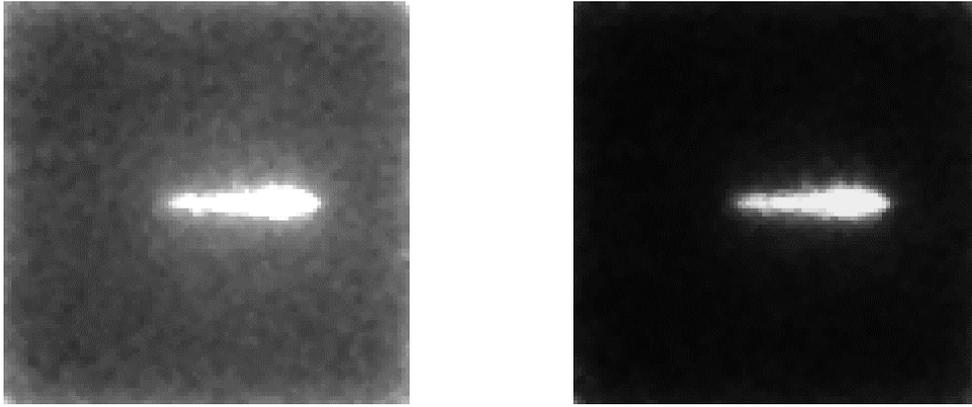


FIG. 10