

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 181**

51 Int. Cl.:

G01T 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.05.2009 PCT/EP2009/055645**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.11.2009 WO09138371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.05.2009 E 09745703 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2277062**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de control continuo de personas, de vehículos, de contenedores o de paquetes**

30 Prioridad:

13.05.2008 FR 0853081

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

23.04.2019

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**GUILLOT, LUDOVIC;
REBOLI, ANNE y
ABT, DOMINIQUE**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 710 181 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

Dispositivo y procedimiento de control continuo de personas, de vehículos, de contenedores o de paquetes

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento de control continuo de personas, de vehículos, contenedores (containers) o paquetes que comprenden un dispositivo para detectar e identificar en tiempo real una fuente de radiación gamma en movimiento.

10 El campo de la invención es el de la prevención de los riesgos asociados con los transportes ilegales de materiales radiactivos y nucleares y, más particularmente, el de la supervisión continua sin ningún punto de desaceleración obligatoria de personas, de vehículos, de contenedores o de paquetes.

15 **Estado de la técnica anterior**

Cerca de 300.000 paquetes autorizados de material radioactivo (por ejemplo, fuentes usadas en la industria o productos radiofarmacéuticos), sin mencionar el transporte de materiales que contienen altas concentraciones de radionúclidos naturales que circulan en Francia cada año, por vía terrestre, marítima o aérea. En este flujo, se busca detectar, con la ayuda de un sistema de supervisión radiológica de los movimientos con visión criminal.

25 La supervisión radiológica de mercancías e individuos a escala de un territorio requiere el uso de sistemas apropiados de detección de radiactividad con el fin de no perturbar el tráfico normal o molestar innecesariamente a la población. En particular, tales sistemas deben controlar continuamente el flujo de personas y de mercancías sin limitar su movimiento. Por lo tanto, estos sistemas de detección deben poder detectar una fuente en movimiento cuya velocidad puede alcanzar los 100 km/h a distancias de varios metros.

30 Con el fin de diferenciar las fuentes radiactivas transportadas ilegalmente de numerosas otras fuentes que transitan legalmente el territorio o nuestras fronteras, es tan importante detectar una fuente radiactiva como identificar su naturaleza. La identificación de tal fuente debe hacerse rápidamente, en tiempo real y con la menor tasa de falsas alarmas posibles. Es, por lo tanto, necesario, para limitar el número de transportes de material a inspeccionar, recurrir a un sistema que permita la detección y la identificación inmediata de los radionúclidos detectados.

35 En el ámbito de la detección y de la identificación de fuentes radiactivas en movimiento, se conocen de este modo varios dispositivos.

40 Un primer dispositivo de la técnica conocido, descrito en el documento referenciado [1] al final de la descripción, que es un detector modular y transportable que permite detectar e identificar una o varias fuentes radiactivas que se desplazan rápidamente, comprende al menos un detector de radiactividad que funciona a temperatura ambiente, un espectrómetro digital que permite el muestreo de la señal por períodos inferiores a 150 ms y una unidad de adquisición y de procesamiento. La detección e identificación de anomalías radiactivas se llevan a cabo sucesivamente mediante dos algoritmos. En primer lugar, un algoritmo basado en el método SPRT ("Sequential Probability Ratio Test") permite determinar si las variaciones en el recuento se deben a fluctuaciones estadísticas del fondo radiológico o a una anomalía radiactiva. Una vez aislado el espectro representativo de una anomalía radiactiva, un segundo algoritmo permite la identificación de la fuente en el origen de la anomalía.

50 Un segundo dispositivo de la técnica conocida, descrito en el documento referenciado [2], que es un detector fijo para detectar e identificar una o varias fuentes radiactivas que se desplazan rápidamente, comprende al menos un detector de radiactividad que funciona a temperatura ambiente, un espectrómetro digital que permite el muestreo de la señal por períodos al menos iguales a 125 ms y una unidad de adquisición y de procesamiento. La detección de una anomalía radiactiva se realiza principalmente mediante la correlación entre varios espectros que contienen la información del paso de una fuente radiactiva, de donde un tiempo de recuento es necesariamente corto. Una vez aislada la anomalía, la identificación del radionúclido se realiza por correspondencia entre la energía de la anomalía detectada y la energía de emisión del radionúclido contenido en una biblioteca.

55 Además, un algoritmo para detectar e identificar anomalías gamma en un espectro de la técnica conocida, descrito en el documento referenciado [3], que es un algoritmo para la detección e identificación de radionúclidos mediante el análisis del perfil espectral de la técnica conocida desarrollada para el análisis de mediciones de rayos gamma en el aire registradas desde el detector de yoduro de sodio (NaI), depende de la ubicación de los picos de absorción total en todo el rango de energía de 0 a 3 MeV. Este algoritmo permite, a pesar de una estadística de recuento baja debido a tiempos de conteo cortos (de 0,5 a 5 s), detectar e identificar anomalías gamma en un solo espectro, sin necesidad de conocer previamente los radionúclidos presentes. Finalmente, el documento referenciado [4] describe un procedimiento de análisis de espectros gamma. Este documento describe, en particular, que es ventajoso, en primer lugar, retirar la influencia del fondo radiológico (llamado "zero-background"), y segundo lugar, de la influencia de otros tipos de interacciones, tales como la difusión Compton o la producción de pares.

65

El objetivo de la invención es, con respecto a estos dispositivos de la técnica anterior, mejorar la detección de fuentes radiactivas en movimiento y su identificación en tiempo real.

Exposición de la invención

5 La invención se refiere a un dispositivo de control tal como se define en la reivindicación 1, continuamente de personas, de vehículos, contenedores o paquetes que comprenden un dispositivo para detectar e identificar en tiempo real una fuente de radiación gamma, en movimiento, que comprende:

- 10
- al menos un detector de radiación que emite una señal proporcional a la radiación gamma,
 - al menos un espectrómetro que permite el muestreo y dar forma a esta señal,
 - una unidad de adquisición y de procesamiento que permite procesar automáticamente los datos procedentes del espectrómetro,
 - una estación de control remota,

15 caracterizada por que dicha unidad de adquisición y de procesamiento comprende medios de análisis del espectro que constan sucesivamente:

- 20
- de medios de suavizado de este espectro,
 - de medios de cálculo de un espectro de referencia
 - de medios de resta de este espectro de referencia,
 - de medios de búsqueda de los picos de absorción total,
 - de primeros medios de validación de la detección de picos,
 - de medios de estimación el fondo bajo los picos validados del espectro,
- 25
- de medios para calcular las características de los picos,
 - de segundos medios de validación de la detección de picos,
 - de medios de identificación de los radionúclidos de la fuente radiactiva,
 - de medios de visualización de los resultados.

30 En una variante realización, al menos una pantalla de plomo o de cobre se agrega a una de las caras de al menos un detector. El al menos un espectrómetro puede ser un espectrómetro analógico que permite un muestreo de la señal al menos cada segundo. Esto también puede ser un espectrómetro digital que permite un muestreo de la señal al menos cada 0,5 segundos.

35 Según la invención, el detector comprende al menos un cristal de yoduro de sodio. Cuando comprende varios cristales, el dispositivo de la invención comprende un espectrómetro para cada cristal, y medios para sumar las señales resultantes antes de que se envíen hacia la unidad de adquisición y de procesamiento. Cada cristal dispone de un espectrómetro para dar forma a las señales directamente a la salida de este. Si está en una baliza, varios cristales están presentes, las señales procedentes de cada espectrómetro se sincronizan y luego se suman antes

40 del procesamiento por parte del algoritmo. El aumento del número de cristales permite aumentar la sensibilidad del dispositivo aumentando su superficie.

El dispositivo de la invención puede constar de, además:

- 45
- un sistema de toma de imágenes,
 - un sistema de posicionamiento GPS,
 - un sistema de transmisión remota de datos a una estación de control remoto,
 - un detector de neutrones.

50 En una variante realización, varios dispositivos según la invención también pueden estar interconectados o conectados a la misma estación de control remoto, formando así una red. Esto permite correlacionar los datos provenientes de varios dispositivos y deducir información adicional sobre el desplazamiento de un proveedor de fuente o sobre la ubicación precisa de esta fuente, por ejemplo.

55 La invención también se refiere a un procedimiento de control, según la reivindicación 10, continuamente de personas, de vehículos, contenedores o paquetes que comprenden una detección y una identificación en tiempo real una fuente de radiación gamma, en movimiento que comprende las siguientes etapas:

- 60
- registro del espectro de radiación emitido por esta fuente,
 - análisis del espectro de la señal detectada,

caracterizado por que esta etapa de análisis comprende las siguientes fases:

- 65
- suavizando de este espectro,
 - cálculo de un espectro de referencia,
 - resta de este espectro de referencia,

- búsqueda de los picos de absorción total,
 - primera validación de detección de picos,
 - estimación de fondo bajo los picos validados del espectro,
 - cálculo de las características de los picos,
- 5
- segunda validación de la detección de picos,
 - identificación de los radionúclidos de la fuente radiactiva,
 - visualización de los resultados, clasificando una fuente detectada como no siendo una amenaza, como pudiendo ser una amenaza y como siendo una amenaza.
- 10
- Ventajosamente, la fase de suavizado comprende un ajuste por el método de mínimos cuadrados de un polinomio de grado 4 en los datos brutos. El espectro de referencia es un espectro promedio calculado sobre un número parametrizable de N mediciones (N entero positivo superior a 1). El espectro de referencia se recalcula a partir de las últimas N mediciones. El cálculo del espectro de referencia no tiene en cuenta un punto de medición para el que se ha detectado al menos un pico, validado e identificado como resultante de la emisión de un radionúclido.
- 15
- búsqueda de picos comprende el estudio sucesivo de la primera y segunda derivadas del espectro, siendo un pico detectado cada vez que la primera derivada toma valores positivos o que la segunda derivada toma valores negativos. En la primera validación de la detección de los picos, un pico se valida cuando la primera y la segunda derivadas exceden un umbral respectivo. En la segunda validación de la detección de los picos, se valida un pico, si el área calculada de este pico es superior al umbral de decisión asociado y si la resolución de este pico es superior a
- 20
- la mitad de la resolución teórica. En la fase de identificación de los radionúclidos de la fuente, las energías de los picos de absorción total detectados y validados se comparan con las energías dadas por una tabla de radioelementos definida por el usuario.
- 25
- La invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento en tiempo real (a una velocidad de un segundo) para detectar e identificar fuentes radiactivas presentes en un portador (personas, vehículo, paquetes, contenedor) en movimiento y no una adquisición, luego, un análisis de los datos a posteriori que permite cartografiar una zona e identificar la presencia y la cantidad de elementos radiactivos.
- 30
- La invención reivindicada se refiere también un dispositivo y un procedimiento que permite emitir una alarma en tiempo real tras la identificación de una fuente radioactiva ilícita excluyendo las falsas alarmas debidas a unas fuentes radiactivas naturales o utilizadas en diagnóstico o atención médica.
- 35
- En la invención, se usa una estación remota para validar la alarma y permitir que un operario identifique en tiempo real el portador (directamente o en imágenes del vídeo desencadenado por la alarma). Para ello, los datos relevantes (espectro, resultado de la identificación, nivel máximo de energía, imágenes tomadas durante la emisión de la alarma) y la alarma se envían en tiempo real a la estación de control remoto.
- 40
- En la invención, las alertas transmitidas son parametrables en función del nivel de riesgo.
- 45
- Desde el punto de vista del tratamiento necesario para esta detección e identificación en tiempo real, la originalidad de la invención se basa en un método de búsqueda de picos de forma gaussiana en un perfil espectral para duraciones de adquisición del orden de un segundo.
- 50
- La consideración del ruido de fondo es original en el sentido de que, en la invención, se realiza de forma deslizante con el tiempo tener en cuenta las posibles variaciones temporales de este ruido de fondo. El cálculo del espectro de referencia también excluye cualquier espectro en donde se haya detectado una anomalía radiológica. El espectro de referencia es, por lo tanto, representativo del ruido de fondo local del sitio en un momento dado.
- 55
- Con respecto a los dispositivos del estado de la técnica analizados anteriormente y descritos en los documentos a los que se hace referencia [1], [2], [3], [4], el procedimiento de la invención presenta las siguientes ventajas.
- 60
- Los documentos a los que se hace referencia [1] y [2] se refieren a métodos de análisis de una señal en tiempo real. Sin embargo, los algoritmos de detección de radionúclidos propuestos se basan en métodos estadísticos. El procedimiento para detectar radionúclidos propuesto en el ámbito de la invención se basa en, en cuanto a él, un procedimiento de análisis de perfil espectral, lo que tiene la ventaja de poder funcionar sin hipótesis sobre el número y la naturaleza de los radioelementos a detectar. Además, este tipo de procesamiento permite una mejor estimación de la energía de un pico de absorción total y, por lo tanto, facilita su identificación.
- 65
- El documento referenciado [3] se refiere a un procedimiento de procesamiento de la señal basado en el análisis del perfil espectral. Este algoritmo permite la detección de cantidades muy pequeñas de radionúclidos, pero se ha desarrollado específicamente en el ámbito de la supervisión radiológica en el aire y funciona sin información sobre el fondo radiológico ambiental. El documento al que se hace referencia [4] se refiere a un procedimiento de tratamiento cercano al ella. El procedimiento de detección de radionúclidos propuesto en el ámbito de la invención tiene en cuenta los antecedentes radiológicos ambientales y su evolución a lo largo del tiempo, lo que hace posible mejorar su rendimiento de detección.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra el dispositivo de la invención.

La figura 2 ilustra las diferentes etapas del procedimiento de la invención.

La figura 3 ilustra el suavizado de un espectro bruto por un filtro digital.

La figura 4 ilustra la búsqueda de los picos de absorción totales al estudiar la primera y la segunda derivadas del espectro después del filtrado.

La figura 5 ilustra la estimación del fondo radiológico bajo los espectros no suavizados.

La figura 6 ilustra la visualización de los resultados.

Descripción detallada de modos de realización particulares

Como se ilustra en la figura 1, el dispositivo de la invención 10, para cubrir las necesidades relacionadas con la detección y la identificación de fuentes de radiación, gamma, en movimiento comprende:

- al menos un detector 11,
- al menos un espectrómetro 12 analógico o digital,
- una unidad de adquisición y de procesamiento 13,
- una base de control 14.

La originalidad de la invención radica principalmente en un procedimiento de análisis de los espectros específico que funciona en la unidad de adquisición y de procesamiento y que permite la detección e identificación en tiempo real de los radionúclidos de la fuente radiactiva.

1. El al menos un detector 11

El al menos un detector 11 comprende, por ejemplo, uno o varios cristales de yoduro de sodio (NaI) seleccionados por su gran volumen de detección (tamaño unitario 10,16 cm x 10,16 cm x 40,64 cm). Este volumen de detección proporciona una eficacia de detección importante, necesaria para mediciones realizadas en periodos muy cortos. Además, tales cristales permiten obtener una información espectroscópica de una señal radiactiva que le permite su identificación.

También se puede agregar una pantalla en una o varias caras del detector, para permitir reducir el fondo radiológico y así mejorar la detección en una dirección dada. Esta pantalla puede estar compuesta por una lámina de plomo de 1 a 2 mm de espesor y una lámina de cobre de 0,5 mm de espesor.

2. El al menos un espectrómetro 12

La señal detectada se recupera en la salida del detector 11 por un espectrómetro analógico o digital 12. Esto permite un muestreo de la señal, al menos cada segundo para un espectrómetro analógico y cada 0,5 segundos o más para un espectrómetro digital.

Si se usan varios cristales de NaI para la detección, se utiliza un espectrómetro para cada cristal y las señales resultantes se suman antes de enviarse hacia la unidad de adquisición y de procesamiento 13.

Este espectrómetro 12 permite muestrear la señal proveniente de un detector NaI; siendo el período de muestreo superior a 0,5 s.

3. La unidad de adquisición y de procesamiento 13

La señal muestreada se transmite a la unidad de adquisición y de procesamiento 13 compuesta por diferentes interfaces de entrada y de salida, un procesador, y una unidad de almacenamiento de datos e impulsado por un sistema de explotación. La unidad de adquisición y de procesamiento 13 realiza las diversas etapas del procedimiento de la invención permitiendo el análisis de los datos.

La unidad de adquisición y de procesamiento 13 permite la adquisición de la señal, el funcionamiento de los algoritmos de detección y de identificación y, posiblemente, la transferencia de la información relacionada con una detección de anomalías a una estación de control remoto remota 14. La unidad de adquisición y de procesamiento 13 está compuesta por un procesador, por una unidad de almacenamiento de datos, como, por ejemplo, un disco duro.

En un ejemplo de realización del dispositivo para detectar e identificar fuentes gamma en movimiento, utiliza componentes electrónicos disponibles comercialmente y un algoritmo de detección e identificación de anomalías radiactivas desarrollado específicamente para la aplicación.

Los espectros gamma registrados por la unidad de adquisición y de procesamiento 13 están constituidos por la suma

de un fondo radiológico continuo y uno o varios picos de absorción total que son las contribuciones espectrales características de los elementos radioelétricos en presencia. La difusión de la radiación, el ruido de fondo gamma de la instrumentación, así como los rayos cósmicos, son las principales contribuciones al fondo radiológico continuo.

5 La detección y la identificación de los radioelementos se llevan a cabo desde su(s) pico(s) de absorción total presentes en un espectro. El procesamiento de mediciones hace posible aislar estos picos de absorción total del fondo radiológico mediante un método de análisis del perfil espectral y luego identificar el emisor.

Para ello, el procedimiento de la invención resuelve varias dificultades:

- 10
- El tiempo de adquisición, necesariamente corto para obtener una buena sensibilidad a las fuentes que se desplazan rápidamente, conlleva importantes fluctuaciones estadísticas en el espectro gamma. La amplitud de estas fluctuaciones puede ser superior a la amplitud de los picos de absorción total.
 - La resolución del detector de tipo NaI es del orden de aproximadamente 8 % a 662 keV. Ayuda a reducir el pico al fondo radiológico en cada canal y hace que sea más difícil detectar y localizar picos.
 - Los radioelementos (40K, 238U y 232Th y sus descendientes) presentes, naturalmente, en todo el mundo generan picos y un fondo radiológico que puede interferir con la detección y localización de picos de interés.
- 15

20 El procedimiento de la invención permite la detección y la identificación de fuentes radiactivas en movimiento se describe en detalle a continuación. La búsqueda de los picos de absorción total se efectúa de forma independiente para cada espectro. El algoritmo de procesamiento se basa en un procedimiento de análisis del perfil espectral para aislar una o más anomalías radiactivas en un espectro.

25 Como se ilustra en la figura 2, el procedimiento de la invención después de una etapa de detección de la señal 20, comprende una etapa para analizar el espectro de esta señal 21 que consta de las siguientes fases:

1. Alisado del espectro bruto 22:

30 Debido a las fuertes fluctuaciones estadísticas del espectro bruto y la pequeña amplitud de los picos de absorción total en relación con el fondo radiológico, es necesario una etapa de suavizado del espectro bruto. La fase de suavizado descansa en el ajuste por el método de mínimos cuadrados de un polinomio de grado 4 en los datos brutos. El número de puntos, en el que se ajusta el polinomio, varía en función de la energía. Esta fase de suavizado permite eliminar las fluctuaciones no significativas del espectro bruto antes de otros procesamientos.

35 La figura 3 ilustra esta fase de suavizado de un espectro bruto 40 mediante un filtro digital para obtener un espectro filtrado 41.

2. Cálculo de un espectro de referencia 23:

40 Con el fin de tener en cuenta la radiactividad natural del sitio, un espectro de referencia que represente las contribuciones del fondo radiológico continuo y de los radionúclidos ambientales se evalúa. Este espectro de referencia es el espectro promedio calculado sobre un número parametrizable de N mediciones. Para tener en cuenta las posibles variaciones de la radiactividad ambiental, se recalcula el espectro de referencia, a partir de las últimas N mediciones.

45 El espectro de referencia calculado, que debe representar la radiactividad ambiental del sitio, por lo tanto, no debe incluir mediciones realizadas en presencia de anomalías. El procedimiento de la invención permite no tener en cuenta en el cálculo del espectro de referencia un punto de medición para el cual se han detectado uno o varios picos, validados e identificados como resultado de la emisión de uno de los radionúclidos deseados.

50 3. Resta de este espectro de referencia 24:

El espectro de referencia más reciente se resta de los espectros suavizados.

55 4. Búsqueda de los picos 25:

La búsqueda de los picos de absorción total se realiza estudiando la primera y segunda derivadas del espectro. Las dos derivadas se calculan sucesivamente en cada espectro. Un pico se detecta cada vez que la primera derivada toma valores positivos o que la segunda derivada toma valores negativos.

60 Las curvas de la figura 4 ilustran esta fase de búsqueda de los picos de absorción totales al estudiar la primera y la segunda derivadas del espectro después del filtrado. En esta figura 4 se representan así:

- el espectro bruto 50,
- el espectro filtrado 51,
- la primera derivada 52,

- la segunda derivada 53.

5. Primera validación de detección de picos 26

5 Una fase de primera validación de detección de picos se agrega con el fin de rechazar las fluctuaciones no significativas. Para este propósito, se determina experimentalmente un umbral de sensibilidad para cada derivado, lo que hace posible evaluar la importancia del pico considerado. Un pico se valida cuando las dos derivadas exceden un umbral respectivo.

10 6. Estimación del fondo radiológico bajo los espectros no suavizados 27:

Las características de los picos de absorción totales validados durante la fase anterior se calculan a partir de los espectros brutos. Una vez que las regiones espectrales tienen uno o varios picos localizados, el fondo radiológico bajo el pico o los picos se estima y luego se resta.

15 Las curvas en la figura 5 ilustran esta fase de estimación del fondo radiológico bajo los espectros no suavizados. En esta figura 5 se representan así:

- 20 - el espectro bruto 60,
- el fondo continuo ajustado 61,
- los picos de absorción 62.

7. Cálculo de las características de los picos 28:

25 Suponiendo que los picos de absorción están correctamente modelados por un perfil gaussiano, el área de los picos, se puede calcular su resolución y el umbral de decisión asociado.

8. Segunda validación de la detección de picos 29:

30 Se realiza una segunda validación de la detección de picos. Si el área calculada de un pico es superior a un umbral de decisión asociado y si la resolución de este pico es superior a la mitad de la resolución teórica, entonces se valida la detección de este pico. Sólo se conservan los picos validados.

35 Cuando uno o más picos han sido detectados y validados en un espectro, este espectro no se tiene en cuenta en el cálculo del espectro de referencia (enlace 30).

9. Identificación de los radionúclidos detectados 31:

40 Las energías de los picos de absorción totales detectados y validados durante las fases anteriores se comparan con las energías proporcionadas por una tabla de radioelementos definida por el usuario, permitiendo así la identificación automática de los radionúclidos detectados.

45 Los radionúclidos a identificar se dividen en cuatro categorías: natural, médica, industrial y nuclear. Según la categoría, es posible determinar si el (los) radionúclido(s) detectado(s) representa una amenaza potencial y si es necesario desencadenar una alarma.

10. Visualización de los resultados 32:

50 El procedimiento de la invención hace posible clasificar cada evento en una de las tres categorías al permitir evaluar la peligrosidad de la fuente detectada:

- a. La fuente detectada no es una amenaza.
- b. La fuente detectada puede ser una amenaza.
- c. La fuente detectada es una amenaza.

55 La figura 6 ilustra esta fase de visualización de los resultados. El resultado de este análisis se puede ver simplemente en la estación fija remota: se puede asociar un color a cada categoría de evento: el rojo (zona 70) indica que la fuente detectada es una amenaza, el naranja indica una posible amenaza, mientras que el verde (zona 71) indica que no hay detección o que la fuente detectada no es peligrosa.

60 Si el resultado obtenido por este procedimiento de procesamiento de datos es la detección de un transporte ilegal de material radioactivo, las alarmas pueden ser desencadenadas, en particular, una indicación visual en una pantalla o la transmisión de los resultados hacia una estación fija remota o el desencadenamiento del registro de tomas de imágenes.

65 Variantes de realización del dispositivo de la invención

Muchas variantes del dispositivo de la invención son posibles sin apartarse del alcance de la invención.

5 En una variante realización, varios dispositivos según la invención pueden estar interconectados o conectados a una misma estación de control local o remota, formando así una red de al menos dos estaciones. La puesta en red de varios dispositivos según la invención permite, entonces, correlacionar los datos provenientes de los dispositivos y deducir información adicional sobre la posición o la velocidad de la fuente radiactiva en movimiento.

10 Por ejemplo, la correlación de las señales provenientes de dos dispositivos ubicados en el mismo lado con respecto a la fuente en movimiento (a lo largo de una carretera, por ejemplo) permite obtener, entre otro, información sobre el sentido de desplazamiento de la fuente.

15 Otra variante de realización utiliza dos dispositivos ubicados a cada lado de la fuente en movimiento (por ejemplo, supervisión de vehículos en las fronteras). Esta configuración permite obtener, entre otro, información sobre la actividad de la fuente y la distancia relativa a cada punto del dispositivo de medición.

20 El uso de tres o más dispositivos permite la supervisión de una zona completa (como un estacionamiento o una estación o sala de prefecturas). La correlación de las señales provenientes de los dispositivos hace posible agregar a la estimación de la actividad de una fuente, una ubicación de esta fuente.

25 El dispositivo de la invención puede comprender, además, un sistema de toma de imágenes, como, por ejemplo, una cámara. En un primer momento, este sistema de toma de imágenes puede transmitir información al dispositivo, como la distancia y la velocidad de tránsito de un objeto radioactivo, lo que permite refinar el diagnóstico sobre la peligrosidad de la fuente. En un segundo tiempo, el desencadenamiento de este sistema puede estar condicionado por la detección y la identificación de una fuente que se considera potencialmente peligrosa. Las tomas de imágenes así obtenidos facilitan la identificación visual del peligro.

30 De manera similar, el dispositivo de la invención puede comprender un sistema de posicionamiento tal como un sistema GPS ("Global Positioning System"), que permite fechar en absoluto a milisegundos y ubicar el medidor al dispositivo más cercano dentro de una red de dispositivos. Esta información de fecha y ubicación puede transmitirse a una estación fija local o remota al mismo tiempo que los datos radiológicos, lo que permite identificar inequívocamente los espectros y las alertas por su fecha y la ubicación del dispositivo.

35 Un sistema remoto de transmisión de datos (GPRS, Wifi...) se puede añadir al dispositivo de la invención. Existe así un detector que puede funcionar de forma autónoma: el dispositivo de la invención puede entonces funcionar continuamente y transmitir sus resultados, independientemente de su ubicación, a una estación de control fija remota.

40 Varios dispositivos según la invención también pueden conectarse a la misma estación de control fija remota, formando así una red. Esto permite correlacionar los datos provenientes de varios dispositivos y deducir información adicional sobre el desplazamiento de un proveedor de fuente o sobre la ubicación precisa de esta fuente, por ejemplo.

45 El dispositivo de la invención puede comprender, además del detector de radiación gamma, un detector de neutrones. En efecto, ciertos materiales nucleares emiten principalmente neutrones, combinado o no con una emisión de radiación gamma. Las mediciones obtenidas al combinar los dos detectores permiten supervisar un mayor número de radionúclidos.

REFERENCIASS

- 50 [1] US 2005/0023477
- [2] US 2007/0034808
- 55 [3] "Extraction of full absorption peaks in airborne gamma-spectrometry by filtering techniques coupled with a study of the derivatives. Comparison with the window method" de L. Guillot (Journal of Environmental Radioactivity, 53, 2001).
- 60 [4] "Analysis of natural gamma-ray spectra obtained from sediment cores with the shipboard scintillation detector of the Ocean Drilling Program: example from Leg 156" de P. Blum et al. (Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 156, 1997).

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (10) de control radiológico y nuclear continuo de un flujo de personas, de vehículos, de contenedores o de paquetes para prevenir los riesgos asociados a los transportes ilegales de materiales radiactivos y nucleares y para detectar e identificar en tiempo real, sin punto de desaceleración obligatorio, una fuente de radiación gamma en movimiento presente en una persona o en un vehículo, un contenedor o un paquete, que comprende:
- al menos un detector de radiación (11) que comprende al menos un cristal de yoduro de sodio seleccionado por su gran volumen de detección, siendo dicho al menos un detector de radiación adecuado para emitir una señal proporcional a la radiación gamma detectada,
 - al menos un espectrómetro (12) acoplado a este al menos un detector de radiación y adecuado para muestrear y dar forma a la señal proporcional emitida y para generar un espectro bruto a partir de ella,
 - una unidad de adquisición y de procesamiento (13) acoplada a este al menos un espectrómetro y que comprende un procesador adecuado para analizar este espectro bruto resultante de este al menos espectrómetro, automáticamente y en tiempo real, y que comprende una unidad de almacenamiento de información en donde se registran las siguientes instrucciones ejecutables por el procesador:
 - instrucciones (22) para suavizar el espectro bruto para obtener un espectro filtrado,
 - instrucciones (23) para calcular un espectro de referencia que represente las contribuciones del fondo radiológico continuo y de los radionúclidos ambientales que representan la radioactividad ambiental del sitio, en donde un punto de medición, para el que se ha detectado al menos un pico de absorción total, validado e identificado como resultante de la emisión de un radionúclido, no se tiene en cuenta en el cálculo de un espectro de referencia,
 - instrucciones (24) para restar este espectro de referencia del espectro filtrado y primera validación de la detección de picos de absorción total en el espectro filtrado,
 - instrucciones (27) para estimar y restar el fondo bajo los picos de absorción total validados del espectro bruto, cálculo de las características de estos picos de absorción total y segunda validación de la detección de los picos de absorción total,
 - instrucciones para comparar las energías de los picos de absorción total detectados y validados con las energías dadas en una tabla de radionúclidos para identificar los radionúclidos de la fuente de radiación gamma,
 - instrucciones de categorización para los radionúclidos identificados para determinar si la fuente detectada puede constituir una amenaza, e
 - instrucciones para desencadenar automáticamente una alarma en tiempo real, excluyendo las falsas alarmas debidas a unas fuentes radiactivas naturales o utilizadas en diagnóstico o atención médica,
 - instrucciones para desencadenar automáticamente un sistema de toma de imágenes para identificar al portador de la fuente que desencadenó la alarma,
 - instrucciones de visualización de los resultados, que comprende el espectro bruto de la fuente de radiación gamma, para su examen por un operario.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende, además, un sistema de toma de imágenes acoplado al sistema de la unidad de adquisición y de procesamiento.
3. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, un enlace para transmitir los resultados de análisis de la unidad de adquisición y de procesamiento hacia una estación de control remota (14).
4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, al menos una pantalla de plomo o de cobre agregada a una de las caras de al menos un detector.
5. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el al menos un espectrómetro es un espectrómetro analógico que permite un muestreo de la señal al menos cada segundo.
6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el al menos un espectrómetro es un espectrómetro digital que permite un muestreo de la señal al menos cada 0,5 segundos.
7. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende varios espectrómetros, cada uno asociado a un cristal, y medios para sumar las señales resultantes antes de que se envíen hacia la unidad de adquisición y de procesamiento.
8. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sistema de posicionamiento GPS.
9. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, un detector de neutrones, acoplado a la unidad de adquisición y de procesamiento, para detectar fuentes emisoras de radiaciones de neutrones.

10. Procedimiento de control radiológico y nuclear continuo de un flujo de personas, de vehículos, de contenedores o de paquetes, para prevenir los riesgos asociados a los transportes ilegales de materiales radiactivos y nucleares y para detectar e identificar en tiempo real, sin punto de desaceleración obligatorio, una fuente de radiación gamma en movimiento presente en una persona, un vehículo, un contenedor o un paquete, **caracterizado por que** comprende las siguientes etapas:
- recuperación (20) de una señal proporcional a una radiación emitida por una fuente de radiación gamma usando al menos un detector de radiación (11) que comprende al menos un cristal de yoduro de sodio seleccionado por su gran volumen de detección, muestreo de esta señal y generación de un espectro bruto,
 - análisis automático en tiempo real del espectro bruto, constando esta etapa de análisis de las siguientes fases ejecutables por un procesador:
 - suavizado (22) del espectro bruto para obtener un espectro filtrado,
 - cálculo (23) de un espectro de referencia, que representa la contribución del fondo radiológico continuo y de los radionúclidos ambientales que representan la radioactividad ambiental del sitio, en donde un punto de medición, para el que se ha detectado al menos un pico de absorción total, validado e identificado como resultante de la emisión de un radionúclido, no se tiene en cuenta en el cálculo de un espectro de referencia,
 - resta (24) de este espectro de referencia del espectro filtrado, búsqueda de los picos de absorción total y primera validación (26) de la detección de los picos de absorción total en el espectro filtrado,
 - estimación (27) y resta del fondo bajo los picos de absorción total validados del espectro bruto, cálculo (28) de las características de los picos de absorción total y segunda validación (29) de la detección de los picos de absorción total,
 - identificación (31) de los radionúclidos de la fuente de radiación gamma en donde se comparan las energías de los picos de absorción total detectados y validados con las energías dadas en una tabla de radionúclidos,
 - categorización de los radionúclidos identificados para determinar si la fuente de radiación gamma puede constituir una amenaza,
 - si la fuente de radiación gamma es una amenaza:
 - ❖ desencadenamiento automático de una alerta en tiempo real, excluyendo las falsas alertas debidas a las fuentes radiactivas naturales o utilizadas en diagnóstico o atención médica,
 - ❖ desencadenamiento automático de un sistema de toma de imágenes para identificar el portador de la fuente que desencadenó la alarma,
 - ❖ visualización de los resultados, de los cuales el espectro bruto de la fuente de radiación gamma, proveniente de la alerta, para su examen por un operario.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en donde la fase de suavizado comprende un ajuste por el método de mínimos cuadrados de un polinomio de grado 4 en los datos brutos.
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en donde el espectro de referencia es un espectro promedio calculado sobre un número parametrizable de N mediciones, siendo N un entero positivo superior a 1.
13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde el espectro de referencia se recalcula periódicamente a partir de las últimas N mediciones.
14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en donde la fase de búsqueda de picos de absorción total comprende el estudio sucesivo de la primera y segunda derivadas del espectro filtrado, siendo un pico de absorción total detectado cada vez que la primera derivada toma valores positivos o que la segunda derivada toma valores negativos.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, en donde, en la primera validación de la detección de los picos de absorción total, un pico de absorción total se valida cuando la primera y la segunda derivadas exceden un umbral respectivo.
16. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en donde, en la segunda validación de la detección de los picos de absorción total, un pico de absorción total se valida si el área calculada de un pico de absorción total es superior a un umbral de decisión asociado y si la resolución de este pico de absorción total es superior a la mitad de la resolución teórica.
17. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en donde, en la etapa de identificación, las energías de los picos de absorción total detectados y validados se comparan con las energías dadas por una tabla de radioelementos definida por el usuario.

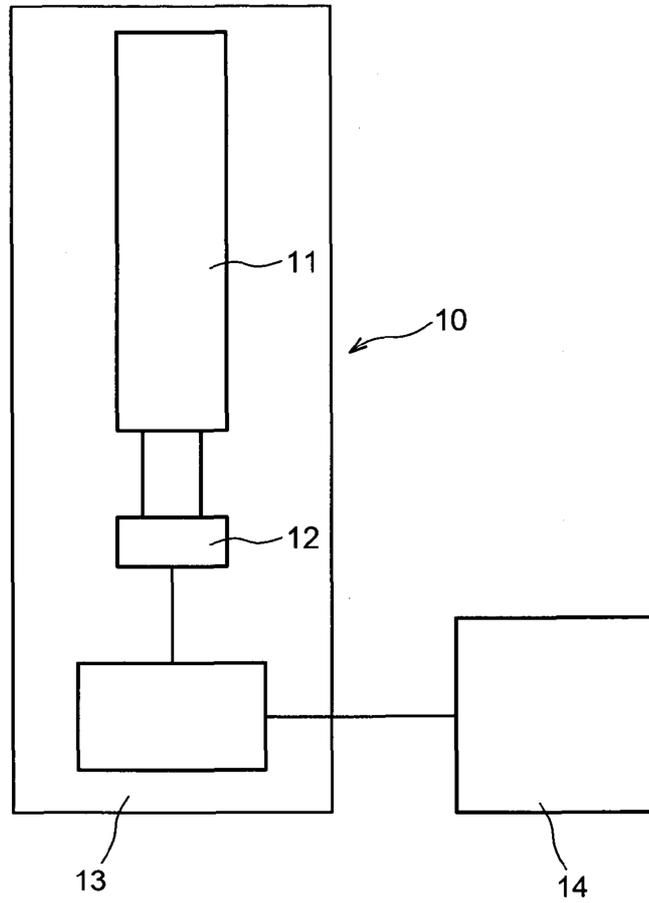


FIG. 1

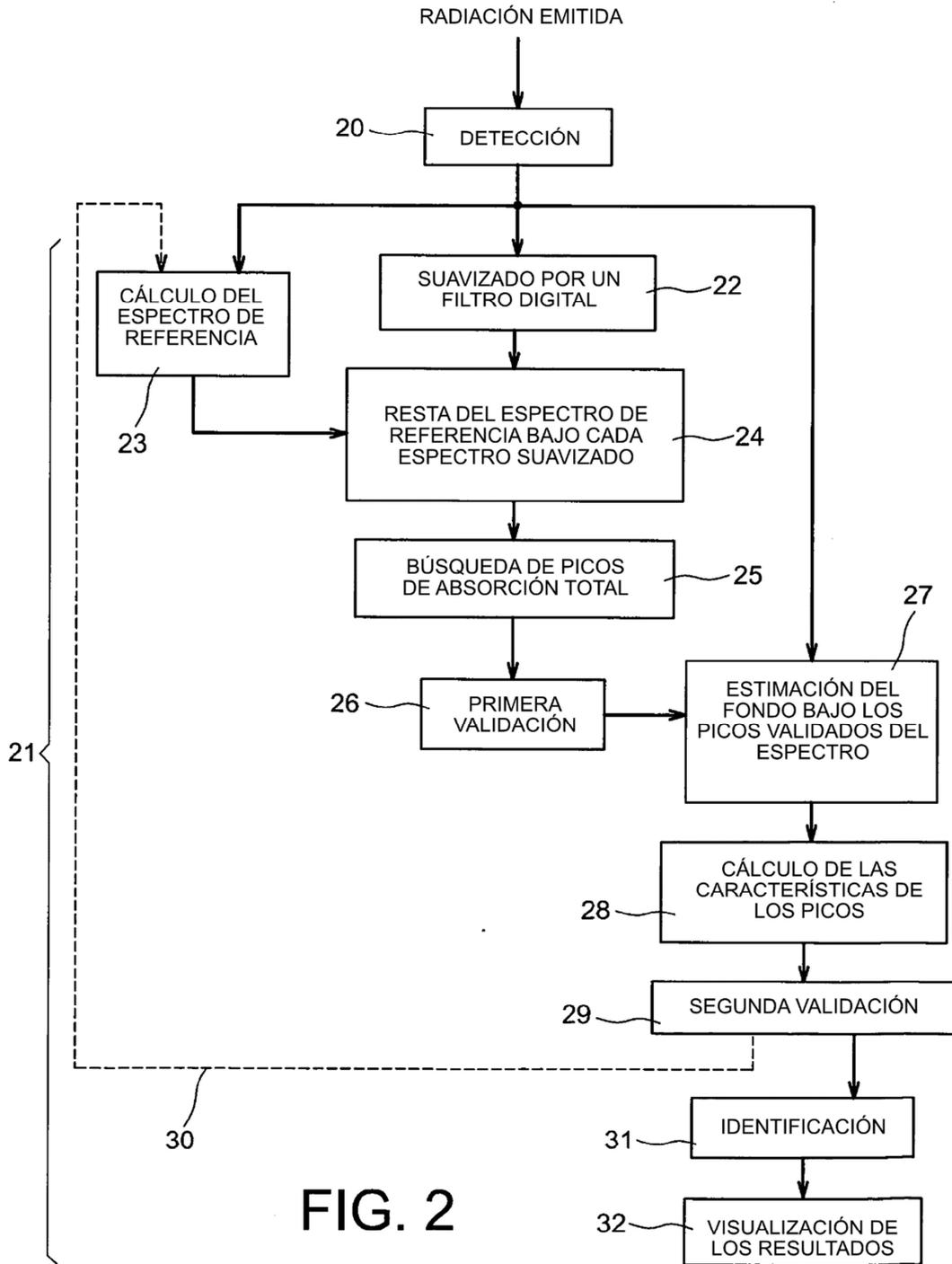


FIG. 2

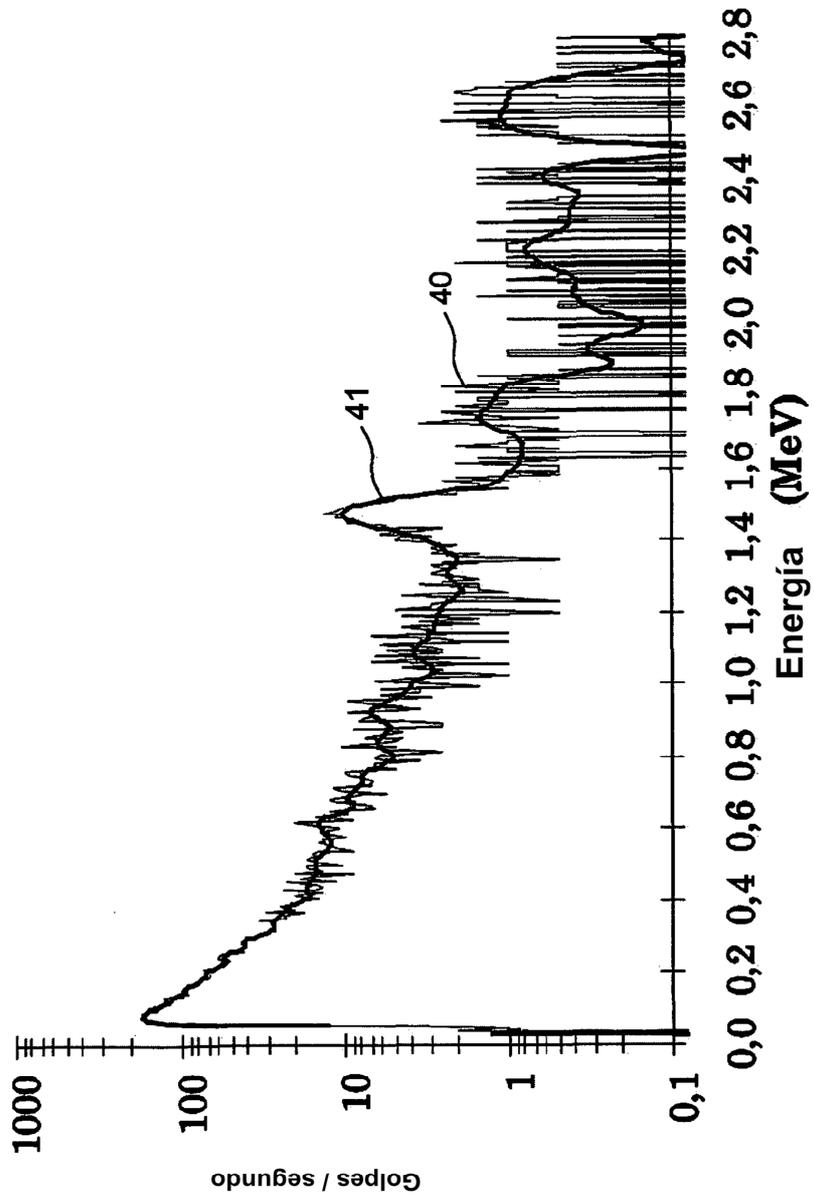


FIG. 3

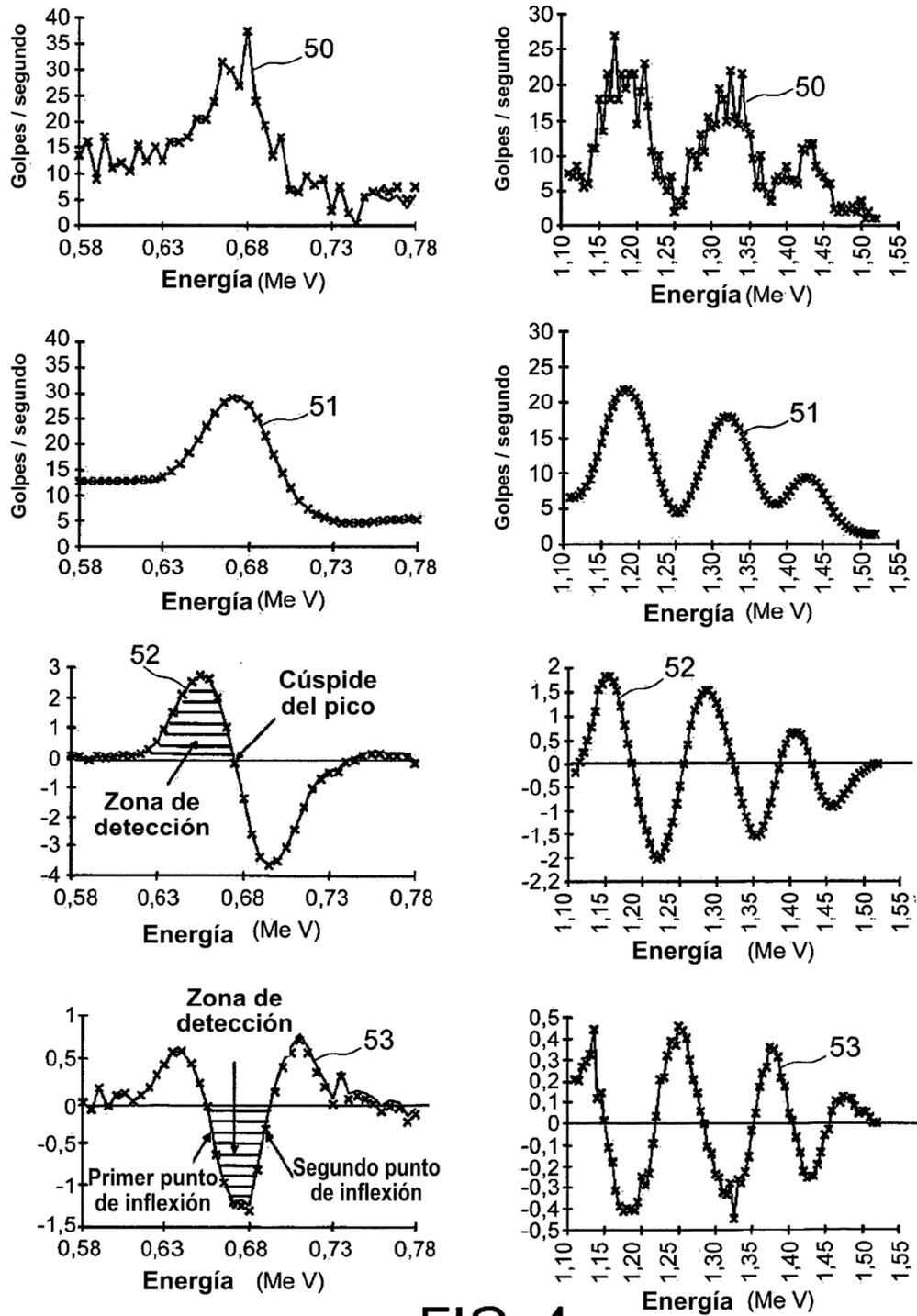


FIG. 4

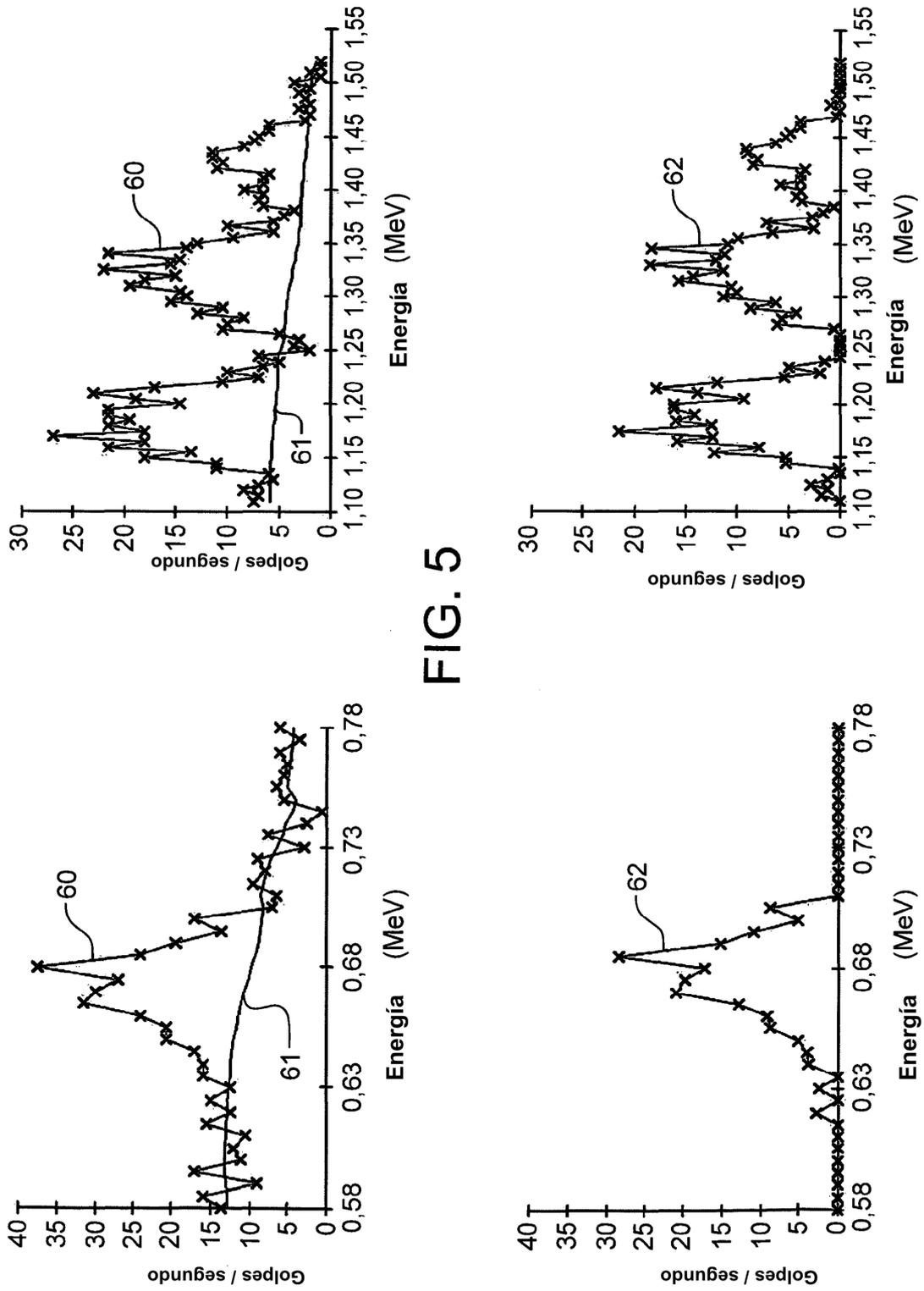


FIG. 5

Historial de eventos

Nº de serie de baliza	Fecha/hora	Posición de baliza	Tipo de alarma DETECT	Categoría	Radionúclido	Tipo de alarma IPA
7019	11/02/2008 10:33:10	0	Intempestiva	Natural	k-40	
		1				
7019	11/02/2008 10:33:11	0	Intempestiva	Natural	k-40	
		1				
7019	11/02/2008 10:33:12	0	Intempestiva	Natural	k-40	
		1				
7019	11/02/2008 10:33:35	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 1
		1				
7019	11/02/2008 10:33:36	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:36	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:37	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:37	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:38	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:38	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:39	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:39	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 2
		1				
7019	11/02/2008 10:33:42	0	Justificada	Industrial	Co-60	Umbral 1
		1				

71

70

FIG. 6