

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 094**

21 Número de solicitud: 201730164

51 Int. Cl.:

G01T 1/29

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

10.02.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.09.2018

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2018/070074

71 Solicitantes:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS (25.0%)**

C/ SERRANO 117

28006 MADRID ES;

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (25.0%) y

EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS

RADIOACTIVOS, S.A. (ENRESA) (50.0%)

72 Inventor/es:

AGRAMUNT ROS, Jorge;

ALBIOL COLOMER, Francisco;

CORBI BELLOT, Alberto;

CABALLERO ONTANAYA, Luis;

DOMINGO PARDO, Cesar y

ALBIOL COLOMER, Alberto

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA LA IDENTIFICACIÓN VOLUMÉTRICA E ISOTÓPICA DE
DISTRIBUCIONES DE ESCENAS RADIOACTIVAS**

57 Resumen:

Sistema y método para la identificación volumétrica e isotópica de distribuciones de escenas radioactivas.

La presente invención es un sistema (10) y método para la identificación volumétrica e isotópica de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de fuentes radioactivas (3) puntuales, o extensas, en escenas radioactivas. Más concretamente, este sistema (10) comprende: un detector de radiación gamma (2) y un transductor óptico (1) solidarios entre si y vinculados con una unidad de control para detectar la posición absoluta, con respecto a una referencia visual que se encuentra en la escena radioactiva, de las fuentes radioactivas (3) y determina su actividad radioactiva, es decir detecta la composición de isótopos de las fuentes radioactivas (3).

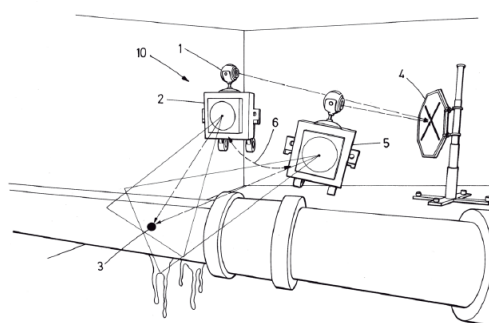


FIG.1

**SISTEMA Y MÉTODO PARA LA IDENTIFICACIÓN VOLUMÉTRICA E ISOTÓPICA DE
DISTRIBUCIONES DE ESCENAS RADIOACTIVAS**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es un sistema y método para la identificación volumétrica e isotópica de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de unas fuentes
10 radioactivas puntuales, o extensas, en escenas radioactivas.

Más concretamente, este sistema y método detecta la posición absoluta, con respecto a una visual en la escena radioactiva, de fuentes radioactivas. Además determina su actividad radioactiva y la composición de los isótopos de las mencionadas fuentes.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, debido a ciertas actividades industriales de producción de energía o de gestión y vigilancia de materiales, existen entornos que están potencialmente contaminados por
20 material radiactivo. Dicha contaminación suele deberse a fugas no controladas de material radiactivo proveniente de fuentes radioactivas.

Por otro lado, en relación con la seguridad en instalaciones nucleares, es necesario llevar a cabo tareas de vigilancia activa y preventiva, como por ejemplo durante el transporte de
25 materiales hallados en las mismas o en el momento de la implantación de medidas de control.

En todos estos escenarios se debe obtener información sobre qué radioisótopos están presentes en dichos materiales, en qué abundancia y cuál es su distribución espacial.

30

Habitualmente, para detectar dichas radiaciones se utilizan detectores de radiación gamma, que comprenden transductores que producen una señal eléctrica cuando estos son estimulados por la radiación ionizante. Esta señal eléctrica es proporcional a la energía de la radiación y es única para cada isótopo, ya que está en función de las longitudes de onda

presentes en la misma. La longitud de onda para la que se produce el mayor depósito de energía en el detector (ausencia de radiación Compton) es el llamado *fotopico*.

Mediante la determinación de estos fotopicos es posible caracterizar los elementos contaminantes de un entorno y conocer la composición de isótopos que hay en una o varias fuentes de radiación.

Para inspeccionar una zona contaminada con radiación es necesario disponer de detectores de radiación gamma. Un operario debe habitualmente desplazar estos detectores de manera manual para localizar las regiones de riesgo quedando inevitablemente expuesto a las radiaciones ionizantes presentes. Este tipo de muestreo contribuye a mapear espacios contaminados. Con el objetivo de evitar estos efectos negativos, existen diferentes soluciones que se resumen a continuación y que además son capaces de realizar un mapeado en 2 dimensiones de las fuentes radioactivas.

Un ejemplo de esta solución aparece en el documento WO2005022197A2, donde se describen diferentes métodos y aparatos para la determinación en dos dimensiones de la intensidad y la ubicación de una fuente radioactiva. Esta localización se realiza mediante un dispositivo que comprende una matriz de, al menos, 3 detectores de radiación gamma posicionados en lugares diferentes de los que se conocen sus coordenadas. La zona de operación, o campo de visión, de los detectores de radiación gamma debe quedar superpuesta parcialmente. Cuando este dispositivo detecta una fuente peligrosa, genera señales acordes a la intensidad y la localización de la misma. El dispositivo hace uso de un algoritmo que correlaciona las coordenadas de los detectores de radiación gamma con las señales generadas por estos. A pesar de estas ventajas, el mencionado documento no describe cómo localizar y orientar los detectores. Además, las capacidades de detección y localización están optimizadas para la posición en la que originalmente se establecieron los detectores. Por último, si se desea reubicar el sistema, es necesario realizar grandes esfuerzos ya que no está concebido para poder ser desplazado.

En el documento EP2966478A1 se describe un sistema tridimensional de detección de radiación conectado a un sistema de visualización. Este sistema comprende un sensor de radiación y un sensor de imagen acoplados a un mecanismo de giro vertical y otro de giro horizontal. Adicionalmente, describe un método tridimensional de detección de radiación y

de visualización. Finalmente se relaciona la imagen, la radiación detectada y la posición en 3D. Sin embargo, el método descrito está basado en la inspección visual de las imágenes que ambos detectores proporcionan de forma continua. No se establece manera alguna de identificación precisa de la posición real de la fuente radioactiva y por tanto requiere de elementos adicionales (como un láser) para medir la distancia real entre la fuente y los detectores.

Otro ejemplo que relaciona video con detectores de radiación se encuentra en el documento US6782123B1. En este se describe un método y aparato para localizar con precisión fuentes radioactivas. Este aparato comprende un par de cámaras de luz visible que están orientadas en sendas direcciones de modo que el campo de visión de ambas sea total o parcialmente, común. El aparato también comprende un detector de radiación gamma. La multiplicidad de cámaras de visible hace posible la identificación tridimensional mediante una triangulación inicial. Tras desplazar el aparato y mediante una segunda triangulación, se identifica la ubicación de las fuentes de radiación. Adicionalmente, esta solución utiliza un software de fotogrametría para la realización de los cálculos.

El inconveniente de esta solución es que requiere del correcto centrado de las cámaras de luz visible y del detector de radiación gamma. Por otro lado, este método no es efectivo ya que no tiene en cuenta las diferencias reales de medida entre la luz, cuya resolución angular es excelente, y la radiación gamma, que tiene inherentemente una resolución angular mucho menor. Otra importante desventaja es que para asegurar una buena detección es necesario mantener el foco de forma constante sobre una fuente que, en general, puede tener una intensidad baja. Finalmente, no permite realizar barridos en movimiento, si no que cada escena que se adquiere con el detector gamma es independiente de la anterior, resultando esto en falsos negativos para determinadas localizaciones.

Por último, el documento EP2796898A1, describe un vehículo móvil equipado con sensores de radiación y que es capaz de medir la distribución de la intensidad radioactiva del entorno. Una vez obtenida esta distribución espacial de intensidades, deriva la posición de la fuente radioactiva. Sin embargo, este sistema no puede ser utilizado en espacios cerrados ya que no dispone medios de localización de la fuente radioactiva y está totalmente enfocado a la inspección general de espacios abiertos, tales como zonas de desastre o depósitos amplios

de materiales.

Como resumen, las soluciones anteriormente mencionadas comportan aparatos y métodos que fusionan imagen visible y detección gamma en un mismo marco de trabajo. Sin embargo, no permiten obtener resultados plenamente acordes a la realidad. Esto es principalmente debido a la deficiente interrelación geométrica entre los dispositivos detectores de radiación gamma y las cámaras de luz visible acopladas o relacionadas con los primeros.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Un primer objeto de la invención es un sistema para la identificación volumétrica e isotópica de la distribución espacial de una al menos una radiación ionizante procedente de una o unas fuentes radioactivas puntuales, o extensas, en escenas radioactivas en donde el sistema comprende:

- un detector de radiación gamma, para generar una señal eléctrica proporcional a la energía de la radiación ionizante, y que comprende mecanismos de colimación destinados a obtener información direccional de la escena radioactiva, y
- un transductor óptico solidario con el detector de radiación gamma para captar unas imágenes de la escena radioactiva.

Más concretamente, el sistema comprende:

- una unidad de control que vincula el detector de radiación gamma con el transductor óptico,

en donde la unidad de control comprende:

- un microprocesador, y
- una memoria, vinculada con el microprocesador, y que comprende:
 - o unas instrucciones de posicionamiento para:
 - definir una imagen inicial de la escena radioactiva captada por el transductor óptico,
 - detectar en la imagen inicial al menos una referencia visual,
 - determinar la orientación inicial del detector de radiación gamma con respecto dicha referencia visual,
 - detectar la posición absoluta del sistema con respecto a la referencia

visual de la imagen inicial en una sucesión de localizaciones, a partir de unas imágenes sucesivas a la imagen inicial, y

- para determinar la orientación del detector de radiación gamma para cada localización dentro de la escena radioactiva, y

5

- unas instrucciones de medida para:

- realizar medidas de la radiación ionizante, mediante el detector de radiación gamma, en cada localización del sistema dentro de la escena radioactiva,

10

- relacionar dichas medidas de la radiación ionizante con la posición absoluta obtenida mediante las instrucciones de posicionamiento,

- establecer la distribución espacial de las medidas de la radiación ionizante en la escena radioactiva formando en una matriz de tres dimensiones con forma de sub-volúmenes donde cada región sub-volumen comprende un valor proporcional a la intensidad de su radiación, y

15

- caracterizar la radiación ionizante según el valor de la señal eléctrica producida por el transductor acorde a los fotopicos para determinar su composición de isotopos.

20

Los mecanismos de colimación comprenden una estructura con segmentadores para detectar la dirección de la radiación ionizante de la fuente radioactiva en cada localización del sistema. Además, para detectar la dirección de la radiación ionizante, la unidad de control incorpora instrucciones para el cálculo de trayectorias de la radiación incidente, tales como técnicas de colimación o técnicas Compton.

25

Más concretamente, la estructura con segmentadores y/o las técnicas de colimación, permiten a la unidad de control obtener un campo de medición tridimensional, en forma de cono, de la radiación ionizante a partir de la información procedente del detector de radiación gamma.

30

Como el detector de radiación gamma es solidario con el transductor óptico, la unidad de control puede relacionar el campo de medición del detector de radiación gamma con un campo de visión del transductor óptico solucionando uno. De esta manera se solucionan varios de los problemas del estado de la técnica mencionados anteriormente y relacionados con la disparidad entre los dispositivos detectores de radiación gamma y los transductores ópticos

en cuanto a resolución y formas de calibración entre los mismos.

A partir de las medidas efectuadas por el detector de radiación gamma en las diferentes posiciones, se obtiene la distribución espacial de la actividad radioactiva.

5

Esta actividad radioactiva se considera como el factor de intensidad del detector de radiación gamma, y se determina mediante la capacidad del detector de radiación gamma de asociar a cada fotopico de cada energía conocida a un *valor de aceptación*. Adicionalmente, la relación entre la distancia y la intensidad de la fuente radioactiva (que disminuye con el cuadrado de la distancia) permite evaluar la intensidad de la misma y determinar su posición absoluta con respecto al sistema o a una referencia visual.

10

El transductor óptico es una cámara de luz visible, o una cámara de profundidad o de contorno.

15

La unidad de control comprende las características proyectivas del transductor óptico, es decir su ecuación y parámetros asociados, que permite realizar su calibración. La forma habitual de obtener esta ecuación es mediante dos matrices. La primera matriz se corresponde a las características internas de la apertura de la lente y del tamaño del sensor óptico y que, salvo que se cambie la lente o las focales, es fija. La segunda matriz se corresponde con las traslaciones internas. Esta calibración comprende la obtención de la ecuación del transductor óptico la cual a su vez permite conectar líneas en el espacio con puntos en la imagen. Esta técnica de visión se conoce también como imagen proyectiva.

20

Dicha unidad de control, a través de las imágenes de la referencia visual en la escena radioactiva del transductor óptico permite obtener en cada medida realizada por el detector de radiación gamma la posición relativa del sistema respecto a sus posiciones previas e identificar la localización (no conocida) de la fuente de radiación mediante sucesivas medidas o desplazamientos del sistema.

25

Preferentemente, la referencia visual es una marca fiducial de dimensiones, o tamaño, preestablecidas y posicionada por un usuario en la escena radioactiva dentro del campo de visión del transductor óptico, de modo que cuando esta realiza la imagen inicial la marca fiducial está comprendida en dicha imagen inicial. Cabe destacar que a lo largo de la sucesión de localizaciones, y por tanto mediciones, esta marca fiducial puede ser emplazada en otra

30

posición, o solaparse con otras marcas fiduciales. De este modo se puede utilizar más de una marca fiducial en una misma escena radioactiva, permitiendo a la unidad de control detectar la posición absoluta del sistema, o de la fuente radiactiva, con respecto a cualquiera de estas marcas fiduciales o incluso con respecto a varias de ellas.

5

Así pues, cuando el transductor óptico es una cámara de luz visible es necesario introducir el valor de las dimensiones, o el tamaño, de la marca fiducial, en la unidad de control para que esta pueda determinar las distancias entre el sistema y la marca fiducial mediante las instrucciones de posicionamiento comprendidas en la memoria y ejecutadas por el microcontrolador.

10

En este caso, para modificar la posición de la marca fiducial, la unidad de control registra en su memoria la imagen donde la marca fiducial se encuentra en uno de los límites del campo de visión del transductor óptico y la relaciona con todas las imágenes previas donde la marca fiducial fuera visible. Posteriormente, y manteniendo la posición del sistema, la marca fiducial es trasladada, por ejemplo, por el usuario, hasta el límite opuesto del campo de visión del transductor óptico. La unidad de control considera esta posición como una posición solidaria a la posición anterior, es decir continua con la localización del sistema y por tanto permite la toma de medidas de una forma continua.

15

20

En cambio, cuando el transductor óptico es la cámara de contorno, esta proporciona las distancias proyectadas, y por tanto no es necesario que las dimensiones de la marca fiducial sean conocidas. Se puede obtener el movimiento de las sucesivas traslaciones del contorno tridimensional entre toma y toma.

25

En este caso, cuando el transductor óptico es la cámara de contorno, la referencia visual es un objeto reconocible dentro de la escena radioactiva. De este modo, la unidad de control establece un primer objeto reconocible que, cuando debido al movimiento del sistema, se encuentra en el límite del campo de visión del transductor óptico, es sustituido por un segundo objeto reconocible que se encuentre en el límite opuesto del campo de visión del transductor óptico. Esta operativa permite al sistema continuar con las medidas de una forma continua.

30

Adicionalmente la memoria de la unidad de control comprende unas primeras sub-instrucciones que determinan los sub-volúmenes:

$$X, Y, Z = Dx \cdot i + Xo, Dy \cdot j + Yo, Dz \cdot k + Zo$$

En donde:

- X, Y, Z: son las coordenadas espaciales de cada sub-volumen (cm), denominadas LOC_X.
- i, j, k: son números enteros que identifican la posición del voxel (punto tridimensional)
- Dx, Dy, Dz: son valores enteros que representan la distancia entre las coordenadas espaciales entre un voxel y el siguiente.
- Xo, Yo, Zo: son las coordenadas espaciales, iniciales del voxel (cm).

Así como, la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida unas segundas sub-instrucciones que miden la radiación para cada sub-volumen según:

$$E = I \cdot CAL_E + Eo$$

En donde:

- E, es el factor energía (Ke),
- I, es el valor de la señal medida en el detector (V),
- CAL_E, es el factor de escala que relaciona la señal del detector con la energía (Ke/V),
- Eo, es el valor de la energía cuando la señal del detector es 0 (Ke).

También, la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida unas terceras sub-instrucciones que relacionan los sub-volúmenes con el factor de energía para obtener el factor de intensidad radioactiva (FI) de cada sub-volumen, mediante la siguiente ecuación:

$$FI = E(LOC_X, POSE_D(t)) \cdot E((POSE_D(t) - LOC_X)^2) \cdot EFF_C(E) \cdot FC$$

En

donde:

- E(LOC_X, POSE_D(t)), es el factor de eficiencia conocido del detector gamma y que en este caso depende de la orientación del detector de radiación gamma, y de su construcción,

- $E((POSE_D(t) - LOC_X)^2)$, es el factor de eficiencia relativo a la distancia que relaciona la distancia relativa entre la posición de la fuente radioactiva con a cada sub-volumen de la medición,
- $EFF_C(E)$, es el factor que determina la eficiencia del detector de radiación gamma de obtener una señal para cada fotopico de una determinada energía, y
- FC. son factores adicionales referidos al detector gamma obtenidos mediante la calibración.

Un segundo aspecto de la invención describe un método para la identificación volumétrica e isotópica de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de unas fuentes radioactivas puntuales (o extensas) en escenas radioactivas, mediante el sistema descrito en el primer aspecto de la invención.

Más concretamente, el método comprende las siguientes etapas:

- a) determinar una localización inicial del sistema en la escena radioactiva,
- b) establecer una región de medida dentro del campo de visión del traductor óptico en la escena radioactiva de modo que incluya al menos la referencia visual,
- c) obtener, mediante las instrucciones de posicionamiento, una imagen inicial de la región de medida de la escena radioactiva, mediante el transductor óptico y obtener la orientación inicial del detector de radiación gamma,
- d) determinar, mediante las instrucciones de posicionamiento, la posición absoluta inicial del sistema con respecto a la referencia visual,
- e) modificar, al menos una vez, la posición del sistema y realizar las siguientes etapas para cada sucesión de posiciones posteriores a la posición inicial:
 - I. realizar, mediante el transductor óptico y las instrucciones de posicionamiento, una sucesión de imágenes sucesivas a la imagen inicial,
 - II. realizar, mediante las instrucciones de medida y el detector de radiación gamma, medidas de radiación en la escena radioactiva,
 - III. generar, mediante la unidad de control, un volumen de medición en la imagen para proyectar las medidas de radiación mediante la generación de sub-volumenes,

- IV. determinar las coordenadas tridimensionales que determinan los sub-volúmenes y relacionarlas con las medidas de la escena radioactiva mediante la unidad de control,
- V. establecer, mediante las instrucciones de medida, un valor superior a cero para cada sub-volumen y que en cada sucesión de posiciones será incrementado (para cada sub-volumen) donde se detecte intensidad radioactiva y será disminuido (nuevamente, en cada sub-volumen) donde se no detecte intensidad radioactiva, y
- VI. caracterizar la radiación ionizante según el valor de la señal eléctrica producida por el transductor acorde a los fotopicos para determinar su composición de isotopos.

La determinación de localización del sistema en la escena radioactiva se realiza mediante la ecuación y parámetros del transductor óptico.

Más concretamente, la región de medida de la escena radioactiva está comprendida en el campo de visión del traductor óptico.

Cabe destacar que, si la orientación del detector de radiación gamma se encuentra en el campo de visión del traductor óptico, la unidad de control fusiona ambas informaciones, aunque el objeto de la invención es poder cuantificar con calidad la escena radioactiva mediante la localización precisa del sensor.

El campo de detección del detector de radiación gamma es también definido por una imagen proyectiva. Esto se traduce que cada punto de la imagen del detector de radiación gamma en una línea que contiene todos los posibles puntos que unen el detector de radiación gamma con la imagen. Estas conos o líneas imaginarias se conocen como epipolares, o conos de actividad, dependiendo de si se refiere a aspectos geométricos o a regiones de contaminación determinados por dichas regiones epipolares. De este modo, el campo de detección del detector de radiación gamma se transforma en volumen de medición mediante una cartografía que comprende el movimiento y la orientación de la cámara, en donde esta posición en el espacio se denomina POSE(t) y es un valor que depende del tiempo, ya que la posición varia en tiempo. Cabe destacar que el POSE(t) también comprende el POSE_X(t), que comprende la posición del sistema, y el POSE_D(t), que a su vez comprende la orientación del detector de

radiación gamma.

De este modo, la unidad de control considera el volumen de medición como en una región del espacio de la escena radioactiva donde es posible que existan fuentes radioactivas, y lo pixela, voxeliza, o discretiza, formando una matriz en tres dimensiones con forma de sub-volúmenes comprendidos en un cono de detección, en donde la unidad de control dota a cada sub-volumen con un valor inicial mayor que 0, que posteriormente será incrementado en cada sub-volumen donde se detecte intensidad radioactiva y será disminuido en cada sub-volumen donde se no detecte intensidad radioactiva, permitiendo la identificación volumétrica de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de unas fuentes radioactivas de una forma rápida y directa.

Es decir, según el sistema se vaya desplazando y vaya tomando una sucesión de medidas, los sub-volúmenes que reciben una mayor incidencia radiactiva dentro del volumen de medición irán incrementado su valor, facilitando la detección de la fuente radioactiva de una forma dinámica y en tiempo real.

Más concretamente para realizar dicha voxelización, la unidad de control aplica las siguientes coordenadas tridimensionales que determinan los sub-volúmenes:

$$X, Y, Z = Dx \cdot i + Xo, Dy \cdot j + Yo, Dz \cdot k + Zo$$

En donde:

- X, Y, Z: son las coordenadas espaciales de cada sub-volumen (cm), denominadas LOC_X.
- i, j, k: son números enteros que identifican la posición del voxel
- Dx, Dy, Dz: son valores enteros que representan la distancia entre las coordenadas espaciales entre un voxel y el siguiente.
- Xo, Yo, Zo: son las coordenadas espaciales, iniciales del voxel (cm).

Concretamente, estas coordenadas están comprendidas en unas primeras sub-instrucciones de las instrucciones de medición de la memoria de la unidad de control.

De este modo, la unidad de control mide la radiación para cada sub-volumen del cono

generado por el detector de radiación gamma, y relaciona la radiación con cada coordenada para cada sub-volumen del cono. De este modo, la unidad de control considera la radiación como un factor de energía que depende generalmente la de siguiente ecuación.

$$E = I \cdot CAL_E + E_0$$

- En donde:
- E, es el factor energía (Ke),
- I, es el valor de la señal medida en el detector (V),
- CAL_E, es el factor de escala que relaciona la señal del detector con la energía (Ke/V),
- E₀, es el valor de la energía cuando la señal del detector es 0 (Ke).

Concretamente, esta ecuación de la energía está comprendida en unas segundas sub-instrucciones de las instrucciones de medición de la memoria de la unidad de control.

Finalmente, la unidad de control relaciona los sub-volúmenes con el factor de energía para obtener el factor de intensidad radioactiva (FI) de cada sub-volumen, mediante la siguiente ecuación:

$$FI = E(LOC_X, POSE_D(t)) \cdot E((POSE_D(t) - LOC_X)^2) \cdot EFF_C(E) \cdot FC$$

donde:

- E(LOC_X, POSE_D(t)), es el factor de eficiencia conocido del detector gamma y que en este caso depende de la orientación del detector de radiación gamma, y de su construcción.
- E((POSE_D(t) - LOC_X)²), es el factor de eficiencia relativo a la distancia que relaciona la distancia relativa entre la posición de la fuente radioactiva con a cada sub-volumen de la medición.
- EFF_C(E), es el factor que determina la eficiencia del detector de radiación gamma en obtener una señal de para cada fotopico de una determinada energía.
- FC, son factores adicionales referidos al detector gamma obtenidos mediante la calibración.

Cabe destacar que, si bien la invención se ha descrito en una escena radioactiva, este sistema

y método puede aplicarse a cualquier determinación donde se requieran medidas de precisión de la intensidad de una fuente radioactiva utilizada en otros fines, tal como el sector médico, industrial en la generación de isótopos, vigilancia de uso indebido de material, vigilancia de seguridad.

5

La principal ventaja de este sistema y método es la posibilidad de permitir movimiento continuo del sistema y tenerlo en cuenta durante cada medida de la radioactividad. Al incorporar la información de la posición inicial del sistema, y disponer de un mecanismo en tiempo real de conocimiento sobre la orientación del detector de radiación gamma para cada medida es posible integrar en la solución de la determinación de la escena radioactiva, facilitando una agregación continua de datos a tiempo real.

10

Además, durante la adquisición de las medidas, el sistema permite su vinculación, mediante un puerto de comunicaciones comprendido en la unidad de control, con un dispositivo de visualización que permite reproducir en dos o tres dimensiones la escena radioactiva, muestrear y explorar las regiones de interés más interesantes mientras que en tiempo real se detecta la distribución de la radiación. De este modo el sistema permite obtener medidas de mayor calidad ya que el usuario, de forma manual o automática, puede elegir las siguientes posiciones del sistema a partir del nivel de radiación previo reproducido en el dispositivo de visualización.

15

20

Por otra parte, el sistema presenta ventajas en cuanto a la preparación de la escena radioactiva a caracterizar requiriendo una intervención mínima por parte del personal adicional a la incorporación de los sensores previamente calibrados.

25

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

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:

30

Figura 1.- Muestra una vista esquemática de una primera realización preferente.

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de una segunda realización preferente.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Una primera realización preferente de la invención, tal y como se muestra en la figura 1, es un sistema (10) para la identificación isotópica volumétrica e isotópica de fuentes radioactivas (3) puntuales, o extensas, en una escena radioactiva, en donde el sistema (10) comprende:

- un detector de radiación gamma (2) para generar una señal eléctrica proporcional a la energía de la radiación ionizante procedente de la fuente radioactiva (3), y que comprende mecanismos de colimación destinados a obtener información direccional de la fuente radioactiva (3),
- un transductor óptico (1) tal como una cámara de visible solidario con el detector de radiación gamma (2) para obtener imágenes o videos de la escena radioactiva.

Más concretamente, el sistema (10) comprende:

- una unidad de control vinculada con el detector radiación gamma (2) y el transductor óptico (1) que comprende un microprocesador y una memoria, en donde el microprocesador está vinculado con la memoria que a su vez comprende unas instrucciones de posicionamiento y unas instrucciones de medida para detectar a partir de las imágenes de la escena radioactiva radioactivo al menos una referencia visual tal como una marca fiducial (4), dispuesta en una posición fija y a la vista de la cámara de visible, y para determinar la dirección de origen de la radiación ionizante mediante sucesivas medidas cuantificando la intensidad de las radiaciones ionizantes.

Concretamente, gracias a esta marca fiducial (4) la unidad de control obtiene la posición y la orientación del sistema (10), respecto a la escena radioactiva mientras el sistema (10) se desplaza.

Preferentemente, el sistema (10) será posicionado en diferentes localizaciones cuyas coordenadas son definidas por dichas instrucciones de posicionamiento. La siguiente posición del transductor óptico (1) se calcula midiendo la variación de posición y orientación respecto de la misma marca fiducial (4). Esta variación de posición se traslada rígidamente al detector de radiación gamma (2) pues es solidario a la cámara de visible (1). Las nuevas orientaciones

determinarán con precisión fuente radioactiva (3). Sucesivamente se consigue medir la escena radioactiva por el desplazamiento del sistema (10).

Las medidas obtenidas por detector de radiación gamma (2) dan información acerca de la intensidad de la fuente radioactiva (3) ya que, mediante la unidad de control, se conoce la distancia y la eficiencia energética intrínseca del detector de radiación gamma (2). Adicionalmente, mediante la unidad de control es posible calcular la distancia entre el sistema (10) y la fuente radioactiva (3) ya que la intensidad de la radioactiva es inversamente proporcional a su distancia desde la fuente radioactiva (3) al cuadrado.

De este modo, la unidad de control con al menos dos posiciones obtenidas desde dos lugares distintos, detecta la posición tres dimensiones de la fuente radioactiva (3) respecto la marca fiducial (4) mediante las instrucciones de posicionamiento comprendidas en la memoria de la unidad de control.

Dicha unidad de control gracias a estos datos obtenidos a partir del detector de radiación gamma (2) y el transductor óptico (1) puede reconstruir una imagen en tres dimensiones donde se muestra la distribución espacial de la radiación ionizante.

Una segunda realización preferente de la invención, tal y como se muestra en la figura 2, el sistema (10) comprende el transductor óptico (1) que es una cámara de profundidad o contorno solidario al detector de radiación gamma (2), estando ambos vinculados con la unidad de control. De este modo la diferencia entre la primera realización preferente y la segunda realización preferente es el tipo de transductor óptico (1).

Esta cámara de profundidad o de contorno es capaz de obtener el contorno de los objetos cercanos y obtener información tridimensional acerca de la superficie de los objetos vecinos o en el campo de acción de la cámara de contorno. La complejidad de obtener las diferentes localizaciones se compensa por no requerir marcas fiduciales (4) prefabricadas siendo el contorno de la escena el que ejerce de la referencia espacial fija.

En esta segunda realización preferente el propio contorno detectado por la cámara de profundidad o de contorno se utiliza como referencia visual, pues el movimiento del sistema (10) puede recalcularse identificando diferentes objetos. Adicionalmente, la información de este

contorno se puede combinar con la información de la cámara gamma (2) y determinar nuevamente la distancia a la fuente radioactiva (3) y su posición con respecto al sistema (10) mediante las instrucciones de posicionamiento comprendidas en la memoria de la unidad de control.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema (10) para la identificación volumétrica e isotópica de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de al menos una fuente radioactiva (3) puntual, o extensa, en escenas radioactivas en donde el sistema (10) comprende:

- un detector de radiación gamma (2), para generar una señal eléctrica proporcional a la energía de la radiación ionizante, y que comprende mecanismos de colimación destinados a obtener información direccional de la escena radioactiva, y
- un transductor óptico (1) vinculado con el detector de radiación gamma (2) para captar unas imágenes de la escena radioactiva,

en donde el sistema (10) está caracterizado por que el detector de radiación gamma (2) es solidario con el transductor óptico (1) y por que el sistema (10) comprende una unidad de control que a su vez comprende:

- un microprocesador, y
- una memoria vinculada con el microprocesador, y que comprende:
 - o unas instrucciones de posicionamiento para:
 - definir una imagen inicial de la escena radioactiva captada por el transductor óptico (1),
 - detectar en la imagen inicial al menos una referencia visual,
 - determinar la orientación inicial del detector de radiación gamma (2) con respecto dicha referencia visual,
 - detectar la posición absoluta del sistema (10) con respecto a la referencia visual de la imagen inicial en una sucesión de localizaciones, a partir de unas imágenes sucesivas a la imagen inicial, y
 - para determinar la orientación del detector de radiación gamma (2) para cada localización dentro de la escena radioactiva, y
 - o unas instrucciones de medida para:
 - realizar medidas de la radiación ionizante, mediante el detector de radiación gamma (2), en cada localización del sistema (10) dentro de la escena radioactiva,
 - relacionar dichas medidas con la posición absoluta obtenida mediante las instrucciones de posicionamiento,
 - establecer su distribución espacial en la escena radioactiva formando en

una matriz de tres dimensiones con forma de sub-volúmenes donde cada región sub-volumen comprende un valor proporcional a la intensidad de su radiación, y

- caracterizar la radiación ionizante según el valor de la señal eléctrica producida por el transductor acorde a los fotopicos para determinar su composición de isotopos.

2.- Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado por que los mecanismos de colimación comprenden una estructura con segmentadores para detectar la dirección de la radiación ionizante de la fuente radioactiva (3) en cada localización del sistema (10).

3.- Sistema (10) según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de control comprende en la memoria instrucciones de detección que comprende técnicas de colimación tal como técnicas Compton para detectar la dirección de la radiación ionizante de la fuente radioactiva (3) en cada localización del sistema (10).

4.- Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transductor óptico (1) es una cámara de luz visible.

5.- Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la referencia visual es una marca fiducial (4) posicionada por un usuario en la escena radioactiva.

6.- Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 3, caracterizado por que el transductor óptico (1) es una cámara de profundidad o de contorno.

7.- Sistema (10) según la reivindicación 6, caracterizado por que la referencia visual es un objeto de dimensiones, o tamaño, preestablecidos y emplazado dentro de la escena radioactiva y dentro del campo de la cámara de profundidad en su posición inicial.

8.- Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende unas primeras sub-instrucciones que determinan los sub-volúmenes:

$$X, Y, Z = Dx \cdot i + Xo, Dy \cdot j + Yo, Dz \cdot k + Zo$$

En donde:

- X, Y, Z: son las coordenadas espaciales de cada sub-volumen (cm), denominadas LOC_X.
- i, j, k: son números enteros que identifican la posición del voxel
- Dx, Dy, Dz: son valores enteros que representan la distancia entre las coordenadas espaciales entre un voxel y el siguiente.
- Xo, Yo, Zo: son las coordenadas espaciales, iniciales del voxel (cm).

5

10

9.- Sistema (10) según la reivindicación 8, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida unas segundas sub-instrucciones que miden la radiación para cada sub-volumen según:

$$E = I \cdot CAL_E + Eo$$

15

En donde:

- E, es el factor energía (Ke),
- I, es el valor de la señal medida en el detector (V),
- CAL_E, es el factor de escala que relaciona la señal del detector con la energía (Ke/V),
- Eo, es el valor de la energía cuando la señal del detector es 0 (Ke).

20

10.- Sistema (10) según la reivindicación 9, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida comprende unas terceras sub-instrucciones que relacionan los sub-volúmenes con el factor de energía para obtener el factor de intensidad radioactiva (FI) de cada sub-volumen, mediante la siguiente ecuación:

25

$$FI = E(LOC_X, POSE_D(t)) \cdot E((POSE_D(t) - LOC_X)^2) \cdot EFF_C(E) \cdot FC$$

En

donde:

- E(LOC_X, POSE_D(t)), es el factor de eficiencia conocido del detector gamma y que en este caso depende de la orientación del detector de radiación gamma (2), y de su construcción,

30

- $E((\text{POSE_D}(t) - \text{LOC_X})^2)$, es el factor de eficiencia relativo a la distancia que relaciona la distancia relativa entre la posición de la fuente radioactiva (3) con a cada sub-volumen de la medición,
- $\text{EFF_C}(E)$, es el factor que determina la eficiencia del detector de radiación gamma (2) en obtener una señal de para cada energía de fotopico, y
- FC. son factores adicionales referidos al detector gamma obtenidos mediante la calibración.

11.- Método para la identificación isotópica y caracterización de la distribución espacial de una radiación ionizante procedente de una o unas fuente radioactivas (3) puntuales, o extensas, en escenas radioactivas, que utiliza el sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- a) determinar una localización inicial del sistema (10) en la escena radioactiva,
- b) establecer una región de medida dentro del campo de visión del traductor óptico en la escena radioactiva de modo que incluya al menos la referencia visual,
- c) obtener, mediante las instrucciones de posicionamiento, una imagen inicial de la región de medida de la escena radioactiva, mediante el transductor óptico (1) y obtener la orientación inicial del detector de radiación gamma (2),
- d) determinar, mediante las instrucciones de posicionamiento, la posición absoluta inicial del sistema (10) con respecto a la referencia visual,
- e) modificar, al menos una vez, la posición del sistema (10) y realizar las siguientes etapas para cada sucesión de posiciones posteriores a la posición inicial:
 - i. realizar, mediante el transductor óptico (1) y las instrucciones de posicionamiento, una sucesión de imágenes sucesivas a la imagen inicial,
 - ii. realizar, mediante las instrucciones de medida y el detector de radiación gamma (2), medidas de radiación en la escena radioactiva,
 - iii. generar, mediante la unidad de control, un volumen de medición en la imagen para proyectar las medidas de radiación mediante la generación de sub-volumenes,
 - iv. determinar las coordenadas tridimensionales que determinan los sub-volumenes y relacionarlas con las medidas de la escena radioactiva mediante la unidad de control,

- v. establecer, mediante las instrucciones de medida, un valor superior a cero para cada sub-volumen que en cada sucesión de posiciones será incrementado en cada sub-volumen donde se detecte intensidad radioactiva y será disminuido en cada sub-volumen donde se no detecte intensidad radioactiva, y
- vi. caracterizar la radiación ionizante según el valor de la señal eléctrica producida por el transductor acorde a los fotopicos para determinar su composición de isotopos.

12.- Método según la reivindicación 11, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende unas primeras sub-instrucciones que determinan los sub-volúmenes:

$$X,Y,Z = Dx \cdot i + Xo,Dy \cdot j + Yo,Dz \cdot k + Zo$$

En donde:

- X, Y, Z: son las coordenadas espaciales de cada sub-volumen (cm), denominadas LOC_X.
- i, j, k: son números enteros que identifican la posición del voxel
- Dx, Dy, Dz: son valores enteros que representan la distancia entre las coordenadas espaciales entre un voxel y el siguiente.
- Xo, Yo, Zo: son las coordenadas espaciales, iniciales del voxel (cm).

13.- Método según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida unas segundas sub-instrucciones que miden la radiación para cada sub-volumen según:

$$E = I \cdot CAL_E + Eo$$

En donde:

- E, es el factor energía (Ke),
- I, es el valor de la señal medida en el detector (V),
- CAL_E, es el factor de escala que relaciona la señal del detector con la energía (Ke/V),
- Eo, es el valor de la energía cuando la señal del detector es 0 (Ke).

14.- Método según la reivindicación 11, 12 o 13, caracterizado por que la memoria de la unidad de control comprende en las instrucciones de medida comprende unas terceras sub-

instrucciones que relacionan los sub-volúmenes con el factor de energía para obtener el factor de intensidad radioactiva (FI) de cada sub-volumen, mediante la siguiente ecuación:

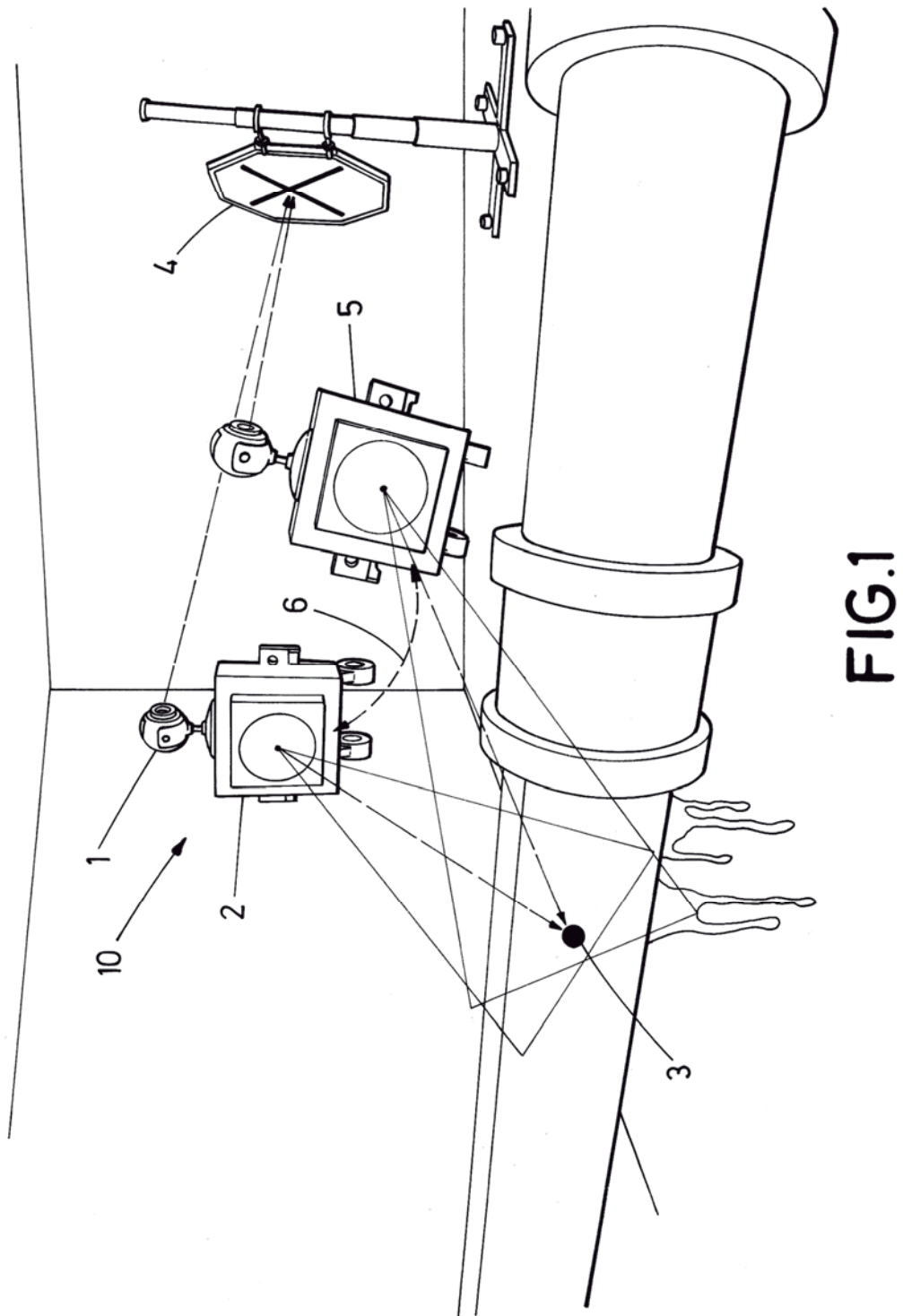
$$FI = E(LOC_X, POSE_D(t)) \cdot E((POSE_D(t) - LOC_X)^2) \cdot EFF_C(E) \cdot FC$$

5

En

donde:

- $E(LOC_X, POSE_D(t))$, es el factor de eficiencia conocido del detector gamma y que en este caso depende de la orientación del detector de radiación gamma (2), y de su construcción,
- 10 • $E((POSE_D(t) - LOC_X)^2)$, es el factor de eficiencia relativo a la distancia que relaciona la distancia relativa entre la posición de la fuente radioactiva (3) con a cada sub-volumen de la medición,
- $EFF_C(E)$, es el factor que determina la eficiencia del detector de radiación gamma (2) en obtener una señal de para cada fotopico de una determinada, y
- 15 • FC. son factores adicionales referidos al detector gamma obtenidos mediante la calibración.



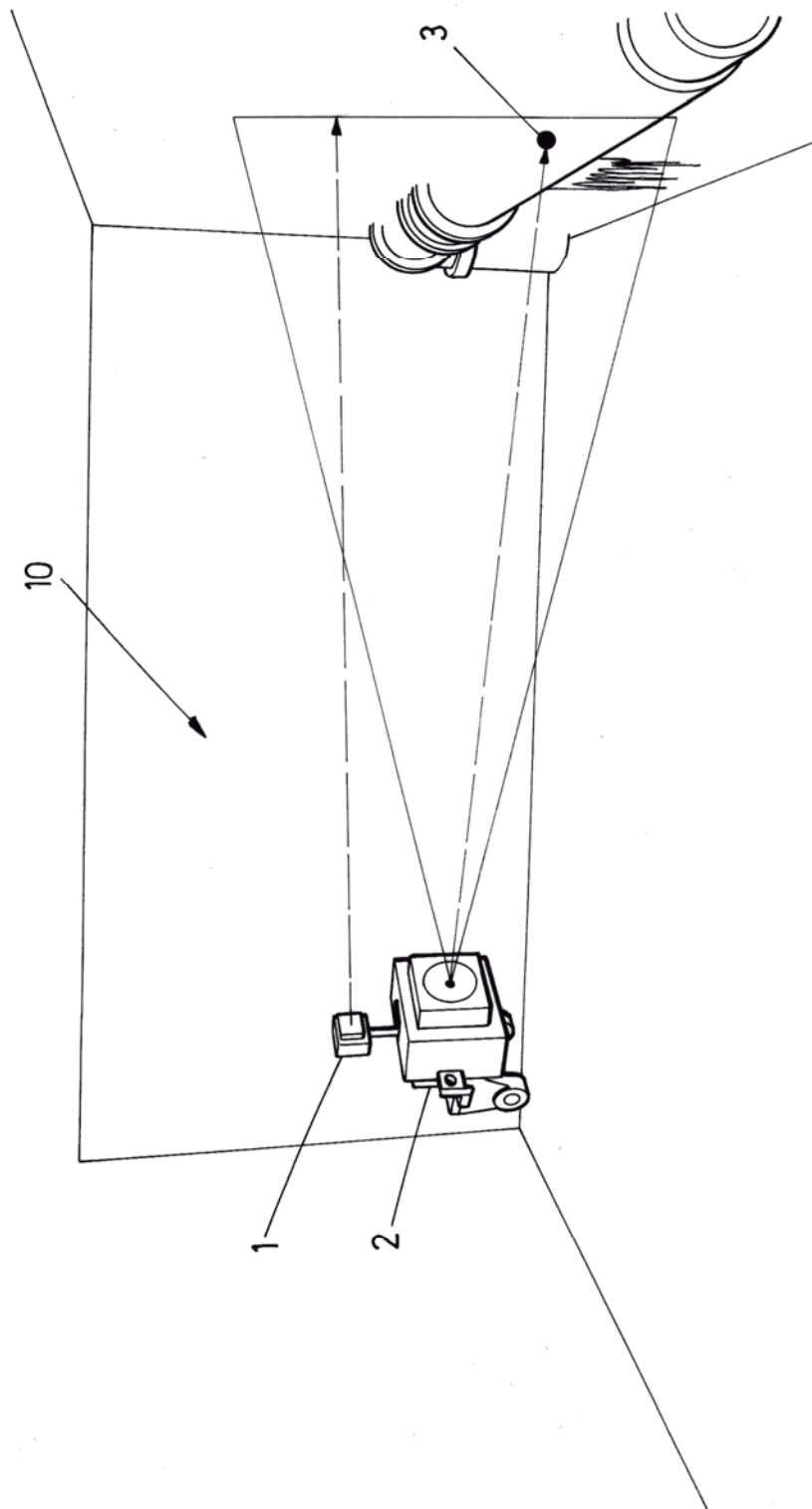


FIG. 2