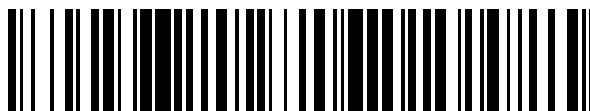


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 189**

51 Int. Cl.:

**G21D 1/00** (2006.01)

**G21F 9/28** (2006.01)

**G01T 1/167** (2006.01)

**G01V 5/02** (2006.01)

**G21C 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2013 PCT/FR2013/051817**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.02.2014 WO14020269**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2013 E 13756611 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2880661**

54 Título: **Procedimiento y sistema para inspeccionar una instalación nuclear**

30 Prioridad:

**01.08.2012 FR 1257505**

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

**25.10.2017**

73 Titular/es:

**SOLETANCHE FREYSSINET (100.0%)  
280 Avenue Napoleon Bonaparte  
92500 Rueil Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**BINDEL, LAURENT**

74 Agente/Representante:

**VEIGA SERRANO, Mikel**

ES 2 639 189 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

Procedimiento y sistema para inspeccionar una instalación nuclear

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a las técnicas de inspección de unas instalaciones nucleares. Está indicada para estimar la distribución de sustancias radiactivas en la estructura de la instalación.

10 **Estado de la técnica**

Existen varios métodos para determinar *in situ* la cantidad de radionúclidos en una instalación nuclear. Sin embargo, la limitación principal de estos métodos reside en la determinación de la distribución en profundidad de estos radionúclidos, en particular en los recintos de hormigón que forman parte de la instalación. El conocimiento de esta distribución es esencial para las actividades de desmantelamiento, por ejemplo, para determinar el grosor de material a retirar.

Un método de contraste por distancia consiste en efectuar dos medidas a dos distancias del medio a caracterizar (muro o suelo, por ejemplo), y posteriormente en aprovechar su relación. Véase A. Al-Ghamdi, y X. G. XU, "Estimating the Depth of Embedded Contaminants From in-Situ Gamma Spectroscopic Measurements", Health Physics, Vol. 84, N.º 5, mayo de 2003, págs. 632-636. Este primer método es conveniente para unas fuentes de geometría definida localizadas cerca de la superficie inspeccionada, pero no para unas fuentes de forma desconocida.

Otro método utiliza la atenuación de dos rayos gamma. Se supone la existencia de un isótopo que emite dos energías diferentes. Véase M. Korun, et ál., "In-situ measurements of the radioactive fallout deposit", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. A300, N.º 3, febrero de 1991, págs. 611-615, o M. Korun, et ál., "In-situ measurement of Cs distribution in the soil", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Vol. B93, N.º 4, septiembre de 1994, págs. 485-491. Este método no permite estimar un único parámetro de profundidad. Además, este planteamiento supone una distribución espacial uniforme de los radionúclidos.

La patente US 6 528 797 describe un método angular aplicable a cualquier material/medio con la condición de que sus propiedades de atenuación sean despreciables, conocidas, medibles o estimables. El método angular permite caracterizar unas distribuciones en profundidad complejas. La distribución en profundidad se calcula sin conocimiento *a priori*, sin hipótesis sobre su forma, sin necesidad de utilizar unos métodos invasivos complementarios. El método se basa en una diferenciación en ángulo y en energía.

El documento D5=US 2003/136916 A1 divulga un método de inspección que comprende un detector de radiación colimado, unas medidas a diferentes distancias y un analizador para analizar las medidas a diferentes distancias subdividiendo la zona cilíndrica en varias mallas de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas.

Las técnicas actuales no permiten determinar cómodamente en el sitio, de manera rápida y precisa la contaminación radiológica en profundidad en unas construcciones de obra civil, por ejemplo, una instalación nuclear. La obtención de una cartografía en tres dimensiones de la contaminación presente en los muros de la instalación nuclear a desmantelar sería muy útil para optimizar en el origen la clasificación de los desechos. Esta cartografía podría vincularse directamente a una clasificación oficial, listando la actividad por unidad de masa mientras se evalúa la composición isotópica de las fuentes radiactivas. Por otro lado, la localización y la determinación de las fuentes radiactivas en profundidad continúa siendo un problema importante para los estudios de radioprotección durante las obras de desmantelamiento. Los métodos existentes siguen siendo demasiado restrictivos.

Hasta el momento, se efectúan unos análisis espectroquímicos de elementos de muestra en laboratorios. Esto induce unos costes y unos retardos específicos, así como trabajo reglamentario durante la constitución de los informes de solicitud de autorización de transporte.

55 **Objeto de la invención**

Un objetivo de la presente invención es proponer una técnica capaz de determinar de manera rápida y precisa la profundidad de contaminación en el caso de fuentes voluminosas cuya distribución no sea conocida o debida a unas fuentes heterogéneas.

Otro objetivo de la presente invención es proponer un sistema y un procedimiento *in situ* y no destructivo de determinación de la profundidad de contaminación radiológica. Esto permite evaluar correctamente los volúmenes de desechos con el fin de optimizar su separación y su clasificación.

65 Se propone un procedimiento y un sistema de inspección de una instalación nuclear. El procedimiento comprende:

- disponer un detector (2) de radiación delante de la superficie (20) de una parte (1) de la instalación, estando colimado el detector de radiación para recibir radiación de una zona cilíndrica (25) de la parte de la instalación;
- realizar varias medidas de la radiación recibida por el detector (2) de radiación para diferentes energías de emisión y diferentes distancias, a lo largo del eje (X) de la zona cilíndrica, entre el detector (2) de radiación y la superficie de la parte (1) de instalación;
- analizar las medidas de radiación subdividiendo la zona cilíndrica en varias mallas (3) de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas, y

10 en el que el análisis de las medidas de radiación comprende una inversión de un sistema lineal  $C \cdot a = m$ , que se efectúa en un calculador, en el que:

- $m$  es un vector que tiene por componentes las medidas de radiación realizadas;
- $a$  es un vector que tiene por componentes los niveles de radiactividad a estimar para las diferentes mallas; y
- $C$  es una matriz que tiene por componentes unos valores precalculados en función de:
  - unas energías de emisión de la radiación en las medidas realizadas;
  - unas distancias, durante unas medidas realizadas, entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de instalación; y
  - unos tiempos durante los que se realizan las medidas de radiación.

El sistema comprende:

- un detector (2) de radiación colimado para recibir radiación de una zona cilíndrica (25) de una parte (1) de la instalación y realizar varias medidas de dicha radiación para diferentes energías de emisión y diferentes distancias, a lo largo del eje (X) de la zona cilíndrica, entre el detector (2) de radiación y una superficie (20) de la parte de instalación;
- un analizador para analizar las medidas de radiación subdividiendo la zona cilíndrica en varias mallas de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas, y
- un calculador para efectuar dicho análisis de las medidas, comprendiendo el análisis de las medidas de radiación una inversión de un sistema lineal  $C \cdot a = m$ , en el que:
  - $m$  es un vector que tiene por componentes las medidas de radiación realizadas;
  - $a$  es un vector que tiene por componentes los niveles de radiactividad a estimar para las diferentes mallas; y
  - $C$  es una matriz que tiene por componentes unos valores precalculados en función de:
    - unas energías de emisión de la radiación en las medidas realizadas;
    - unas distancias, durante unas medidas realizadas, entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de instalación; y
    - unos tiempos durante los que se realizan las medidas de radiación.

El detector de radiación puede disponerse principalmente de manera que la zona cilíndrica tenga su eje perpendicular a la superficie de la parte de instalación.

45 En una realización, las mallas son unas franjas de la zona cilíndrica subdivididas perpendicularmente al eje de la zona cilíndrica.

Puede aplicarse un método de regularización en la inversión del sistema lineal.

50 Un modo de realización del sistema propuesto comprende un colimador asociado al detector de radiación, regulable para no enviar hacia al detector más que la radiación procedente de dicha zona cilíndrica sea cual sea la distancia elegida entre el detector de radiación y la superficie de la parte de instalación. El colimador puede tener principalmente una parte móvil y una parte fija que permite la traslación del detector a lo largo del eje de la zona cilíndrica en el interior del colimador.

55 El sistema puede incluir también un dispositivo de mira láser para asegurar que el eje de la zona cilíndrica permanece perpendicular a la superficie de la parte de instalación.

### Descripción de las figuras

60 Surgirán otras particularidades y ventajas de la presente invención en la descripción que sigue a continuación de un ejemplo de realización no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en perspectiva que muestra esquemáticamente el principio de inspección de una instalación nuclear según la invención;

- la figura 2 ilustra la geometría de un modelo según la invención al que puede hacerse referencia para la estimación de los niveles de actividad de una instalación nuclear;
- 5 - la figura 3 muestra un ejemplo de parámetros dimensionales que se han ensayado para validar el método de estimación de los niveles de actividad según la invención;
- la figura 4 es una vista en perspectiva de un sistema para inspeccionar una instalación nuclear en un medio según un modo de realización preferido de la invención;
- 10 - la figura 5 es una vista en sección según el eje X' de la parte fija del colimador del modo de realización ilustrado en la figura 4.

**Descripción detallada de la invención**

15 El procedimiento según la invención utiliza una diferenciación en distancia y en energía para obtener unos perfiles radiactivos. Incluye la realización de varias medidas (dos, tres, cuatro e incluso más) sobre el medio 1, a unas distancias D diferentes para varias rayas de emisiones por un sistema de detección que comprende al menos un detector 2 de radiación (figura 1).

20 El "medio" del que se trata, es una parte de la instalación nuclear que contiene unos radionúclidos. Esta parte puede formar parte del suelo o de elementos estructurales de una construcción en hormigón o en acero, contaminada por unos radionúclidos.

25 Para efectuar las medidas, se dispone el detector 2 de radiación delante de la superficie 20 del medio 1. El detector 2 de radiación se dispone de manera que reciba radiación de una zona 25 cilíndrica de diámetro d que tiene su eje X perpendicular a la superficie 20.

30 El detector 2 de radiación está colimado para recibir radiación procedente de esta misma zona cilíndrica 25 sea cual sea la distancia D. La colimación se realiza por ejemplo con ayuda de un colimador de plomo alineado sobre el eje X, que por tanto se puede ver también como un eje X' del sistema de detección.

Se efectúan varias medidas de la radiación recibida por el detector 2 a diferentes energías de emisión y para diferentes distancias D, a lo largo del eje X, entre el detector 2 de radiación y la superficie 20 del medio 1.

35 Las medidas a unas distancias diferentes con relación a la superficie 20 se realizan por traslación del detector 2 de radiación paralelamente a su eje X'. Las energías de emisión se preseleccionan en función del espectro de los radionúclidos que se espera encontrar en la estructura, por ejemplo, unas rayas del europio 152 y/o 154 que se encuentra frecuentemente en unos hormigones activados.

40 Las medidas de radiación se analizan con ayuda de un calculador que hace referencia a un modelo según el que la zona cilíndrica examinada se subdivide en varias mallas de diámetro d, que tienen por ejemplo unos grosores regulares, de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas.

45 La figura 2 ilustra la geometría de un modelo al que se puede hacer referencia para estimar unos niveles de actividad  $a_i$  según la invención. Las notaciones son las siguientes:

- O es el punto situado en la intersección del eje X' del detector 2 de radiación con la superficie 20 del medio 1 al que se enfrenta el detector 2 de radiación;
- 50 • A es un punto de la apertura del detector 2 de radiación, que forma el centro de un pequeño elemento de superficie  $dS = r \cdot dr \cdot d\omega$ , en la que r y  $\omega$  designan unas coordenadas polares de A en el plano sensible del detector 2 que es perpendicular al eje X';
- A' es el centro de un pequeño elemento de volumen cilíndrico dV que pertenece a la zona cilíndrica 25. Este punto A' situado a una profundidad p por detrás de la superficie 20 y a una distancia r' del eje X (X'). Con relación al punto de origen O y en el eje X (X'), el punto A' tiene por coordenadas polares (p, r',  $\theta$ ), y el volumen elemental dV tiene por expresión  $dV = r' \cdot dr' \cdot d\theta \cdot dp = dS' \cdot dp$ , indicando como  $dS' = r' \cdot dr' \cdot d\theta$ ; y
- J es la intersección entre el segmento que va de A' a A y la superficie 20.

60 El cuadrado de la distancia A'A entre los puntos A y A' viene dado por:

$$A'A^2 = (D+p)^2 + (p \cdot \text{sen } \theta - r \cdot \text{sen } \omega)^2 + (p \cdot \text{cos } \theta - r \cdot \text{cos } \omega)^2 \tag{1}$$

65 mientras que la distancia A'J entre los puntos A' y J viene dado por:

$$A'J = A'A \times p/(D+p) \quad (2)$$

El flujo elemental  $\delta\phi(E)$  de la radiación gamma a la energía de emisión E que tiene el volumen elemental dV alrededor del punto A' en la superficie del detector elemental dS alrededor del punto A puede expresarse de la manera siguiente:

$$\delta\phi(E) = \frac{e^{-\mu(E)A'J}}{4\pi \cdot A'A^2} \cdot dS \cdot dS' \cdot dp \quad (3)$$

en la que  $\mu(E)$ , en unidades de  $\text{cm}^{-1}$ , es el coeficiente de atenuación de la radiación en el hormigón a la energía E. Para la medida a la distancia D de la superficie 20 del medio 1, el número  $M_D(E)$  de eventos contados por el detector 2 a una energía E se expresa por:

$$M_D(E) = \epsilon(E) \cdot Y(E) \cdot t_D \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot F'_{D,i}(E) \quad (4)$$

en la que:

- n es el número de mallas en la subdivisión de la zona cilíndrica 25;
- $t_D$  es la duración de la medida realizada a la distancia D;
- $\epsilon(E)$  es el rendimiento intrínseco del detector 2 a la energía E;
- Y(E) es la relación de ramificación de la raya de emisión de la energía E;
- $a_i$  es el nivel de actividad en volumen de la malla i, es decir una cantidad que se busca determinar; y
- $F'_{D,i}$  es una integral del flujo para la malla cilíndrica i que tiene el mismo diámetro de la zona 25 y que tiene una profundidad  $p_{i-1}$  a la profundidad  $p_i$ , dada por:

$$F'_{D,i}(E) = \int_{p_{i-1}}^{p_i} \int_{S'} \delta\phi(E) \quad (5)$$

a título de ejemplo, se puede elegir discretizar la zona cilíndrica 25 del medio de hormigón en  $n = 4$  mallas M1-M4 tal como se ilustra en la figura 3, y efectuar dos medidas a dos distancias  $D_1, D_2$  para dos energías diferentes  $E_1, E_2$  de radiación gamma. Indicando:

$$F_{D,i} = \epsilon(E) \cdot Y(E) \cdot F'_{D,i} \cdot t_D \quad (6)$$

se introduce la matriz:

$$\underline{C} = \begin{pmatrix} F_{D_1,1}(E_1) & F_{D_1,2}(E_1) & F_{D_1,3}(E_1) & F_{D_1,4}(E_1) \\ F_{D_1,1}(E_2) & F_{D_1,2}(E_2) & F_{D_1,3}(E_2) & F_{D_1,4}(E_2) \\ F_{D_2,1}(E_1) & F_{D_2,2}(E_1) & F_{D_2,3}(E_1) & F_{D_2,4}(E_1) \\ F_{D_2,1}(E_2) & F_{D_2,2}(E_2) & F_{D_2,3}(E_2) & F_{D_2,4}(E_2) \end{pmatrix} \quad (7)$$

y el sistema lineal:

$$\underline{C} \cdot \underline{a} = \underline{m} \quad (8)$$

en la que:  $\underline{m} = (M_{D_1}(E_1), M_{D_1}(E_2), M_{D_2}(E_1), M_{D_2}(E_2))^T$  es un vector cuyos componentes son las medidas de radiación realizadas  $M_D(E)$ ;

$\underline{a} = (a_1, a_2, a_3, a_4)^T$  es un vector cuyos componentes son los niveles de actividad en volumen  $a_i$  a estimar para las diferentes mallas.

Observando las relaciones (6), (5), (3), (2) y (1), se ve que las componentes  $F_{D,i}$  de la matriz  $\underline{C}$  pueden calcularse por adelantado en función:

- de los valores de  $\mu(E_1), \mu(E_2)$ , de  $\epsilon(E_1), \epsilon(E_2)$  y de  $Y(E_1), Y(E_2)$  que son por sí mismas unas funciones conocidas de las energías de emisión  $E_1, E_2$  de la radiación utilizada en las medidas;
- las distancias  $D_1, D_2$  entre el detector 2 y la superficie 20; y
- los tiempos  $t_{D_1}, t_{D_2}$  durante los que se realizan las medidas de radiación.

Una inversión del sistema lineal (8) permite entonces estimar los niveles de radiactividad  $a_i$  a partir de las medidas

$M_D(E)$ .

El método anterior del presente documento presenta una gran libertad en la elección de los parámetros de entrada: mallado, distancias de medida y energías. Estos son función de la situación encontrada y del método de resolución del sistema.

El sistema lineal (8) puede resolverse de diferentes maneras. Para poder hacerlo, no son necesarias menos medidas independientes  $M_D(E)$  que incógnitas  $a_i$ , de manera que el número de líneas  $l$  de la matriz ( $l$  es el número de medidas, es decir el número de distancias de medida  $D$  multiplicado por el número de energías consideradas  $E$ ) es al menos igual a su número de columnas  $n$ , en el ejemplo ilustrativo anterior del presente documento, se ha tomado  $l = n = 4$ .

Puede elegirse un método de resolución directa del sistema lineal: generación de los vectores  $\underline{a}_k$ , multiplicación por la matriz  $\underline{C}$  y posteriormente selección de las  $\underline{m}_k$  correspondientes comparándolas con las medidas con la ayuda de un criterio de norma. El algoritmo comienza por enmarcar el espacio de las soluciones y posteriormente efectúa una criba discreta más o menos precisa de todo el espacio.

Una técnica de resolución por mínimos cuadrados es de una utilización común para invertir el sistema (8). Consiste en buscar el vector  $\underline{a}$  que minimiza la norma  $\|\underline{C} \cdot \underline{a} - \underline{m}\|^2$ . De modo clásico, la solución se expresa por:

$$\hat{\underline{a}} = (\underline{C}^T \cdot \underline{C})^{-1} \cdot \underline{C}^T \cdot \underline{m} \quad (9)$$

Para mejorar la estabilidad de la solución encontrada, se puede recurrir, de forma conocida, a una técnica de regularización que consiste en expresar el vector de los niveles de actividad estimados  $\hat{\underline{a}}$  según:

$$\hat{\underline{a}} = (\underline{C}^T \cdot \underline{C} + \lambda \cdot \underline{\Delta}^T \cdot \underline{\Delta})^{-1} \cdot \underline{C}^T \cdot \underline{m} \quad (9)$$

en la que:

$\underline{\Delta}$  es una matriz diagonal de tamaño  $n \times n$ , por ejemplo, la matriz identidad para una regularización al primer orden; y

$\lambda$  un parámetro de regularización, por ejemplo, determinado según el método denominado "curva L" (véase P.C. Hansen, "Analysis of discrete ill-posed problems by means of the L-curve", SIAM Review, Vol. 34, N.º 4, diciembre de 1992, págs. 561-580) que establece un compromiso fiable entre la adecuación a los datos y el modelo de regularización a través de una curva en L.

La figura 3 muestra un ejemplo de parámetros dimensionales que se han ensayado para validar el método de estimación de los niveles de actividad. El medio fuente como por ejemplo un muro de hormigón de 20 cm de grosor, tiene una zona cilíndrica 25 de 6 cm de diámetro discretizada en cuatro mallas 3 (M1-M4) de grosor  $p_i - p_{i-1} = 5$  cm. Cada malla se supone que contiene una actividad en volumen medio  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ). Para limitar el tiempo de cálculo, se ha asimilado el detector 2 de radiación a un punto P (P1-P2) en los ensayos, no afectando esta hipótesis a los resultados obtenidos.

Es útil tener un contraste de distancia bastante grande mientras se obtiene una medida significativa. Los ensayos han sido realizados con dos medidas efectuadas a una primera distancia  $D_1 = 10$  cm y posteriormente a una segunda distancia  $D_2 = 70$  cm con unos tiempos de medida  $T_{D_1} = 180$  s y  $T_{D_2} = 5 T_{D_1} = 900$  s. Esta elección ha permitido principalmente mejorar el condicionamiento de la matriz  $\underline{C}$ . Se han utilizado las rayas de los isótopos 152 y 154 del europio porque estos isótopos están frecuentemente presentes en los hormigones activados. La geometría anterior del presente documento conduce a tener una matriz cuadrada  $\underline{C}$  de rango cuatro. Dada la realización de dos medidas, es necesario utilizar al menos dos rayas de emisión con dos energías diferentes para poder determinar (en el sentido matemático del término) el sistema lineal. La toma en consideración de tres rayas puede ser ventajosa para permitir la sobredeterminación del sistema.

Una vez que se han efectuado las medidas en la zona cilíndrica 25, los aparatos que incluyen el detector 2 de radiación pueden desplazarse paralelamente a la estructura para proceder a una nueva estimación. Se puede obtener así una cartografía en 3D de los niveles de radiactividad en la estructura.

El método ofrece una gran flexibilidad con la posibilidad de elegir en función de la situación las energías de emisión de radiación, el mallado, las distancias y los tiempos de medida.

Una posibilidad es acoplar el método anterior del presente documento, que aprovecha los picos fotoeléctricos, a un método espectral que tiene en cuenta la totalidad del espectro. El valle del pico será diferente según la profundidad

de la fuente (atenuación diferente); se va a depurar por tanto el espectro y a no trabajar más que en el fondo. El procedimiento da una infinidad de pares (intensidad, profundidad) trabajando sobre las rayas, y el método espectral da el enmarcado trabajando sobre el fondo, por tanto, el par (intensidad, profundidad) a considerar.

5 La figura 4 ilustra un sistema 4 según la invención que comprende unos aparatos 5 de detección y un analizador (no representado) integrado o unido a los aparatos 5.

10 Los aparatos 5 de detección comprenden el detector 2 de radiación (no visible en la vista de la figura 4), un colimador 7 en el que está alojado el detector 2 para recibir la radiación emitida por la zona cilíndrica 25, un pie 9 y una base 8.

15 El detector 2 de radiación puede ser un escintilador clásico de tipo LaBr<sub>3</sub> acoplado a un fotomultiplicador. El colimador 7 dispuesto sobre el pie 9 es, por ejemplo, de plomo y acero para constituir un blindaje para el detector de radiación.

En un modo de realización, el analizador, por ejemplo, un analizador multicanales, posee un procesador de señal, una interfaz PCI conectada al detector 2 de radiación y un medio de presentación para presentar la información vinculada a las medidas.

20 Las informaciones de las radiaciones gamma detectadas por el escintilador, amplificadas por el fotomultiplicador y analizadas por el analizador multicanales se encaminan preferentemente por cable hacia un aparato de visualización (medio de presentación), por ejemplo, un PC que contiene el programa de visualización espectral, así como el algoritmo de tratamiento que permite realizar la inversión. Este último permite reconstruir una imagen de la distribución en volumen de la distribución de actividad en volumen en profundidad según el procedimiento de la invención.

30 Gracias al desplazamiento del colimador 7 y del detector 2 de radiación en el colimador, los aparatos 5 de detección pueden interrogar una superficie idéntica sea cual sea la distancia entre el medio a caracterizar y el detector 2 de radiación. Con el fin de facilitar el desplazamiento del detector 2 de radiación en el colimador 7, este contiene una parte fija 10 fijada al pie 9 y una parte móvil 11, por ejemplo, un deslizador sobre la parte superior. La parte móvil 11 puede deslizarse sobre la parte fija 10 permitiendo la traslación del detector 2 de radiación que se encuentra en el interior del colimador 7. Puede utilizarse una escala para indicar la posición del detector en el colimador.

35 Para interrogar una superficie idéntica sea cual sea la distancia entre el medio a caracterizar y el detector de radiación, es decir obtener una propiedad de "ver" la misma superficie a diferentes distancias de retroceso, la parte fija 10 del colimador 7 está provista de una forma interna que se descompone en dos conos cilíndricos opuestos cabeza abajo como se ilustra en la figura 5.

40 El diámetro de un primer cono 12 exterior disminuye y el diámetro de un segundo cono 13 interior aumenta de manera progresiva hacia el interior del colimador. La superficie oblicua del primer cono 12 exterior está más inclinada que la del segundo cono 13 interior, formando de ese modo dos conos asimétricos en el que el segundo cono 13 interior es más largo que el primer cono 12. Entre estos dos conos asimétricos, se dispone una garganta 14.

45 Para que las radiaciones atenuadas que llegan sobre el detector de radiación se atenúen de la misma manera, se puede hacer de manera que se atravesase el mismo grosor de blindaje sea cual sea el ángulo de incidencia de las radiaciones que se desea atenuar procedentes del medio a caracterizar.

50 Un sistema de mira láser, por ejemplo, permite asegurar la perpendicularidad de los aparatos 5 de detección con relación al medio a caracterizar.

La utilización de la técnica aquí propuesta reduce el tiempo de caracterización de un medio y el coste asociado, así como el riesgo de exposición del personal. La invención es aplicable directamente sobre las obras de saneamiento y de desmantelamiento, en unas estructuras verticales (muro) u horizontales (suelo).

55 Naturalmente, la presente invención está sujeta a numerosas variantes en cuanto a su realización. Aunque se hayan descrito algunos modos de realización, se entiende que no es concebible identificar de manera exhaustiva todos los modos posibles. Estos modos de realización descritos son simples ilustraciones de la presente invención. Pueden aportarse diversas modificaciones sin salirse del marco de la invención que se establece en las reivindicaciones adjuntas.

60

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de inspección de una instalación nuclear, que comprende:

- 5 - disponer un detector (2) de radiación delante de una superficie (20) de una parte (1) de la instalación, estando colimado el detector de radiación para recibir radiación de una zona cilíndrica (25) de la parte de la instalación;
- realizar varias medidas de la radiación recibida por el detector (2) de radiación para diferentes energías de emisión y diferentes distancias, a lo largo del eje (X) de la zona cilíndrica, entre el detector (2) de radiación y la superficie de la parte (1) de instalación;
- 10 - analizar las medidas de radiación subdividiendo la zona cilíndrica en varias mallas (3) de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas, y

en el que el análisis de las medidas de radiación comprende una inversión de un sistema lineal  $C.a = m$ , que se efectúa en un calculador, en el que:

- 15 • m es un vector que tiene por componentes las medidas de radiación realizadas;
- a es un vector que tiene por componentes los niveles de radiactividad a estimar para las diferentes mallas; y
- C es una matriz que tiene por componentes unos valores precalculados en función de:
- 20 - unas energías de emisión de la radiación en las medidas realizadas;
- unas distancias, durante unas medidas realizadas, entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de la instalación; y
- unos tiempos durante los que se realizan las medidas de radiación.

25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el detector (2) de radiación se dispone de manera que la zona cilíndrica (25) tenga su eje (X) perpendicular a la superficie (20) de la parte (1) de la instalación.

30 3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las mallas (3) son unas franjas de la zona cilíndrica (25) subdivididas perpendicularmente al eje (X) de la zona cilíndrica.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la inversión del sistema lineal comprende la aplicación de un método de regularización.

35 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la radiación recibida por el detector (2) de radiación comprende radiación gamma.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende varias medidas a unas distancias diferentes entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de instalación, para unas energías de emisión respectivas diferentes.

40 7. Sistema para inspeccionar una instalación nuclear, comprendiendo el sistema (4):

- 45 - un detector (2) de radiación colimado para recibir radiación de una zona cilíndrica (25) de una parte (1) de la instalación y realizar varias medidas de dicha radiación para diferentes energías de emisión y diferentes distancias, a lo largo del eje (X) de la zona cilíndrica, entre el detector (2) de radiación y una superficie (20) de la parte de instalación;
- un analizador para analizar las medidas de radiación subdividiendo la zona cilíndrica en varias mallas de manera que se estimen unos niveles de radiactividad respectivos en las mallas,

50 **caracterizado por**

- un calculador para efectuar dicho análisis de las medidas, comprendiendo el análisis de las medidas de radiación una inversión de un sistema lineal  $C.a = m$ , en el que:
- 55 • m es un vector que tiene por componentes las medidas de radiación realizadas;
- a es un vector que tiene por componentes los niveles de radiactividad a estimar para las diferentes mallas; y
- C es una matriz que tiene por componentes unos valores precalculados en función de:
- 60 - unas energías de emisión de la radiación en las medidas realizadas;
- unas distancias, durante unas medidas realizadas, entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de instalación; y
- unos tiempos durante los que se realizan las medidas de radiación.

65 8. Sistema según la reivindicación 7, que comprende un colimador (7) asociado al detector (2) de radiación, que puede desplazarse para no enviar hacia al detector de radiación más que la radiación procedente de dicha zona cilíndrica (25), sea cual sea la distancia elegida entre el detector (2) de radiación y la superficie (20) de la parte de



instalación.

- 5 9. Sistema según la reivindicación 8, en el que el colimador tiene una parte móvil (11) y una parte fija (10) que permite la traslación del detector (2) de radiación a lo largo del eje de la zona cilíndrica en el interior del colimador (7).

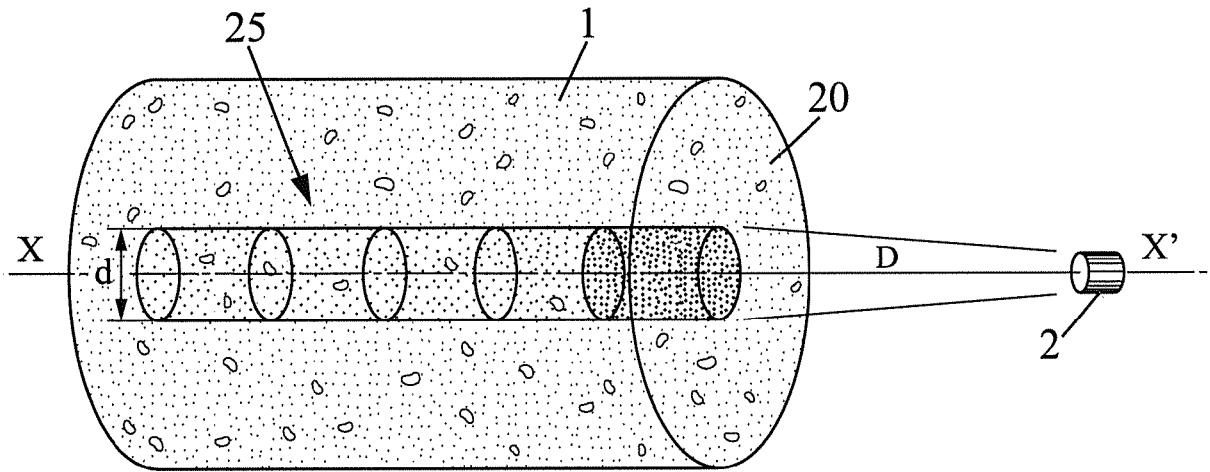


FIG. 1

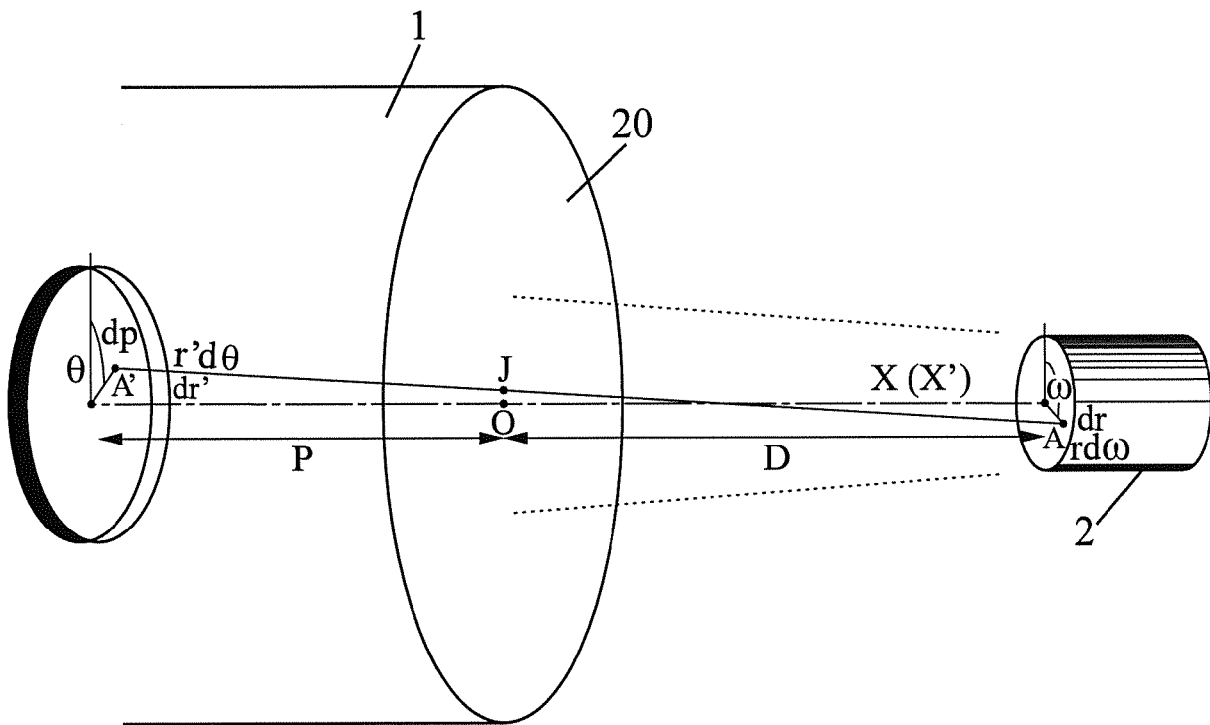


FIG. 2

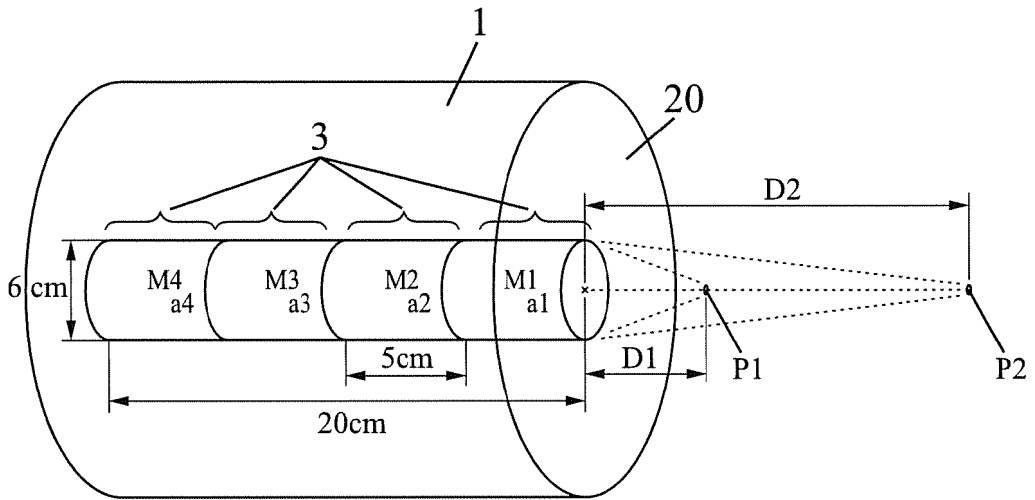


FIG. 3

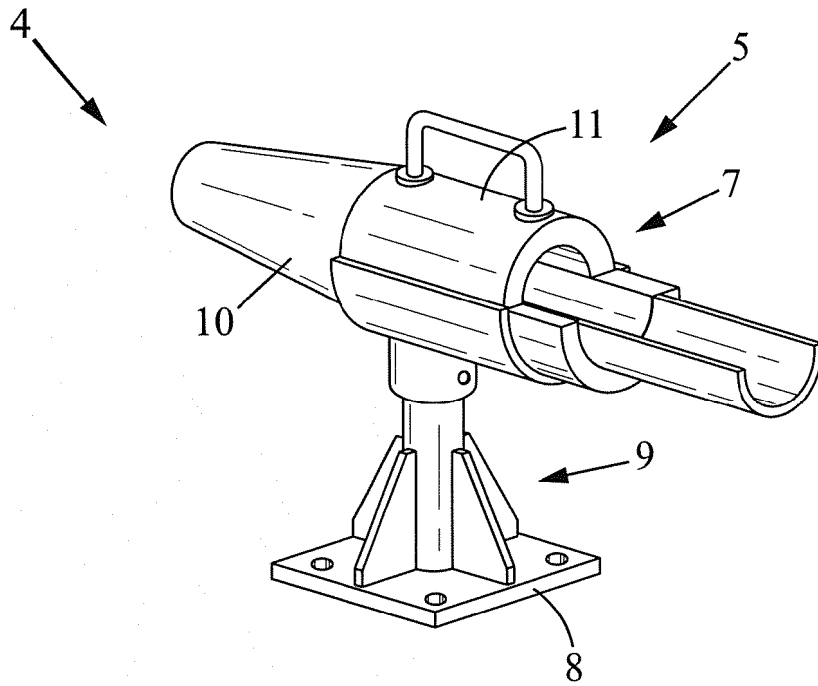


FIG. 4

