



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 365 588**

51 Int. Cl.:  
**G01T 1/161** (2006.01)  
**G21G 4/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08856843 .1**  
96 Fecha de presentación : **04.12.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2227704**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.09.2010**

54 Título: **Fuente radioactiva flexible calibrada.**

30 Prioridad: **07.12.2007 FR 07 59646**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.10.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.10.2011**

73 Titular/es:  
**Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire**  
**31 avenue de la Division Leclerc**  
**92260 Fontenay aux Roses, FR**

72 Inventor/es: **Maulard, Alain**

74 Agente: **Justo Bailey, Mario de**

ES 2 365 588 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

Fuente radiactiva flexible calibrada

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a una fuente radiactiva calibrada que es flexible y que se puede utilizar, por ejemplo, dentro de un fantasma de tejido equivalente para realizar unas mediciones de antropogammametría.

10 **Estado de la técnica anterior**

La antropogammametría es la medición directa in vivo de la radiactividad presente en el organismo de un individuo, por ejemplo tras una contaminación radiactiva.

15 El método de medición utilizado, por lo general, para medir la radiactividad presente en el organismo de un individuo consiste en cuantificar las radiaciones  $x$  e  $\gamma$  emitidas por los radionúclidos eventualmente presentes en este organismo por medio de un detector. No obstante, con el fin de poder determinar esta cantidad de radionúclidos, es necesario calibrar previamente el detector en función del radionúclido que se analiza. Para ello, se coloca una fuente calibrada dentro de un fantasma físico antropomórfico. Un fantasma físico o de tejido equivalente es un sustituto que reproduce las características del individuo que se va a estudiar. Se realiza con materiales que presentan unas densidades y unos números atómicos próximos a los de los tejidos humanos, de tal modo que el fantasma atenúa las radiaciones del mismo modo que el organismo del individuo que se quiere analizar.

25 Uno de los fantasmas más utilizados es el fantasma UP-02T ("IGOR") que consiste en un juego de ladrillos rectangulares de polietileno con unas masas de 0,88 kg y 0,4 kg que permiten simular diferentes tipos de personas, que van desde un niño de 10 kg a un adulto de 110 kg. Cada ladrillo consta de dos agujeros en los que se colocan unas fuentes radiactivas sólidas y cilíndricas de 6 mm de diámetro y de 163 mm de longitud que sirven para realizar los calibrados.

30 Las fuentes radiactivas calibradas que se utilizan en la actualidad para el fantasma IGOR están formadas por un polvo marcado con un producto radiactivo y contenido dentro de un tubo cilíndrico de plástico duro.

35 El problema es que esas fuentes, adaptadas para el fantasma IGOR, ya no se fabrican ni se comercializan y que en la actualidad ni los proveedores franceses ni extranjeros de fuentes calibradas han ofrecido ninguna fuente equivalente. Por lo tanto, las fuentes calibradas que llegan al final de su vida útil no se pueden sustituir.

Por otra parte, estas fuentes radiactivas calibradas presentan el inconveniente de que se rompen con facilidad, lo que constituye un riesgo nada desdeñable de dispersión de la materia radiactiva.

40 Además, las fuentes calibradas se mueven libremente dentro de los agujeros de los ladrillos del fantasma, lo que constituye un riesgo de caída o de cizallamiento de una o de varias fuentes calibradas durante la manipulación del fantasma, lo que implica aquí también una dispersión de la materia radiactiva.

45 Los inventores han buscado, por lo tanto, crear una fuente calibrada de sustitución que sea irrompible y de fácil inserción dentro de un agujero, por ejemplo, un agujero de un ladrillo de fantasma, pero sin que exista la posibilidad de un deslizamiento imprevisto una vez esté colocada.

**Exposición de la invención**

50 Este objetivo se consigue por medio de una fuente radiactiva calibrada, que comprende un contenedor y un material marcado con al menos un radionúclido, dicho material marcado estando contenido dentro del contenedor y dicho contenedor estando formado por un material transparente para las radiaciones emitidas por dicho, al menos uno, radionúclido, caracterizándose la fuente porque el material marcado es un polímero autoendurecible químicamente inerte frente al material que constituye el contenedor y el contenedor es una vaina flexible.

55 La invención consiste, de este modo, en asociar una vaina flexible realizada en un material polímero (por ejemplo, una vaina de silicona) con un polímero autoendurecible, inerte frente al material que constituye la vaina flexible (por ejemplo, una resina epoxi) y marcado con uno o varios producto(s) radiactivo(s) (radionúclidos).

60 En el texto se entiende por "polímero autoendurecible" cualquier polímero que pueda endurecer sin un aporte de calor.

Por otra parte, se entiende por "vaina" un envoltura de forma longilínea y tubular. De forma ventajosa, la vaina tiene una sección esencialmente circular.

65 Al utilizar una vaina flexible y un polímero autoendurecible marcado para rellenar la vaina, se obtiene una fuente

radiactiva calibrada que conserva las ventajas de la vaina, es decir, su flexibilidad, su resistencia a los golpes y su capacidad para recuperar su forma inicial tras una deformación. De este modo, dado que el riesgo de ruptura de la vaina es bajo, el riesgo de dispersión del material radiactivo que se encuentra en el polímero autoendurecible es, también, muy bajo. El riesgo de dispersión del material radiactivo en el medio ambiente durante el transporte y la manipulación de la fuente calibrada de acuerdo con la invención se ven, por lo tanto, muy reducidos.

Por otra parte, como la fuente es flexible, se puede utilizar en geometrías irregulares.

Además, como la vaina flexible está realizada en un material polímero, esta presenta la ventaja de poder diseñarse con una forma específica que le permita, cuando está deformada, insertarse con facilidad dentro de un agujero o de un orificio, y a continuación permanecer bloqueada al recuperar su forma inicial.

El contenedor, que era un tubo de plástico duro en la técnica anterior, se sustituye por una vaina flexible en la invención. De forma ventajosa, la vaina flexible es un cilindro hueco con diámetro esencialmente constante, por ejemplo una tubería.

De forma ventajosa, la vaina flexible está realizada en un material polímero, por ejemplo en elastómero de silicona.

De forma ventajosa, el polímero autoendurecible del material marcado es una resina epoxi, por ejemplo el bisfenol.

De forma ventajosa, el polímero autoendurecible del material marcado comprende un 53 % de resina epoxi, un 32 % de endurecedor y un 15 % de agente licuador, con un error máximo del 1 %. De forma ventajosa, la resina epoxi es la ARALDITE MY 757®, el endurecedor es el ARADUR 850 CH® y el agente licuador es un éter monoetílico del etilenglicol.

De forma ventajosa, el material marcado comprende cobalto 57.

La fuente radiactiva calibrada de acuerdo con la invención se puede utilizar en numerosos dispositivos de medición de la radiactividad. Por ejemplo, la fuente se puede insertar dentro de un fantasma de tejido equivalente para realizar unas mediciones de antropogammametría. De este modo la invención también se refiere a un conjunto que comprende un ladrillo de fantasma de tejido equivalente y al menos una fuente calibrada como la que se ha descrito con anterioridad. El ladrillo es un bloque de polímero que tiene una cara que comprende al menos un agujero destinado a recibir dicha fuente calibrada. La fuente está configurada de tal modo que tenga al menos una curvatura en el sentido de su longitud, la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura siendo igual al diámetro interno más grande de dicho agujero, de tal modo que la fuente esté en contacto con la pared del agujero en al menos dos puntos de contacto y ejerza unas fuerzas de presión dirigidas desde la fuente hacia la pared a la altura de dichos al menos dos puntos de contacto. Por ejemplo, para una fuente que presenta una única curvatura que se extiende a lo largo de su longitud desde un extremo de la fuente al otro extremo, la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de la anchura es la distancia entre el ápice de la curvatura (el grosor de la fuente estando incluido) y la base de la curvatura formada por una línea recta que une los dos extremos de la fuente.

De hecho, como la fuente es flexible, está configurada de tal modo que, en su forma inicial (estado no deformado), presenta al menos una curvatura, la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura siendo superior al diámetro del agujero y que, en su estado deformado, la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente deformada considerada en el sentido de su anchura sea inferior al diámetro del agujero con el fin de que la fuente se pueda insertar dentro del agujero. Al recuperar su forma inicial, la fuente va a ejercer unas fuerzas de presión a la altura de los puntos de contacto de la fuente con la pared interna del agujero. La ventaja de la fuente de acuerdo con la invención es que, como la fuente conserva una cierta flexibilidad debido a la utilización de una vaina flexible, se puede deformar la fuente para insertarla dentro del agujero del ladrillo del fantasma. Una vez insertada dentro del agujero, la fuente tiende a recuperar su forma inicial y se mantiene en su sitio al ejercer unas fuerzas de presión en algunos puntos de las paredes internas del agujero. De este modo, una vez en su sitio, la fuente calibrada no se mueve: se autobloquea. De forma ventajosa, el agujero del ladrillo es un agujero cilíndrico y rectilíneo con un diámetro esencialmente constante.

Por último, un objeto de la invención es un procedimiento de colocación de una fuente calibrada de este tipo dentro de un agujero de un bloque. El procedimiento de colocación de una fuente radiactiva calibrada dentro de un agujero presente en una cara de un bloque comprende las siguientes etapas:

- el suministro de una fuente calibrada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, presentando dicha fuente al menos una curvatura en su longitud;

- la deformación de la fuente calibrada hasta que la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura sea inferior al diámetro más pequeño del agujero del bloque;

- la inserción de la fuente en dicho agujero; y

- el bloqueo de la fuente dentro de dicho agujero mediante el retorno de la fuente a su estado no deformado, siendo la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente, considerada en el sentido de su anchura en su estado no deformado, superior al diámetro más pequeño del agujero.

5 Una vez colocada dentro del agujero, la fuente tiende a recuperar su forma inicial y se mantiene en su sitio dentro del agujero al ejercer una fuerza de presión en algunos puntos de las paredes internas del agujero.

10 De forma ventajosa, la longitud de la fuente es inferior o igual a la longitud del agujero del bloque en el que se inserta. La fuente calibrada presenta, de este modo, unas dimensiones adaptadas a las dimensiones del agujero.

De forma ventajosa, el bloque es un ladrillo de fantasma de tejido equivalente realizado en polímero.

### 15 **Breve descripción de los dibujos**

Se entenderá mejor la invención y se mostrarán otras ventajas y particularidades con la lectura de la descripción que viene a continuación, dada a título de ejemplo no excluyente, que se acompaña de los dibujos anexos entre los que:

20 - la figura 1 representa una fuente calibrada de acuerdo con la invención;

- la figura 2 representa un ladrillo de un fantasma en el que se están introduciendo dos fuentes calibradas de acuerdo con la invención;

25 - la figura 3 representa un ejemplo de una fuente calibrada de acuerdo con la invención insertada dentro del agujero de un ladrillo de fantasma.

### **Descripción detallada de modos de realización particulares**

30 La fuente calibrada 1 de acuerdo con la invención consta de una vaina flexible 2 en la que se inyecta una resina marcada con uno o varios radionúclidos 3 (véase la figura 1). Los extremos de la vaina están recubiertos por una capa de barniz (no representada) que permite sellar la fuente calibrada.

35 Esta fuente calibrada 1 se puede insertar, por ejemplo, dentro de un ladrillo 10 de un fantasma de tejido equivalente. En la figura 2 se ha representado un ladrillo de este tipo que consta, en una de sus caras 8, de dos orificios en los que se están introduciendo dos fuentes calibradas. En esta figura 2 se puede observar que el diámetro de la fuente es inferior al diámetro del agujero.

La fuente calibrada de acuerdo con la invención se puede obtener realizando las siguientes etapas:

40 - preparar una solución calibrada que comprende al menos un radionúclido y preparar un polímero autoendurecible;

- proporcionar una vaina flexible en un material transparente para las radiaciones emitidas por la solución calibrada y resistente a los golpes;

45 - mezclar la solución calibrada y el polímero autoendurecible hasta obtener una composición homogénea;

- llenar la vaina flexible con la composición homogénea;

50 - dejar reposar la vaina llena hasta obtener el endurecimiento total de la composición homogénea;

- sellar los extremos de la vaina flexible.

55 De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento de fabricación puede comprender, además, tras la etapa de reposo de la vaina llena y antes de la etapa de sellado, una etapa de corte de la vaina flexible en varias secciones cada una formando una fuente. Este corte de la vaina llena en varias secciones permite obtener en última instancia, de una sola vez, varias fuentes calibradas. De forma ventajosa, las secciones son esencialmente de la misma longitud.

60 El sellado de los extremos de la vaina se puede obtener mediante la aplicación de un barniz sobre dichos extremos. Esto permite sellar la fuente calibrada. Hay que precisar que cuando la vaina se corta en varias secciones, la vaina presenta entonces  $2n$  extremos, con  $n$  igual al número de secciones y son estos  $2n$  extremos los que se sellan, por ejemplo, mediante la aplicación de un barniz.

65 De preferencia, la solución calibrada tiene una masa inferior o igual a un 2 % de la masa de la composición homogénea.

De acuerdo con un modo de realización, la preparación del polímero autoendurecible se realiza mezclando resina epoxi, un endurecedor y un agente licuador. De forma ventajosa, el polímero autoendurecible comprende un 53 % de resina epoxi, un 32 % de endurecedor y un 15 % de agente licuador, con un error máximo del 1 %. De forma ventajosa, la resina epoxi es ARALDITE MY 757®, el endurecedor es ARALDUR 850 CH® y el agente licuador es un éter monoetílico del etilenglicol.

De forma ventajosa, el material de la vaina flexible es un polímero, por ejemplo un elastómero de silicona.

A título ilustrativo, vamos a describir la fabricación de diez fuentes calibradas marcadas con cobalto 57 y adaptadas para unos ensayos de medición de antropogammimetría dentro del fantasma de tejido equivalente IGOR.

Como ya hemos advertido con anterioridad, la fuente calibrada de acuerdo con la invención comprende un polímero autoendurecible marcado por medio de al menos un radionúclido y contenido en el interior de una vaina flexible.

El polímero autoendurecible se obtiene mezclando tres productos, es decir, una resina químicamente inerte frente al material que constituye la vaina, por ejemplo una resina epoxi bisfenol A, un endurecedor y un agente licuador. El agente licuador permite garantizar la homogeneización de la mezcla constituida por la resina, el endurecedor y la solución calibrada.

En el presente ejemplo, se utiliza una resina epoxi comercializada bajo la marca ARALDITE MY 757, un endurecedor comercializado bajo la marca ARADUR 850 CH, estos dos productos estando comercializados por la empresa HUNTSMAN ADVANCED MATERIALS (EUROPE) BVBA, y el agente licuador es, por ejemplo, un éter monoetílico del etilenglicol, químicamente puro, cuya fórmula bruta es  $C_2H_5OCH_2CH_2OH$ .

Estos productos se vierten de forma sucesiva dentro de un recipiente de plástico y sus masas se determinan de forma previa mediante pesada respetando las siguientes proporciones, expresadas en tanto por ciento de la masa total de la mezcla:

- un 53 % de resina epoxi,

- un 32 % de endurecedor,

- un 15 % de agente licuador;

lo que corresponde a las siguientes cantidades de 15,9 g de resina epoxi MY 757, 9,6 g de endurecedor 850 CH y 4,5 g de agente licuador  $C_2H_5OCH_2CH_2OH$ .

En esta mezcla se añaden 0,19281 g de una solución calibrada de Cobalto 57, esto es 10.420 Bq el 3 de diciembre de 2004, que se obtiene mezclando 50 microgramos de cloruro de cobalto marcado en 5 ml de ácido clorhídrico 0,1 M.

A continuación se mezclan los diferentes componentes hasta que se obtiene una composición homogénea. Por ejemplo, se pueden mezclar los componentes de forma manual utilizando una espátula de madera.

Hay que advertir que la masa de la solución calibrada se cuantifica mediante pesada diferencial y debe ser inferior a un 2 % de la masa total de la composición homogénea, es decir, del producto que comprende al mismo tiempo la solución calibrada, el elastómero, el endurecedor y el agente licuador. Si la solución calibrada es superior a un 2 % de la masa total de la composición homogénea, la polimerización no es homogénea, lo que perjudica a la calidad de la fuente.

Se introduce a continuación la composición homogénea dentro de una vaina flexible realizada en un material transparente para las radiaciones que emiten el o los radionúclidos presentes en el polímero autoendurecible. La vaina es una vaina flexible realizada en un polímero químicamente inerte frente a su contenedor, es decir, frente al polímero autoendurecible marcado. En nuestro ejemplo, la vaina de silicona que se utiliza es una tubería cilíndrica con un diámetro esencialmente constante.

El material de la vaina se selecciona de tal modo que la vaina presente una buena resistencia a la luz solar y al ozono, y de manera general, a todos los factores habituales de envejecimiento de los polímeros.

El material de la vaina también se selecciona de manera que la vaina conserve sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas dentro del intervalo de temperatura en el que la fuente se utilizará; por ejemplo, el material de la vaina conserva dichas propiedades entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  de forma constante.

La vaina se realiza, por ejemplo, en elastómero de silicona.

Con el fin de evitar la presencia de burbujas de aire en el producto final, la composición homogénea se deja reposar

durante un cierto tiempo, de preferencia 1 hora, antes de realizar el llenado de la vaina flexible. El tiempo de reposo se selecciona de tal modo que el polímero autoendurecible marcado se haya desgasificado lo suficiente, pero que no se haya endurecido demasiado: un tiempo de espera de 1 hora es un punto intermedio para el tipo de polímero, de endurecedor y de agente licuador que se utilizan en este ejemplo.

5 A continuación, tras haber reposado durante una hora, la composición homogénea se inyecta dentro de una vaina flexible de tipo tubería de elastómero de silicona que mide dos metros de largo, 5,5 mm de diámetro externo y 3 mm de diámetro interno, generando una depresión en la vaina por medio de una bomba peristáltica (la velocidad de bombeo se regula a 7 ml por min). La inyección mediante bombeo se para cuando la composición homogénea llega a en torno a 5 cm de la válvula de la bomba peristáltica. Se coloca entonces la vaina llena sobre un soporte plano, si fuera necesario fijándola al soporte, y se levantan en posición vertical los dos extremos de la vaina con el fin de impedir que la composición homogénea se escurra fuera de la vaina.

15 Se deja reposar la vaina llena con el fin de que la composición homogénea, y en concreto el polímero autoendurecible que esta contiene, pueda desgasificar y endurecerse.

Al cabo de 72 horas, el endurecimiento de la composición homogénea es completo: el aspecto de la composición homogénea dentro de la vaina es satisfactorio (sin burbujas y de color homogéneo).

20 La vaina se corta entonces en diez secciones que miden, cada una, 163 mm de largo. Las diez secciones forman de este modo diez fuentes calibradas que tiene, cada una, una longitud de 163 mm y un diámetro externo de 5,5 mm.

A continuación se cubren los extremos de cada una de las secciones con una capa de barniz con el fin de garantizar la estanqueidad de cada fuente cilíndrica calibrada.

25 Dado que la composición homogénea, una vez endurecida, se mantiene sin embargo flexible ya que se encuentra en el interior de una vaina flexible, la fuente (vaina llena) también conserva un carácter flexible. De este modo, incluso cuando la vaina se daña (lo que es más difícil que con un tubo de plástico duro), el contenido de la vaina (es decir, la composición homogénea marcada) no se escurre y no se esparce fuera de la vaina, al contrario que con los polvos de la técnica anterior, que se dispersan con facilidad. Se obtienen, por lo tanto, en última instancia unas fuentes radiactivas calibradas flexibles y estancas.

35 Estas diez fuentes se pesan a continuación y se mide su radiactividad. Para ello, las fuentes se colocan de una en una en el fondo de una caja de plástico adaptada para una medición con espectrometría gamma. La caja se coloca a 5 cm de un detector gamma, que recibe y contabiliza los fotones gamma procedentes del cobalto 57 de las fuentes (rayo principal de 122 keV), durante un tiempo de medición de 4.200 segundos.

40 Se determina a continuación la actividad de cada fuente. Para ello, se resta a la masa de una fuente determinada la masa media de una vaina vacía de la misma longitud para obtener la masa de la composición homogénea comprendida dentro de la vaina. La actividad se obtiene multiplicando la actividad total incorporada en la totalidad de la composición homogénea por la masa de la composición homogénea presente en la vaina en cuestión, y dividiendo por la masa total de la composición homogénea preparada.

45 Los resultados se presentan en la tabla 1, a continuación. Hay que advertir que se ha tomado como masa media de la vaina vacía un valor igual a 3,0028 g.

A la vista de estos resultados, se constata que las fuentes calibradas de acuerdo con la invención son prácticamente idénticas. El procedimiento de fabricación resulta, por lo tanto, validado.

50 Tabla 1

Nº de la vaina	Masa total de la fuente calibrada (g)	Masa de resina (g)	Número de golpes totalizados en 4.200 segundos	Incertidumbre de recuento de golpes	Actividad medida el 20/03/2006 (Bq)	Número de golpes por gramo de resina
1	4,4770	1,4742	10.361	221,6	145,4	7.028
2	4,4176	1,4148	9.965,2	222,9	139,9	7.044
3	4,4643	1,4615	10.403	223,7	146,0	7.118
4	4,4795	1,4767	10.388	223,3	145,8	7.034
5	4,5534	1,5506	10.445	228,4	146,6	6.736
6	4,5408	1,5380	10.663	222,9	149,3	6.913

7	4,5501	1,5473	10.606	222,9	148,8	6.855
8	4,5317	1,5289	10.271	218,6	144,1	6.718
9	4,5099	1,5071	10.321	221,1	144,9	6.848
10	4,5188	1,5160	10.355	217,5	145,3	6.830
<b>Media</b>		<b>1,5015</b>	<b>10.375</b>		<b>145,6</b>	<b>6.736</b>
<b>Desviación típica</b>		<b>0,0478</b>	<b>175,5</b>		<b>2,459</b>	

5 Una de las ventajas de las fuentes calibradas de acuerdo con la invención es que estas permiten una mayor seguridad en la utilización, aunque solo sea durante su manipulación, por ejemplo durante la inserción de las fuentes calibradas dentro de los ladrillos de un fantasma para realizar el calibrado de las instalaciones de medición antropogammamétrica. En efecto, como las fuentes calibradas son mucho más resistentes a los golpes que las fuentes conocidas, la radio protección se mejora durante las fases de manipulación y de transporte de las fuentes. Las fuentes se pueden manipular con facilidad y moverse por las diferentes instalaciones de mediciones antropogammamétricas situadas en el territorio francés, pero también en el extranjero, y también se puede realizar de este modo ensayos interlaboratorios para comparar los resultados que se obtienen en diferentes puntos geográficos.

15 Otra ventaja es que la fuente calibrada que se obtiene responde a las necesidades expresadas por su futuro usuario. En efecto, en el ejemplo ilustrado más arriba, la solución calibrada introducida en el polímero autoendurecible se realiza a partir de cobalto 57. Pero el polímero autoendurecible también puede contener otro elemento radiactivo o varios radionúclidos diferentes, como el cesio 137, el bario 133, el cobalto 60...

Del mismo modo, se puede seleccionar la cantidad de radionúclido(s) que se desea introducir en el polímero autoendurecible, así como la intensidad de su actividad.

20 Por otra parte, al seleccionar el diámetro externo de la vaina flexible, así como la longitud de las secciones de vaina, se pueden obtener unas fuentes cilíndricas calibradas que presentan unos diámetros y unas longitudes adaptadas al uso previsto.

25 Las fuentes calibradas de acuerdo con la invención pueden de este modo, por ejemplo, colocarse dentro de cualquier fantasma IGOR de los que se utilizan en las instalaciones de mediciones antropogammamétricas existentes.

30 También se puede prever fabricar fuentes calibradas destinadas a introducirse dentro de fantasmas que presentan unas aberturas más estrechas o más anchas que las de los fantasmas IGOR.

Las fuentes de acuerdo con la invención se pueden utilizar, por ejemplo, para realizar comparaciones entre laboratorios.

35 Por otra parte, como las fuentes de acuerdo con la invención se pueden fabricar con unos diámetros y unas longitudes diferentes, se pueden utilizar estas fuentes para realizar el calibrado de instalaciones de medición que utilizan otros tipos de fantasmas distintos del fantasma IGOR, presentando estos fantasmas unos agujeros con diámetros más grandes o más pequeños que los de los fantasmas IGOR.

40 La fuente puede tener una forma inicial (estado no deformado) que presenta una o varias curvaturas. Por ejemplo, la fuente puede tener una forma de cilindro que presenta dos curvaturas en un plano que pasa por el eje del cilindro. Al modificar la o las curvaturas de la fuente, se la puede insertar entonces dentro del agujero de un fantasma. Por ejemplo, si el agujero del fantasma en el que se desea insertar la fuente es un cilindro rectilíneo con un diámetro constante, la o las curvaturas de la fuente se pueden reducir de tal modo que la fuente se pueda insertar dentro del agujero. Una vez insertada, la fuente va a tender a recuperar su forma inicial y de este modo se va a mantener bloqueada dentro del agujero.

50 De acuerdo con un ejemplo de aplicación representado en la figura 1, la fuente es un cilindro que consta de una única curvatura que se extiende a lo largo de toda la fuente, es decir, desde un extremo de la fuente hasta el otro, la curvatura presentando una flecha superior al diámetro del agujero en el cual se desea introducir la fuente. La flecha es aquí la distancia entre el ápice de la curvatura, es decir, la parte más alta de la fuente considerada en el sentido de su anchura (el grosor de la fuente estando incluido en esta distancia), y la base de la fuente (línea recta que pasa por los dos extremos de la fuente), la distancia entre el ápice y la base tomándose lógicamente a lo largo de una línea recta perpendicular a la base (distancia d en la figura 1). La fuente se deforma de modo que la flecha de la curvatura sea inferior al diámetro del agujero y a continuación la fuente se inserta dentro de dicho agujero. Una vez insertada, la fuente tiende a recuperar su forma inicial dentro del orificio 13 del ladrillo. Dado que la flecha de la

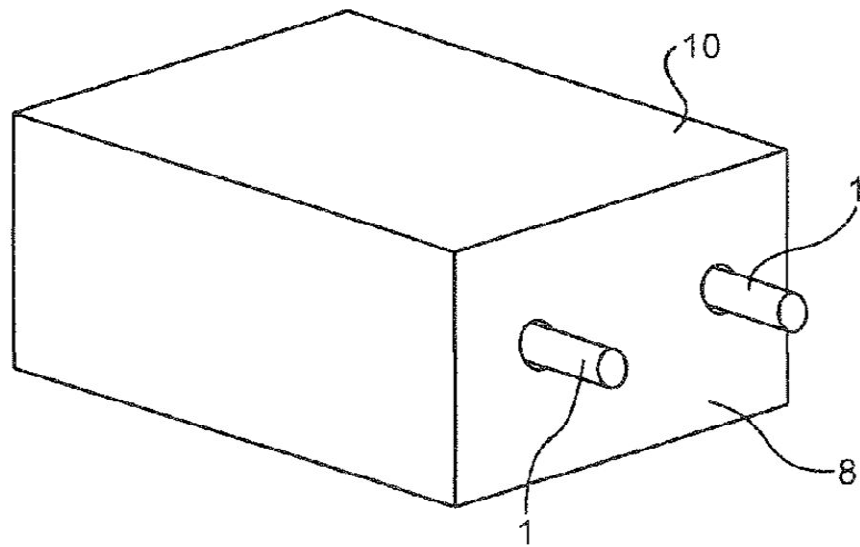
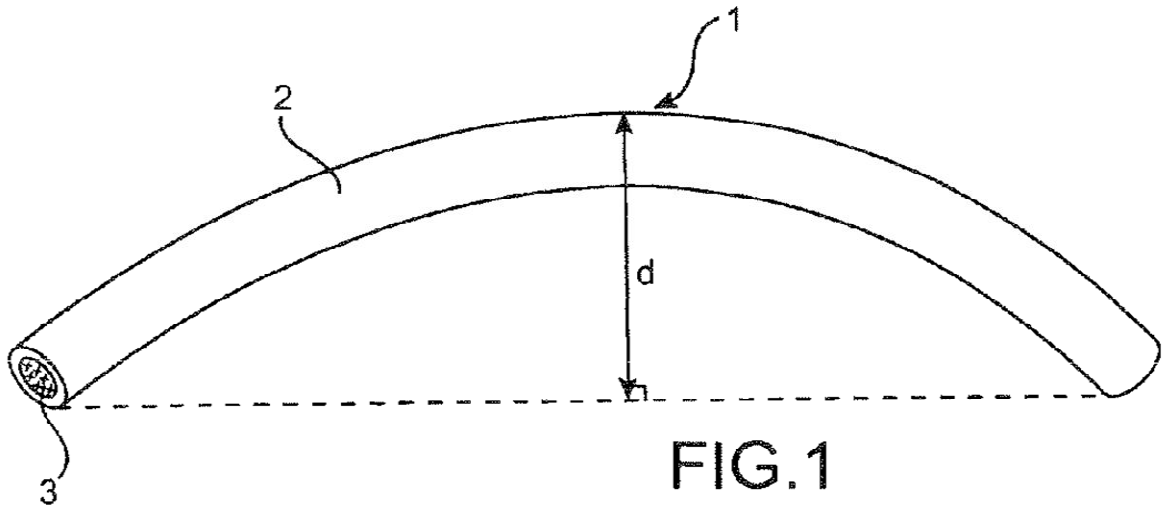
curvatura de la fuente en su forma inicial es superior al diámetro del agujero, algunas partes de la fuente van a entrar en contacto con las paredes 11 del orificio 13 ejerciendo sobre estas unas fuerzas de presión. En este caso, como la fuente presenta una única curvatura que se extiende a lo largo de toda la longitud de la fuente, en última instancia hay tres puntos de contacto a la altura de los cuales se ejercen tres fuerzas de presión 12 sobre la pared interna 11 del orificio, es decir dos puntos de contacto situados en los extremos de la superficie lateral de la fuente y a la altura de los cuales se ejercen dos fuerzas de presión dirigidas desde la fuente hacia la pared interna, y un punto de contacto central a la altura del cual se ejerce una fuerza de presión dirigida desde la fuente hacia la pared interna, esta última fuerza de presión realizándose en sentido opuesto al sentido de las dos fuerzas de presión que se ejercen en los extremos de la fuente (véase la figura 3). La fuente queda bloqueada de este modo dentro del agujero: se autobloquea.

Variando la longitud y el diámetro de la fuente a la hora de su fabricación y/o variando su forma inicial (una o varias curvaturas más o menos pronunciadas), teniendo cuidado no obstante de que la fuente conserve su carácter flexible, de este modo se pueden realizar unas fuentes calibradas autobloqueantes que se pueden insertar con facilidad dentro de los agujeros de los ladrillos de cualquier fantasma y permanecer bloqueadas en su interior.



## REIVINDICACIONES

- 5 1. Fuente radiactiva calibrada (1), que comprende un contenedor y un material marcado (3) con al menos un radionúclido, estando dicho material marcado contenido dentro del contenedor y estando dicho contenedor constituido por un material transparente para las radiaciones emitidas por dicho al menos un radionúclido, estando caracterizada la fuente porque el material marcado es un polímero autoendurecible químicamente inerte frente al material que constituye el contenedor y el contenedor es una vaina flexible (2).
- 10 2. Fuente calibrada de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la vaina flexible (2) es un cilindro hueco con un diámetro esencialmente constante.
3. Fuente calibrada de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la vaina flexible (2) está realizada en un material polímero, por ejemplo en elastómero de silicona.
- 15 4. Fuente calibrada de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el polímero autoendurecible del material marcado (3) es una resina de tipo epoxi.
- 20 5. Fuente calibrada de acuerdo con la reivindicación 4, en la que el polímero autoendurecible comprende un 53 % de resina epoxi, un 32 % de endurecedor y un 15 % de agente licuador,  $\pm 1\%$ .
6. Fuente calibrada de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el material marcado comprende cobalto 57.
- 25 7. Conjunto que comprende un ladrillo de fantasma de tejido equivalente (10) y al menos una fuente calibrada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, siendo el ladrillo un bloque de polímero cuya cara (8) comprende un agujero (13) destinado a recibir dicha fuente calibrada y la fuente estando configurada de tal modo que tenga al menos una curvatura en el sentido de su longitud, la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura siendo igual al diámetro interno más grande de dicho agujero, de tal modo que la fuente esté en contacto con la pared (11) del agujero en al menos dos puntos de contacto y ejerza unas fuerzas de presión (12) dirigidas desde la fuente hacia la pared a la altura de dichos, al menos, dos puntos de contacto.
- 30 8. Conjunto de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el agujero (13) es un agujero cilíndrico y rectilíneo con un diámetro esencialmente constante.
- 35 9. Procedimiento de colocación de una fuente radiactiva calibrada dentro de un agujero presente en una cara de un bloque, que comprende:
- 40 - el suministro de una fuente calibrada (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, presentando dicha fuente al menos una curvatura en su longitud,
- 45 - la deformación de la fuente calibrada (1) hasta que la distancia entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura sea inferior al diámetro más pequeño del agujero (13) del bloque,
- la inserción de la fuente dentro de dicho agujero, y
- el bloqueo de la fuente en dicho agujero mediante retorno de la fuente a su estado no deformado, la distancia (d) entre la parte más alta y la parte más baja de la fuente considerada en el sentido de su anchura en su estado no deformado siendo superior al diámetro más pequeño del agujero.
- 50 10. Procedimiento de colocación de una fuente radiactiva calibrada dentro de un agujero presente en una cara de un bloque de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el bloque es un ladrillo de fantasma de tejido equivalente realizado en polímero.



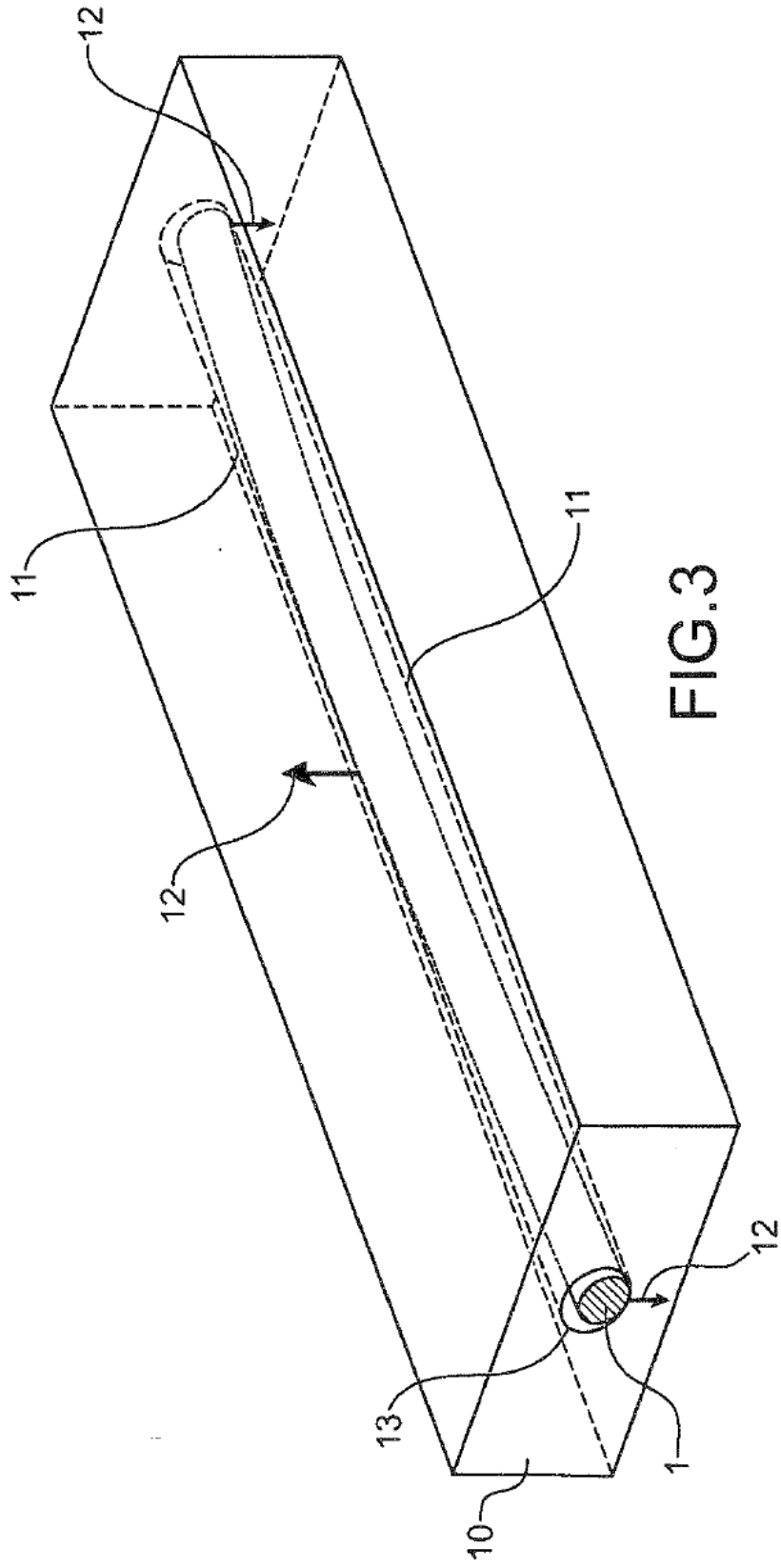


FIG. 3