

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 585**

51 Int. Cl.:

G01N 35/00 (2006.01)

G01T 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.10.2021** **PCT/US2021/071940**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2022** **WO22087595**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2021** **E 21807485 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2025** **EP 4232829**

54 Título: **Dispositivos, sistemas y métodos para medir la producción de isótopos radiactivos en masa**

30 Prioridad:

21.10.2020 US 202017076500

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.06.2025

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.00%)
1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US**

72 Inventor/es:

CHEN, JIANWEI

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 023 585 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

Dispositivos, sistemas y métodos para medir la producción de isótopos radiactivos en masa

5 Referencia cruzada

La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud de patente US-17/060.316 titulada DEVICES, SYSTEMS, AND METHODS FOR MEASURING RADIOACTIVE ISOTOPE PRODUCTION IN BULK, presentada el 1 de octubre de 2020.

10 Campo

La presente descripción se refiere, de manera general, a la generación de energía nuclear y, más particularmente, se refiere a un dispositivo mejorado configurado para medir la producción de isótopos radiactivos en masa.

15 Antecedentes

La solicitud de patente GB-884 349 A describe un aparato de medición de radiactividad, que comprende un soporte de almacenamiento que tiene medios para contener una pluralidad de muestras dispuestas en una disposición arqueada alrededor de un centro, un detector de radiación montado en el centro del arco en el que se disponen las muestras y medios para transferir las muestras una a la vez desde el soporte hasta el detector para la medición y viceversa, permaneciendo sustancialmente constante la radiación de fondo recibida por el detector desde las muestras almacenadas. La patente US-3 141 977 describe un aparato de procesamiento de muestras radiactivas que comprende un almacenamiento para entregar secuencialmente muestras radiactivas a un punto de acceso en una secuencia fija predeterminada; un detector adaptado para medir la velocidad de desintegración de las muestras radiactivas, dispuesto por encima y en una relación desplazada horizontalmente con respecto al almacenamiento; medios de transporte adaptados para retirar individualmente una de las muestras de la secuencia fija y transportarla tanto vertical como horizontalmente desde el punto de acceso hasta el detector y de vuelta a la secuencia fija en el punto de acceso antes de transportar la siguiente muestra secuencial.

30 Resumen

El siguiente resumen se proporciona para facilitar la comprensión de algunas de las funcionalidades innovadoras exclusivas de los aspectos descritos en la presente memoria, y no pretende ser una descripción completa. Se puede obtener una apreciación completa de los diversos aspectos tomando en su conjunto la totalidad de la memoria descriptiva, reivindicaciones y resumen.

En diversos aspectos, se describe un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos según la reivindicación 6, y un método para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos según la reivindicación 1.

Estos y otros objetos, funcionalidades y características de la presente invención, así como los métodos de operación y las funciones de los elementos de estructura relacionados y la combinación de partes y economías de fabricación, se harán más evidentes al considerar la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de esta memoria descriptiva, en donde números de referencia similares designan las partes correspondientes en las diversas figuras. Sin embargo, debe entenderse expresamente que los dibujos tienen únicamente fines ilustrativos y descriptivos, y no pretenden ser una definición de los límites de la invención.

50 Breve descripción de los dibujos

Las funcionalidades novedosas de los aspectos descritos en la presente memoria se exponen con particularidad en las reivindicaciones adjuntas. Sin embargo, diversos aspectos tanto de la organización como de los métodos de operación, junto con las ventajas de los mismos, se pueden entender según la siguiente descripción tomada junto con los dibujos adjuntos, como sigue:

la figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una jaula fuente de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

La figura 2 ilustra una vista en perspectiva de un marco de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

La figura 3 ilustra una vista en sección de un detector gamma configurado para acoplarse al marco de la figura 2, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

La figura 4 ilustra una vista en perspectiva de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

- 5 La figura 5 ilustra una vista en perspectiva de otro dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

La figura 6 ilustra un diagrama de flujo de un método para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos utilizando los dispositivos representados en las figuras 4 y 5, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

La figura 7 ilustra una vista en perspectiva de otra jaula fuente de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción.

15 Los caracteres de referencia correspondientes indican las partes correspondientes en las distintas vistas. Las ejemplificaciones expuestas en la presente memoria ilustran diversos aspectos de la invención, de una forma, y tales ejemplificaciones no deben considerarse de ninguna manera como limitantes del alcance de la invención.

20 Descripción detallada

Se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la estructura, la función, la fabricación y el uso generales de los aspectos descritos en la descripción, e ilustrados en los dibujos adjuntos. Las operaciones, componentes y elementos bien conocidos no se han descrito en detalle para no oscurecer los aspectos descritos en la memoria descriptiva. El lector comprenderá que los aspectos descritos e ilustrados en la presente memoria son ejemplos no limitativos y, por lo tanto, se puede apreciar que los detalles estructurales y funcionales específicos descritos en la presente memoria pueden ser representativos e ilustrativos. Se pueden realizar variaciones y cambios en los mismos sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. Además, debe entenderse que términos como “hacia adelante”, “hacia atrás”, “izquierda”, “derecha”, “hacia arriba”, “hacia abajo” y similares son palabras de conveniencia y no deben interpretarse como términos limitativos. Además, debe entenderse que términos como “hacia adelante”, “hacia atrás”, “izquierda”, “derecha”, “hacia arriba”, “hacia abajo” y similares son palabras de conveniencia y no deben interpretarse como términos limitativos.

En la siguiente descripción, los caracteres de referencia similares designan partes similares o correspondientes a lo largo de las diversas vistas de los dibujos. Además, en la siguiente descripción, debe entenderse que términos como “hacia adelante”, “hacia atrás”, “izquierda”, “derecha”, “hacia arriba”, “hacia abajo” y similares se utilizan solo por conveniencia y no deben interpretarse como términos limitativos.

Antes de explicar en detalle los diversos aspectos del manipulador articulado, se debe considerar que los ejemplos ilustrativos no se limitan en su aplicación o uso a los detalles de construcción y disposición de las partes ilustradas en los dibujos adjuntos y la descripción. Los ejemplos ilustrativos se pueden implementar o incorporar en otros aspectos, variaciones y modificaciones, y se pueden poner en práctica o llevarse a cabo de diversas maneras. Además, salvo que se indique lo contrario, los términos y expresiones empleados en la presente memoria se han elegido con el propósito de describir los ejemplos ilustrativos para la comodidad de uso del lector y no con el propósito de limitarlas. También, se apreciará que uno o más de los aspectos, expresiones de aspectos y/o ejemplos descritos a continuación pueden combinarse con uno cualquiera o más de los otros aspectos, expresiones de aspectos y/o ejemplos descritos a continuación.

La presente descripción se refiere a dispositivos, sistemas y métodos para medir cápsulas de producción de isótopos radiactivos en masa. Los radionúclidos (p. ej., cobalto-60, molibdeno-99, cesio-137, yodo-131, estroncio-90, tecnecio-99, americio-241 y/o variaciones atómicas plutonio, uranio, radio, radón, torio y tritio) poseen una amplia variedad de aplicaciones útiles. Por ejemplo, los radionúclidos se pueden utilizar para mejorar la seguridad de los dispositivos médicos, ayudar en el tratamiento del cáncer y reducir los patógenos en los alimentos y otros productos. Sin embargo, los isótopos radiactivos emiten rayos gamma dañinos que pueden ser cancerígenos para los seres humanos según el grado de exposición. Esto puede complicar la producción, el procesamiento y la manipulación de los radionúclidos. A pesar de estos riesgos inherentes, la industria sigue produciendo y enviando grandes cantidades de radionúclidos, ampliando sus múltiples usos en un intento por aprovechar todo su potencial.

Para garantizar un cargamento seguro de grandes cantidades de radionúclidos, los fabricantes deben cumplir una serie de reglamentos gubernamentales y obligaciones contractuales con respecto a la cantidad de rayos gamma emitidos por cada cápsula de radionúclidos de un cargamento, así como por todo el cargamento de cápsulas de radionúclidos. Aunque la presente descripción analiza radionúclidos configurados como cápsulas, se apreciará que las invenciones descritas pueden implementarse o modificarse fácilmente para medir la radiactividad emitida por los radionúclidos en cualquier número de configuraciones geométricas, que no necesariamente involucran radionúclidos encapsulados. Como tal, el término “cápsula” no debe interpretarse como una limitación geométrica de los radionúclidos.

Tradicionalmente, cada cápsula de radionúclido se evaluaba individualmente. Sin embargo, esto lleva mucho tiempo y es altamente ineficaz, especialmente para cargamentos más grandes, que pueden incluir cientos, o incluso miles, de cápsulas de radionúclidos. Por lo tanto, los métodos convencionales de transporte de radionúclidos son tediosos, ineficaces y propensos al error humano. Estos problemas solo aumentan en el caso de los radionúclidos que deben sumergirse en agua para proteger o proteger al personal de los peligrosos rayos gamma. En consecuencia, existe la necesidad de dispositivos, sistemas y métodos para medir de manera eficiente las cápsulas de producción de isótopos radiactivos en masa. Tales dispositivos, sistemas y métodos harían ahorrar dinero y tiempo, aumentarían la seguridad y mejorarían el cumplimiento del fabricante con las regulaciones gubernamentales y las obligaciones contractuales.

Haciendo referencia ahora a la figura 1, se representa una vista en perspectiva de una jaula fuente 100 de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos 106 en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. La jaula fuente 100 de la figura 1 está configurada para almacenar y transportar de forma segura un gran cargamento de radionúclidos. Por ejemplo, la jaula fuente 100 de la figura 1 puede utilizarse para cargar 48 cápsulas de radionúclidos. Sin embargo, se apreciará que la capacidad de la jaula fuente 100 de la figura 1 se puede escalar fácilmente o reconfigurar de otro modo para dar cabida a más o menos radionúclidos, en cualquier forma deseada, siempre que la configuración geométrica del almacenamiento mantenga una simetría de trescientos sesenta grados con respecto a su línea central. Por lo tanto, sería ventajoso racionalizar el número de mediciones requeridas para generar una cantidad precisa de rayos gamma emitidos por una pluralidad de radionúclidos 106 almacenados en la jaula fuente 100 de la figura 1, porque hacerlo permitiría a un técnico de la jaula fuente 100 verificar rápidamente el cumplimiento con las regulaciones gubernamentales y las obligaciones contractuales.

En referencia adicional a la figura 1, la jaula fuente 100 de la figura 1 puede incluir uno o más anillos exteriores 102 que definen un volumen 104. Según el aspecto no limitativo de la figura 1, los anillos exteriores 102 son circulares y, por lo tanto, el volumen 104 es cilíndrico. Sin embargo, la presente descripción contempla otros aspectos no limitativos en los que la jaula fuente 100 puede incluir cualquier número de estructuras y volúmenes geométricos, siempre que las estructuras y los volúmenes geométricos mantengan una simetría de trescientos sesenta grados con respecto a sus líneas centrales. Los anillos exteriores 104 de la jaula fuente 100 de la figura 1 pueden incluir además una pluralidad de orificios 105, en donde cada orificio 105 de la pluralidad de orificios 105 se puede configurar para que reciba un radionúclido 106 de la pluralidad de radionúclidos 106. Sin embargo, la presente descripción contempla otros medios para recibir y asegurar los radionúclidos 106. Por ejemplo, la jaula fuente 100 de la figura 1 puede incluir de forma adicional y/o alternativa componentes de agarre, soportes y/u otros elementos estructurales para ayudar o sustituir a la pluralidad de orificios 105 representados en la realización no limitativa de la figura 1. Estos componentes estructurales fijan los radionúclidos 106 de forma sencilla en una posición predeterminada, es decir, la línea central, de la jaula fuente 100.

Notablemente, la jaula fuente 100 de la figura 1 puede incluir una forma de trescientos sesenta grados, de tal modo que cada radionúclido esté equidistante desde un punto central de un plano circular definido por una superficie superior del anillo exterior 102. Por ejemplo, la jaula fuente 100 de la figura 100 puede incluir un diámetro interior D1. La pluralidad de orificios 105 se puede definir en el anillo exterior 106 de tal modo que, cuando se instale, cada radionúclido 106 de la pluralidad de radionúclidos 106 se encuentre a la misma distancia desde el punto central del volumen cilíndrico 104, o en otras palabras, desde el punto central del diámetro interior D1. Sin embargo, los radionúclidos 106 se pueden configurar de modo que estén a la misma distancia de cualquier punto de referencia en una jaula fuente 100 de cualquier otra configuración geométrica. Se apreciará que la jaula fuente cilíndrica 100 de la figura 1 se representa simplemente para facilitar la ilustración.

Según el aspecto no limitativo de la figura 1, los radionúclidos 106 se pueden estructurar como varillas alargadas. En consecuencia, la jaula fuente 100 puede incluir tres anillos exteriores 102 apoyados en una o más varillas 109 de soporte configuradas para orientar y sostener los anillos exteriores 102 de tal modo que la pluralidad de orificios 105 de un primer anillo exterior 102 se alinee con la pluralidad de orificios 105 de un segundo anillo exterior 102. Cada uno de la pluralidad de orificios 105 puede incluir un orificio circular configurado para acomodar la sección transversal circular de cada uno de los radionúclidos 106. Esto permite que los radionúclidos 106 en forma de varilla se inserten correctamente en los orificios 105 y se sostengan dentro de cada anillo exterior 102 de la jaula fuente 100 de la figura 1. Sin embargo, la presente descripción contempla otros aspectos no limitativos, en donde los radionúclidos 106 incluyen formas y tamaños variables. Como se ha descrito anteriormente, la presente descripción contempla otros aspectos no limitativos, en donde la jaula fuente 106 puede incluir componentes de diferentes formas y configuraciones para alojar y fijar eficazmente cualquier forma del radionúclido 106. Una vez que los radionúclidos 106 se insertan en los orificios 105, la jaula fuente 100 se puede sumergir en agua para el análisis y/o procesamiento.

En referencia adicional a la figura 1, la jaula fuente 100 incluye además una característica 107 de orientación, tal como una muesca, una ranura, una abertura y/o similares. En el aspecto no limitativo de la figura 1, la característica 107 de orientación comprende una muesca de orientación configurada para recibir un pasador 209 de orientación (figura 2) de un marco 200 (figura 2) configurado para acoplarse a la jaula fuente 100. Como se explicará con más detalle, la muesca 107 de orientación está colocada específicamente de tal modo que un detector gamma 207 (figura 2) acoplado a la varilla central 208 (figura 2) del marco 200 (figura 2) se coloque en una ubicación predeterminada dentro del

volumen cilíndrico 104. Aunque la jaula fuente 100 de la figura 1 puede incluir una única muesca 107 de orientación, la presente descripción contempla otros aspectos no limitativos en los que la jaula fuente 100 puede incluir varias muescas 107 de orientación, o cualquier combinación de otras características geométricas 107, que pueden permitir a un técnico colocar el detector gamma 207 (figura 2) acoplado a la varilla central 208 (figura 2) del marco 200 (figura 2) en una variedad de posiciones predeterminadas dentro del volumen cilíndrico 104. Esto puede permitir al técnico reorientar y recolocar el detector gamma 207 (figura 2) para compensar el margen de error o mejorar la precisión de la medición. Según otros aspectos no limitativos adicionales, la jaula fuente puede incluir además una característica geométrica predefinida alrededor de la cual se puede posicionar el detector gamma 207 (figura 2). Por ejemplo, en algunos aspectos no limitativos, la jaula fuente puede incluir además una pieza central que sobresalga desde la parte inferior de la jaula fuente a través del centro del volumen cilíndrico 104. Según un ejemplo útil para comprender la invención reivindicada en este documento, pero que no forma parte de ella, un detector gamma, tal como un detector autoalimentado 302 (figura 3), se puede colocar estratégicamente alrededor de la pieza central, según se desee, en lugar de que un detector gamma, tal como un detector 207 de cámara de ionización (figura 2), se suspenda dentro del volumen cilíndrico 104 mediante una varilla central 208 (figura 2) de un marco 200 (figura 2).

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se representa una vista en perspectiva de un marco 200 de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1) en masa, según al menos un aspecto de la presente descripción. Según el aspecto no limitativo de la figura 2, el marco 200 puede incluir una varilla central 208, así como un primer brazo 201, un segundo brazo 202, un tercer brazo 203 y un cuarto brazo 204. Los brazos 201, 202, 203, 204 se pueden configurar específicamente para que se acoplen al anillo exterior 102 de la jaula fuente 100. Por ejemplo, el primer brazo 201 y el cuarto brazo 204 pueden definir colectivamente un diámetro de marco D2 que es mayor que el diámetro interior D1 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1). En consecuencia, el primer brazo 201 y el cuarto brazo 204 pueden soportar el marco 200 de tal modo que la varilla central 208 quede suspendida dentro del volumen cilíndrico 104 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1). Sin embargo, se apreciará que el marco 200 puede incluir cualquier número de brazos 201, 202, 203, 204 en configuraciones variables para lograr el mismo resultado. Por ejemplo, según otro aspecto no limitativo de la presente descripción, el marco 200 puede incluir un solo brazo 201 configurado para fijarse al anillo exterior 102 (figura 1) y suspender la varilla central 208 dentro del volumen cilíndrico 104 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1).

Aún haciendo referencia a la figura 2 y según algunos aspectos no limitativos de la presente descripción, los brazos 201, 202, 203, 204 del marco 200 se pueden configurar para que se muevan con respecto al anillo exterior 102 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1) una vez instalados. Por ejemplo, los brazos 201, 202, 203, 204 pueden incluir componentes estructurales adicionales tales como bisagras, rodillos, pistas y/o similares que pueden utilizarse para inclinar los brazos 201, 202, 203, 204 con respecto a un plano definido por una superficie superior del anillo exterior 102. En consecuencia, el marco 200 y, más específicamente, los brazos 201, 202, 203, 204, pueden articularse y, por lo tanto, ser capaces de mover la varilla central 208 entre una serie de ubicaciones predeterminadas dentro del volumen cilíndrico 104 (figura 1).

En referencia adicional a la figura 2, la varilla central 208 del marco 200 se puede configurar para que suspenda un detector gamma 207 dentro del volumen cilíndrico 104 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1), donde el detector gamma 107 quedará expuesto a los rayos gamma emitidos por la pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1). Según el aspecto no limitativo de la figura 2, el detector gamma 207 puede formar parte integral de la varilla central 208 y ubicarse en un extremo de ella. Además, la varilla central 208 se puede configurar para que contenga y/o aloje un cable 206 de señal, de tal modo que las señales puedan enviarse desde el detector gamma 207 a una unidad de adquisición de datos ubicada de forma remota. Esto puede permitir a un técnico monitorizar de forma segura una medida de los rayos gamma detectados emitidos por al menos uno de la pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1). Se apreciará que, aunque el aspecto no limitativo de la figura 2 incluye un cable 206 de señal para enviar señales desde el detector gamma 207 a una unidad de adquisición de datos ubicada de forma remota, otros aspectos no limitativos incluyen detectores gamma 207 que se pueden configurar para la comunicación inalámbrica.

Según otros aspectos de la presente descripción, la varilla central 208 de la figura 2 se puede configurar además para que se acople a un detector gamma externo 207. Por ejemplo, el detector gamma 207 puede incluir una cámara de ionización Farmer instalada en una manga configurada para instalarse sobre y alrededor de un extremo de la varilla central 208. La manga puede incluir un alojamiento configurado específicamente para colocar el detector gamma 207 en una orientación deseada con respecto a la varilla central 208, tal como la línea central. Según otras realizaciones no limitativas de la presente descripción, el detector gamma 207 puede incluir además un detector autoalimentado (p. ej., platino). El detector autoalimentado se puede configurar para que se envuelva alrededor de un extremo de la varilla central 208, formando una configuración en espiral apretada, como se representa en la figura 3.

Aunque la figura 2 representa un detector gamma 207 acoplado al extremo de la varilla central 208, debe entenderse que se puede acoplar cualquier número de detectores a la varilla central 208 según las preferencias del usuario y/o la aplicación prevista del marco 200. Por ejemplo, la varilla central 208 está configurada de tal modo que un técnico pueda acoplar a ella cualquier número de espectroscopios o equipos de prueba no invasivos de manera similar a como se acopla el detector gamma 207. En consecuencia, un técnico puede utilizar el marco 200 de la figura 2 para realizar cualquier número de pruebas en un cargamento de radionúclidos en masa, garantizando de este modo el cumplimiento de cualquier número de reglamentos gubernamentales y/u obligaciones contractuales. De forma alternativa y/o

adicional, se apreciará que, en otros aspectos no limitativos, la varilla central 208 se puede configurar para que aloje cualquier número de detectores gamma 207, espectroscopios y/o equipos de prueba no invasivos simultáneamente. Esto puede proporcionar al marco 200 un grado de modularidad y flexibilidad de uso, lo que permite a un técnico realizar cualquier número de pruebas en un cargamento de radionúclidos en masa utilizando el mismo marco 200 simplemente cambiando el detector de rayos gamma por otro espectroscopio y/o equipo de prueba.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se representa una vista en sección de un detector gamma 300 configurado para acoplarse al marco de la figura 2, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. Según el aspecto no limitativo de la figura 3, el detector gamma 300 puede incluir un detector autoalimentado 302 colocado alrededor de un tubo interior 304 y un tubo exterior 306. La varilla central 208 (figura 2) puede constituir el tubo interior 304. Sin embargo, en otros aspectos no limitativos de la presente descripción, el detector gamma 300 puede incluir un tubo separado, que sirve como una manga configurada para acoplarse a la varilla central 208 (figura 2). El tubo exterior 306, el detector autoalimentado 302 y el tubo interior 304 se pueden configurar específicamente para garantizar que el detector autoalimentado 302 no se mueva con respecto a la varilla central 208 (figura 2), ya que la orientación del detector autoalimentado 302 con respecto a la pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1) puede influir en la medición.

En referencia adicional a la figura 3, el detector autoalimentado 302 se puede utilizar para medir una cantidad de rayos gamma emitidos por la pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1). El detector autoalimentado 302 puede medir una cierta cantidad de rayos gamma porque cuando el detector autoalimentado 302 está cerca de un radionúclido, se induce una corriente eléctrica a lo largo de la configuración en espiral. La corriente eléctrica inducida dentro del detector autoalimentado 302 se puede medir de varias maneras diferentes. Por ejemplo, la sensibilidad del detector autoalimentado 302 se puede calcular mediante pruebas y variará dependiendo de la cantidad de corriente eléctrica generada dada la longitud del detector autoalimentado 302 basándose en una cantidad conocida de exposición a rayos gamma. Siempre que el detector autoalimentado 302 esté colocado correctamente dentro del volumen cilíndrico 104 (figura 1) de la jaula fuente 100 (figura 1), la sensibilidad calculada se puede utilizar para medir los rayos gamma colectivos emitidos por la pluralidad de radionúclidos 106 (figura 1). Aunque el detector autoalimentado 302 de la figura 3 se configure para medir rayos gamma, según otros aspectos de la presente descripción, el detector autoalimentado 302 se puede configurar para medir otros tipos de radiación. Además, aunque el detector gamma 300 de la figura 3 puede incluir un detector autoalimentado 302 configurado para medir rayos gamma, en otros aspectos no limitativos se contempla que el detector gamma 300 pueda incluir cualquier número de detectores de radiación (p. ej., una cámara de ionización Farmer y/o similares).

Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa una vista en perspectiva de un dispositivo 400 configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos 404 en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. Según el aspecto no limitativo de la figura 4, el dispositivo 400 puede incluir una jaula fuente 402 y una estructura 408 similares a la jaula fuente 100 y el marco 200 representados en las figuras 1 y 2, respectivamente. Generalmente, la figura 4 ilustra la manera como los elementos descritos anteriormente pueden integrarse en un dispositivo 400 configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos 404 en masa. Por ejemplo, un técnico podría utilizar el dispositivo 400 de la figura 4 para almacenar y enviar una gran cantidad de radionúclidos 404 (una entrega acordada contractualmente) a un cliente receptor. De forma alternativa y/o adicional, un técnico podría utilizar el dispositivo 400 de la figura 4 para almacenar y enviar internamente una gran cantidad de radionúclidos 404. En cualquier caso, el dispositivo 400 de la figura 4 se puede utilizar para garantizar de manera eficiente que un cargamento de radionúclidos 404 y, más específicamente, la radiactividad emitida por los radionúclidos 404 cumpla con las regulaciones gubernamentales y/o las obligaciones contractuales.

Como se ha descrito anteriormente, la orientación y/o la posición de un detector gamma 414 con respecto a la pluralidad de radionúclidos 404 pueden influir en la integridad de una medición. En consecuencia, el detector gamma 414 puede posicionarse de manera óptima dentro del volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 406 y, por lo tanto, puede recibir la exposición deseada a la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos 404. Como puede verse en el aspecto no limitativo de la figura 4, los brazos 410 del marco 408 están configurados de modo que descansen en el anillo exterior 406 de la jaula fuente 402. Como tal, la varilla central 412 puede suspender un detector gamma 414 dentro del volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 406. Se apreciará que la posición del detector gamma 414 dentro del volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 406 se puede ajustar modificando la longitud de la varilla central 412. Como tal, la presente descripción contempla aspectos no limitativos en donde la varilla central 412 se puede configurar de forma telescópica.

De forma alternativa y/o adicional, una muesca 422 de orientación de la jaula fuente 402 se puede configurar para alojar y fijar en ella un pasador 420 de orientación del marco 408. Según el aspecto no limitativo de la figura 4, el detector gamma 414 se puede colocar en una ubicación predeterminada con respecto al volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 406 cuando el pasador 420 de orientación del marco 408 se aloje en la muesca 422 de orientación de la jaula fuente 402. Como tal, un técnico no necesita perder tiempo disponiendo el marco 408 y la jaula fuente 402 de modo que se coloque correctamente el detector gamma 414 dentro del volumen cilíndrico. En su lugar, el técnico puede alinear el pasador 420 de orientación con la muesca 422 de orientación. Como ventaja adicional, cuando el pasador 420 de orientación se aloje en la muesca 422 de orientación, el marco 408 se puede fijar con relación a la jaula fuente 402, lo que garantiza que no se altere la configuración deseada. Aunque el aspecto no limitativo de la

figura 4 puede incluir un pasador 420 de orientación y una muesca 422 de orientación, otros aspectos no limitativos de la presente descripción incluyen cualquier número de componentes y/o características mecánicas configurados para orientar y fijar adecuadamente el marco 408 a la jaula fuente 402. Por ejemplo, se pueden implementar una variedad de configuraciones geométricas de acoplamiento, componentes interactivos, marcas visuales y/o combinaciones de los mismos, según la aplicación prevista y/o las preferencias específicas del técnico.

Según otros aspectos no limitativos de la presente descripción, la jaula fuente 402 de la figura 4 puede incluir más de una muesca 422 de orientación, en donde cada muesca 422 de orientación, cuando encaje en ella el pasador 420 de orientación del marco 408, orientará el detector gamma 414 en una posición predeterminada particular de una pluralidad de posiciones predeterminadas dentro del volumen definido por el anillo exterior 406. Esto puede proporcionar a un técnico la flexibilidad necesaria para ajustar la posición del detector gamma 414 según lo desee, manteniendo al mismo tiempo la facilidad de uso y las eficiencias mencionadas anteriormente.

Aún haciendo referencia a la figura 4, el dispositivo 400 se puede calibrar y/o reconfigurar para optimizar la integridad de una medición, según se desee. Por ejemplo, un técnico puede utilizar el marco 408 y la jaula fuente 402 del dispositivo para orientar inicialmente el detector gamma 414 dentro del volumen interno definido por el anillo exterior 406. Una vez que el detector gamma 414 está colocado inicialmente, el técnico puede instalar un único radionúclido 414 de una pluralidad de radionúclidos 414 en la jaula fuente 402 y realizar una medición de referencia de la radiactividad emitida por el único radionúclido 414. El técnico puede proceder a instalar cada radionúclido 414 de la pluralidad de radionúclidos 414 en la jaula fuente 402 y realizar una medición colectiva de la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos 414. A continuación, el técnico puede comparar la medición colectiva con la medición de referencia y determinar un factor de corrección basándose, al menos en parte, en la comparación. Por ejemplo, si la medición de referencia del único radionúclido 414 fuera un Curie, el técnico podría esperar que la medición colectiva fuera de 48 Curie. Sin embargo, si la medición colectiva difiere significativamente de lo que cabría esperar basándose en la medición de referencia, el técnico podría determinar un factor de corrección que pueda permitir un margen de error aceptable. En consecuencia, el técnico podría decidir recolocar el detector gamma 414 dentro del volumen cilíndrico basándose, al menos en parte, en el factor de corrección determinado. Las características estructurales antes mencionadas del dispositivo 400 de la figura 4 pueden ayudar al técnico a realizar fácilmente estos ajustes y, por lo tanto, permitir una adquisición más eficiente de datos precisos asociados con el cargamento previsto.

En otras palabras, el dispositivo 400 puede ser capaz de mejorar la eficiencia de las mediciones de radiactividad debido a su geometría simétrica. Por ejemplo, en el aspecto no limitativo de la figura 4, la jaula fuente 402 incluye una configuración geométrica de trescientos sesenta grados que es simétrica con respecto a una línea central radial del plano definido por el anillo exterior 406. Como se ha descrito anteriormente, cuando la jaula fuente 402 se carga con un número ("X") de radionúclidos 404, el dispositivo 400 puede lograr una eficiencia de detección, que puede definirse como la eficiencia calibrada ("E") multiplicada por el número de radionúclidos instalados, o $X \cdot E$.

En referencia adicional a la figura 4, varias varillas 424 de soporte pueden soportar los anillos exteriores 406 de la jaula fuente 402. Sin embargo, las varillas 424 de soporte pueden interferir con la exposición a la radiación del detector gamma 414, imponiendo de este modo un error de calibración mayor del deseado. Si tales varillas 424 de soporte, o cualquier otra característica estructural del dispositivo 400, generan un error de calibración inaceptable, se pueden adoptar múltiples enfoques para compensar el error y calibrar de manera eficiente el dispositivo 400. Por ejemplo, una eficiencia de calibración precisa que tenga en cuenta los soportes 424 se puede determinar experimentalmente o mediante simulación. De forma alternativa y/o adicional, la jaula fuente 402 se puede modificar para incluir un mayor número de soportes 424, en donde cada soporte 42 incluye un diámetro menor. Aún así, en otros aspectos no limitativos, la jaula fuente 402 se puede modificar para incluir una placa de soporte circunferencial que proporcione estabilidad estructural independiente de las varillas 424 de soporte sin interferir con la exposición a la radiación del detector gamma 414.

Como se mencionó anteriormente, los radionúclidos deben controlarse cuidadosamente en todo momento para evitar la sobreexposición de los trabajadores a la radiación. Tal precaución puede introducir restricciones en la manipulación de los radionúclidos, lo que solo puede aumentar la ineficiencia y complicar las mediciones y cargamentos en masa. En consecuencia, el dispositivo 400 de la figura 4 se puede configurar además para la inmersión en agua, lo que puede proteger al personal de una exposición peligrosa. Por ejemplo, el dispositivo 400 de la figura 4 se puede utilizar tanto para modelos de almacenamiento subacuático como de fuente húmeda. Como tal, el dispositivo 400 puede incluir un brazo manipulador 418 que incluye una longitud predeterminada que puede permitir a un técnico encajar el pasador de orientación en la muesca de orientación desde lejos (p. ej., por encima de la superficie del agua). Se apreciará que la longitud se puede configurar además para colocar al técnico a una distancia predeterminada de la pluralidad de radionúclidos. De forma alternativa y/o adicional, el marco 400 y, específicamente, los brazos 410 del marco 400 se pueden configurar robóticamente para una recolocación autónoma con respecto a la jaula fuente 402. Según algunos aspectos no limitativos, el marco 400 puede incluir además un sensor de posición, que puede proporcionar retroalimentación en tiempo real con respecto a la posición del detector gamma 414 con respecto a los radionúclidos 404.

Además, el detector gamma 414 de la figura 4 se puede acoplar a un cable 416 de señal que puede estar integrado en la superficie o conducido a ella a través de la varilla central 412. Por ejemplo, el cable de señal 416 puede comunicar

señales desde el detector gamma 414 a una unidad de adquisición de datos ubicada por encima del agua y a una distancia segura de los radionúclidos 404. Se apreciará que, aunque el aspecto no limitativo de la figura 4 incluye un cable 416 de señal para enviar señales desde el detector gamma 414 a una unidad de adquisición de datos ubicada de forma remota, otros aspectos no limitativos incluyen detectores gamma 414 que pueden configurarse para la comunicación inalámbrica.

Haciendo referencia ahora a la figura 5, se representa una vista en perspectiva de otro dispositivo 500 configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. Según el aspecto no limitativo de la figura 5, el dispositivo 500 se puede configurar de manera sustancialmente similar a la del dispositivo 400 de la figura 4. Sin embargo, el dispositivo 500 de la figura 5 puede incluir además uno o más brazos 510 configurados de forma móvil con respecto a la jaula fuente 502. En consecuencia, el marco 508 se puede recolocar con respecto a la jaula fuente 502. Se apreciará que los brazos 510 pueden incluir cualquier número de componentes y/o características estructurales que puedan facilitar esta funcionalidad. Por ejemplo, el dispositivo 500 de la figura 5 puede incluir brazos 510 configurados con bisagras de bloqueo, que pueden manipularse desde una distancia segura. De forma alternativa y/o adicional, los brazos 510 pueden incluir pistas deslizantes y/o rodillos para lograr el mismo efecto. Se puede utilizar un brazo manipulador 518 para manipular los brazos 510 desde arriba de la superficie del agua y a una distancia segura. De forma alternativa y/o adicional, el marco 500 y, específicamente, los brazos 510 del marco 500 se pueden configurar robóticamente para una recolocación autónoma con respecto a la jaula fuente 502. Según algunos aspectos no limitativos, el marco 500 puede incluir además un sensor de posición, que puede proporcionar retroalimentación en tiempo real con respecto a la posición del detector gamma 514 con respecto a los radionúclidos 504.

En referencia adicional a la figura 5, los brazos 510 se pueden manipular para ajustar el marco 508 y, específicamente, la varilla central 512 con respecto a la jaula fuente 502. Esto permite que el detector gamma 514 se pueda recolocar posteriormente con respecto al volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 506 y, por lo tanto, que el detector gamma 514 se pueda orientar y/o colocar con respecto a la pluralidad de radionúclidos 404. Por ejemplo, según el aspecto no limitativo de la figura 5, el detector gamma 545 se puede colocar fuera del volumen cilíndrico definido por el anillo exterior 506, de tal modo que el detector gamma 545 quede suspendido por encima del anillo exterior 506 de la jaula fuente 502. Esto puede ser particularmente útil para las jaulas fuente 502 que incluyen características geométricas dentro del volumen cilíndrico, tal como una pieza central donde, de otro modo, se colocaría la varilla central. Sin embargo, se apreciará que la presente descripción contempla otros aspectos no limitativos en donde el detector gamma 514 se puede colocar dentro del volumen cilíndrico. En algunos aspectos no limitativos, la varilla central 512 puede ser telescópica o ajustable de otro modo para adaptarse a las jaulas fuente 502 de diferentes diseños y configuraciones y, por lo tanto, permitir flexibilidad con respecto a la posición del detector gamma 514. Como tal, los brazos 510 del marco 508 representado en la figura 5 se pueden manipular para influir en la integridad de una medición. Tales características mejoran la personalización de la configuración del dispositivo 500 y, por lo tanto, proporcionan más versatilidad para los técnicos de implementación. En otras palabras, los brazos 510 se pueden utilizar en lugar de un pasador de orientación y una abertura de ranura de orientación, o junto con ellos, para optimizar la eficiencia y mejorar el cumplimiento normativo para los cargamentos de radionúclidos en masa.

Haciendo referencia ahora a la figura 6, se representa un diagrama de flujo de un método 600 para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos utilizando los dispositivos representados en las figuras 4 y 5, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. En primer lugar, un técnico puede acoplar el uno o más brazos del marco a la jaula fuente 602. Como se mencionó anteriormente, esto puede implicar simplemente fijar un marco fijo en el anillo exterior de la jaula fuente, o fijar un marco articulado mediante componentes móviles (p. ej., bisagras). A continuación, el técnico puede disponer el brazo y, específicamente, la varilla central, de modo que el detector gamma quede en una ubicación predeterminada con respecto a un volumen cilíndrico definido por un anillo exterior de la jaula fuente 604. Esto puede incluir el uso de un brazo manipulador, como se representa en las figuras 4 y 5. Una vez que el marco está alineado correctamente con respecto a la jaula fuente, el técnico puede encajar el pasador de orientación del marco en la muesca de orientación de la jaula fuente 606. Por supuesto, el dispositivo puede incluir componentes alternativos para la alineación y el acoplamiento iniciales, como se ha descrito anteriormente. Esto asegurará que el detector de rayos gamma esté colocado correctamente y seguro para la prueba.

En referencia adicional a la figura 6, una vez que el detector gamma está colocado inicialmente, el técnico puede instalar un único radionúclido de una pluralidad de radionúclidos en la jaula fuente. 608. Una vez instalado, el técnico puede realizar una medición de referencia de la radiactividad emitida por el único radionúclido 610 y puede proceder a instalar cada radionúclido que se cargará a la jaula fuente 612. A continuación, el técnico puede realizar una medición colectiva de la radiactividad emitida por todo el cargamento de radionúclidos 614. A continuación, el técnico puede comparar la medición colectiva con la medición de referencia y determinar un factor de corrección basándose, al menos en parte, en la comparación. Por ejemplo, si la medición de referencia del único radionúclido fuera un Curie, el técnico podría esperar que la medición colectiva fuera de 48 Curie. Sin embargo, si la medición colectiva difiere significativamente de lo que cabría esperar basándose en la medición de referencia, el técnico podría determinar un factor de corrección que pueda permitir un margen de error aceptable. En consecuencia, el técnico podría decidir recolocar el detector de rayos gamma dentro del volumen cilíndrico basándose, al menos en parte, en el factor de corrección determinado. Sin seguir los pasos mencionadas anteriormente del método 600, el técnico se vería obligado a medir cada radionúclido uno por uno, lo que resulta costoso y consume mucho tiempo. Sin embargo, siguiendo los

pasos mencionadas anteriormente del método 600, el técnico puede medir y ajustar fácilmente el método de medición y, por lo tanto, puede adquirir de manera eficiente datos precisos asociados con el cargamento previsto.

Haciendo referencia ahora a la figura 7, se representa una vista en perspectiva de otra jaula fuente 700 de un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos en masa, según al menos un aspecto no limitativo de la presente descripción. La jaula fuente 700 de la figura 7 está configurada de manera similar a la de la jaula fuente 100 de la figura 1. Sin embargo, según el aspecto no limitativo de la figura 7, la jaula fuente 700 puede incluir además una característica geométrica 710 colocada dentro del volumen 704 definido por los anillos exteriores 702 de la jaula fuente 700. Por ejemplo, la jaula fuente 700 de la figura 7 incluye una placa base 703 acoplada a las varillas 709 de soporte de la jaula fuente 700, y la característica geométrica 710 incluye una pieza central que se extiende hacia arriba desde la placa base 703 hasta el volumen 704, donde la barra central 208 (figura 2) del marco 200 (200) podría colocarse de otro modo. En consecuencia, un detector gamma, tal como un detector 207 de cámara de ionización (figura 2), se puede suspender por encima del volumen cilíndrico 704 mediante una varilla central 512 (figura 5) de un marco 500 (figura 5). De forma alternativa y/o adicional, un detector gamma, tal como un detector autoalimentado 302 (figura 3), se puede colocar estratégicamente alrededor de la pieza central 710, según la aplicación prevista y/o las preferencias del usuario.

La presente invención se ha descrito con referencia a diversos aspectos que tienen por objeto ser de ejemplo e ilustrativos. Se entiende que los aspectos descritos en la presente memoria proporcionan características ilustrativas con detalles variables de diversos aspectos de la invención expuesta; y por lo tanto, salvo que se indique lo contrario, debe entenderse que, en la medida de lo posible, una o más características, elementos, componentes, constituyentes, ingredientes, estructuras, módulos y/o aspectos de los aspectos expuestos se pueden combinar, separar, intercambiar y/o volver a disponer con o con respecto a una o más características, elementos, componentes, constituyentes, ingredientes, estructuras, módulos y/o aspectos de los aspectos expuestos sin alejarse del alcance de la invención expuesta, como se define en las reivindicaciones adjuntas. En consecuencia, los expertos en la técnica comprenderán que pueden realizarse diversas sustituciones, modificaciones o combinaciones de cualquiera de los aspectos ilustrativos sin alejarse del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, los expertos en la técnica, al revisar esta memoria descriptiva, podrán captar o determinar muchos equivalentes a las diversas realizaciones de la invención descrita en la presente memoria, a través de la mera experimentación de rutina. Por lo tanto, la invención no está limitada por la descripción de las diversas realizaciones, sino más bien por las reivindicaciones. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones.

Los expertos en la técnica reconocerán que, generalmente, los términos utilizados en la presente memoria, y especialmente en las reivindicaciones adjuntas (p. ej., los cuerpos de las reivindicaciones adjuntas) generalmente pretenden ser términos “abiertos” (p. ej., el término “que incluye” debe interpretarse como “que incluye, aunque no de forma limitativa”, el término “que tiene” debe interpretarse como “que tiene al menos”, el término “incluye” debe interpretarse como “incluye, aunque no de forma limitativa”, etc.). Los expertos en la técnica entenderán además que, si se pretende un número específico de recitación de una reivindicación introducida, tal intención estará recitada explícitamente en la reivindicación y, en ausencia de tal recitación, tal intención no está presente. Por ejemplo, como ayuda a la comprensión, las siguientes reivindicaciones adjuntas pueden contener el uso de las frases introductorias “al menos una” y “una o más” para introducir recitaciones de reivindicaciones. Sin embargo, el uso de tales frases no se debe considerar en el sentido de que la introducción de una recitación de una reivindicación en los artículos indefinidos “un” o “una” limite cualquier afirmación en particular que contenga tal recitación de reivindicación introducida a las reivindicaciones que contengan solo una de esas recitaciones, aun cuando la misma reivindicación incluya las frases introductorias “una o más” o “al menos una” y artículos indefinidos tales como “un” o “una” (p. ej., “un” y/o “una” debería interpretarse típicamente en el sentido de “al menos uno” o “uno o más”); lo mismo ocurre con el uso de artículos definidos que se utilizan para introducir recitaciones de reivindicaciones.

Además, aun si se cita explícitamente un número específico de una recitación de una reivindicación introducida, los expertos en la técnica reconocerán que tal recitación típicamente debe interpretarse en el sentido de al menos el número recitado (p. ej., la simple recitación de “dos recitaciones”, sin otros modificadores, típicamente significa al menos dos recitaciones, o dos o más recitaciones). Además, en los casos en que se utilice una convención análoga a “al menos una de las normas A, B y C, etc.”, tal estructura se entiende generalmente en el sentido en que un experto en la técnica entendería la convención (p. ej., “un sistema que tenga al menos uno de A, B y C” incluiría, aunque no de forma limitativa, los sistemas que tienen A solo, B solo, C solo, A y B juntos, A y C juntos, B y C juntos, y/o A, B y C juntos, etc.). En los casos en que se utilice una convención análoga a “al menos una de A, B o C, etc.”, generalmente, tal estructura se entiende en el sentido en que un experto en la técnica entendería la convención (p. ej., “un sistema que tenga al menos uno de A, B o C” incluiría, aunque no de forma limitativa, los sistemas que tienen A solo, B solo, A y B juntos, A y C juntos, B y C juntos, y/o A, B y C juntos, etc.). Los expertos en la técnica comprenderán además que, típicamente, una palabra y/o frase disyuntiva que presente dos o más términos alternativos, ya sea en la descripción, las reivindicaciones o los dibujos, debe entenderse como que contempla las posibilidades de incluir uno de los términos, cualquiera de los términos o ambos términos, a menos que el contexto dicte lo contrario. Por ejemplo, típicamente se entenderá que la frase “A o B” incluye las posibilidades de “A” o “B” o “A y B”.

Con respecto a las reivindicaciones adjuntas, los expertos en la técnica apreciarán que las operaciones citadas en las mismas generalmente pueden realizarse en cualquier orden. También, aunque se presentan recitaciones de

reivindicaciones en una secuencia o secuencias, debe entenderse que las diversas operaciones se pueden realizar en otros órdenes distintos a los que se describen, o se pueden realizar al mismo tiempo. Los ejemplos de tales órdenes alternativos pueden incluir órdenes solapados, intercalados, interrumpidos, reordenados, incrementales, preparatorios, suplementarios, simultáneos, inversos u otros órdenes variantes, a menos que el contexto dicte lo contrario. Además, términos como “receptivo a”, “relacionado con” u otros participios generalmente no pretenden excluir tales variantes, a menos que el contexto dicte lo contrario.

Conviene señalar que cualquier referencia a “un solo aspecto”, “un aspecto”, “una ejemplificación”, “una sola ejemplificación” y similares significa que una característica, estructura o rasgo particular descrito en relación con el aspecto está incluida en al menos un aspecto. Por lo tanto, las apariciones de las expresiones “en un único aspecto”, “en un aspecto”, “en una ejemplificación” y “en una sola ejemplificación” en diversos lugares a lo largo de la memoria descriptiva no se refieren necesariamente todas al mismo aspecto. Además, las características, estructuras o rasgos particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada en uno o más aspectos.

Como se utiliza en la presente memoria, la forma singular de “un”, “una”, “el” y “la” incluye las referencias en plural a menos que el contexto indique claramente de cualquier otro modo.

Las expresiones direccionales utilizadas en la presente memoria, tales como, por ejemplo y sin limitación, arriba, abajo, izquierda, derecha, inferior, superior, frontal, posterior y sus variaciones, se referirán a la orientación de los elementos que se muestran en el dibujo adjunto y no limitan las reivindicaciones a menos que se indique expresamente lo contrario.

Los términos “alrededor de” o “aproximadamente”, tal como se usan en la presente descripción, a menos que se especifique lo contrario, significan un error aceptable para un valor particular según lo determine un experto en la técnica, que depende en parte de cómo se mide o determina el valor. En ciertos aspectos, los términos “alrededor de” o “aproximadamente” significan dentro de 1, 2, 3 o 4 desviaciones estándar. En ciertos aspectos, el término “aproximadamente” significa dentro del 50 %, 200 %, 105 %, 100 %, 9 %, 8 %, 7 %, 6 %, 5 %, 4 %, 3 %, 2 %, 1 %, 0,5 % o 0,05 % de un valor o intervalo dado.

En esta memoria descriptiva, salvo que se indique lo contrario, todos los parámetros numéricos deben entenderse como precedidos y modificados en todos los casos por el término “aproximadamente”, en donde los parámetros numéricos poseen la característica de variabilidad inherente de las técnicas de medición subyacentes utilizadas para determinar el valor numérico del parámetro. Como mínimo, cada parámetro numérico descrito en la presente memoria debe al menos interpretarse en términos del número de dígitos significativos especificados y aplicando técnicas de redondeo ordinarias.

Cualquier intervalo numérico citado en la presente memoria incluye todos los subintervalos incluidos dentro del intervalo citado. Por ejemplo, un intervalo de “1 a 100” incluye todos los subintervalos entre (e incluidos) el valor mínimo citado de 1 y el valor máximo citado de 100, es decir, tiene un valor mínimo igual a o superior a 1 y un valor máximo igual a o inferior a 100. Además, todos los intervalos citados en la presente memoria incluyen los puntos finales de los intervalos citados. Por ejemplo, un intervalo de “1 a 100” incluye los puntos finales 1 y 100. Cualquier limitación numérica máxima establecida en esta memoria descriptiva tiene por objeto incluir todas las limitaciones numéricas inferiores incluidas en la misma, y cualquier limitación numérica mínima establecida en esta memoria descriptiva tiene por objeto incluir todas las limitaciones numéricas superiores contenidas en la misma. En consecuencia, el solicitante se reserva el derecho de modificar esta memoria descriptiva, incluidas las reivindicaciones, para establecer expresamente cualquier subintervalo contenido dentro de los intervalos establecidos expresamente. Todos estos intervalos se describen inherentemente en esta memoria descriptiva.

Los términos “comprender” (y cualquier forma de comprender, tales como “comprende” y “que comprende”), “tener” (y cualquier forma de tener, tales como “tiene” y “que tiene”), “incluir” (y cualquier forma de incluir, tales como “incluye” y “que incluye”) y “contener” (y cualquier forma de contener, tales como “contiene” y “que contiene”) son verbos de enlace abierto. Como resultado, un sistema que “comprende”, “tiene”, “incluye” o “contiene” uno o más elementos posee esos uno o más elementos, pero no se limita a poseer solo esos uno o más elementos. Del mismo modo, un elemento de un sistema, dispositivo o aparato que “comprende”, “tiene”, “incluye” o “contiene” una o más características posee esas una o más características, pero no se limita a poseer solo esas una o más características.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos utilizando una jaula fuente (100; 402) que comprende un anillo exterior (102; 406) que define un volumen (104) y una pluralidad de orificios (105), en donde cada orificio de la pluralidad de orificios (105) está configurado para que reciba un radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106) y un marco (200; 408) que comprende un brazo (201) acoplado a una varilla central (208; 412), en donde la varilla central (208; 412) está acoplada a un detector gamma (207; 414), en donde el anillo exterior (102; 406) comprende una característica (107; 422) de orientación, en donde el brazo (201) comprende un pasador (420) de orientación configurado para encajar en la característica (107; 422) de orientación, y en donde la varilla central (208; 412) está configurada de modo que se coloque en una ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el pasador (420) de orientación está encajado en la característica (107; 422) de orientación, comprendiendo el método:

acoplar (602) el brazo (201) al anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);
 disponer (604) el brazo (201) y la varilla central (208; 412) de modo que la varilla central quede colocada en la ubicación predeterminada con respecto al volumen (104);
 encajar (606) el pasador (420) de orientación del brazo (201) en la característica (107; 422) de orientación del anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);
 insertar (608) un radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106) en un orificio de la pluralidad de orificios (105) del anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);
 realizar una medición (610) de referencia de la radiactividad emitida por el radionúclido insertado utilizando el detector gamma (207; 414);
 retirar el radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106) del orificio de la pluralidad de orificios (105) del anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402); e
 insertar (612) cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos en la pluralidad de orificios (105) del anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);
caracterizado por
 realizar (614) una medición colectiva de la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos (106); y
 dividir la medición colectiva por el número de radionúclidos de la pluralidad de radionúclidos (106) para determinar una medición promedio de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106).

2. El método de la reivindicación 1, que comprende además:

comparar la medición promedio de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106) con una medición estimada de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos;
 determinar un factor de corrección basándose, al menos en parte, en la comparación de la medición promedio de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos con la medición estimada de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos; y
 determinar una segunda ubicación predeterminada basándose, al menos en parte, en el factor de corrección determinado.

3. El método de la reivindicación 2, que comprende además:

desencajar el pasador (420) de orientación del brazo (201) de la característica (107; 422) de orientación del anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);
 volver a disponer el brazo (201) y la varilla central (208; 412) de modo que la varilla central quede colocada en la segunda ubicación predeterminada con respecto al volumen (104);
 realizar una medición de corrección de la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos (106); y
 dividir la medición de corrección por el número de radionúclidos de la pluralidad de radionúclidos para determinar una medición promedio corregida de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos.

4. El método de la reivindicación 2, en donde el marco (200; 408) comprende además un segundo brazo (202) acoplado a la varilla central (208; 412), en donde el brazo y el segundo brazo están configurados para que se acoplen de forma móvil al anillo exterior (102; 406), en donde el brazo (201) y el segundo brazo (202) se pueden mover entre una primera posición con respecto a la jaula fuente (100; 402) y una segunda posición con respecto a la jaula fuente (100; 402), comprendiendo además el método:

acoplar el segundo brazo (202) al anillo exterior (102; 406) de la jaula fuente (100; 402);

volver a disponer el brazo (201) y el segundo brazo (202) desde la primera posición a la segunda posición hasta que la varilla central (208; 412) quede colocada en la segunda ubicación predeterminada con respecto al volumen (104);

realizar una medición de corrección de la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos (106); y

dividir la medición de corrección por el número de radionúclidos de la pluralidad de radionúclidos (106) para determinar una medición promedio corregida de la radiactividad emitida por cada radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106).

5. El método de la reivindicación 1, que comprende además sumergir la jaula fuente (100; 402) en un fluido, y en donde disponer el brazo (201) y la varilla central (208; 412) comprende además la utilización de un brazo manipulador (418) configurado para permitir a un técnico encajar el pasador (420) de orientación en la característica (107; 422) de orientación desde una distancia predeterminada lejos de la pluralidad de radionúclidos (106).

6. Un dispositivo configurado para medir la radiactividad emitida por una pluralidad de radionúclidos (106), acoplado a una jaula fuente (100; 402) que define un volumen (104), en donde la jaula fuente (100; 402) comprende una característica (107; 422) de orientación, comprendiendo el dispositivo:

un brazo (201) configurado para acoplarse a la jaula fuente (100; 402), en donde el brazo (201) comprende un componente (420) de orientación que corresponde a la característica (107; 422) de orientación de la jaula fuente (100; 402); y

una varilla central (208; 412) acoplada al brazo (201), en donde la varilla central (208; 412) está configurada para que se coloque con respecto al volumen (104) de la jaula fuente (100; 402) cuando el brazo (201) está acoplado a la jaula fuente (100; 402);

en donde la característica (107; 422) de orientación es indicativa de una ubicación predeterminada con respecto al componente (420) de orientación en la jaula fuente (100; 402), y en donde la ubicación predeterminada con respecto al componente (420) de orientación en la jaula fuente (100; 402) corresponde a una ubicación predeterminada con respecto a la varilla central (208; 412) con respecto al volumen (104);

caracterizado por

un detector gamma (207; 414) acoplado a la varilla central (208; 412), en donde el detector gamma (207; 414) está configurado para que mida la radiactividad emitida por la pluralidad de radionúclidos (106).

7. El dispositivo de la reivindicación 6, que comprende además un segundo brazo (202) acoplado a la varilla central (208; 412), en donde el brazo (201) y el segundo brazo (202) están acoplados de forma móvil a la jaula fuente (100; 402), en donde el brazo (201) y el segundo brazo (202) se pueden mover entre una primera posición con respecto a la jaula fuente (100; 402) y una segunda posición con respecto a la jaula fuente (100; 402), en donde la varilla central (208; 412) está colocada en la ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el brazo (201) y el segundo brazo (202) están en la primera posición, y en donde la varilla central (208; 412) está colocada en una segunda ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el brazo (201) y el segundo brazo (202) están en la segunda posición.

8. El dispositivo de la reivindicación 6, que comprende además un brazo (418) de manipulación que comprende una longitud, en donde el brazo (418) de manipulación está configurado para permitir que un técnico alinee el componente (420) de orientación con respecto a la característica (107; 422) de orientación, y en donde la longitud está configurada específicamente para colocar al técnico a una distancia predeterminada de la pluralidad de radionúclidos (106).

9. El dispositivo de la reivindicación 6, en donde el detector gamma (207; 414) comprende una espiral envuelta alrededor de un tubo configurado para acoplarse a la varilla central (208; 412).

10. El dispositivo de la reivindicación 6, que comprende:

un marco (200; 408) que comprende el brazo (201) y la varilla central (208; 412);

en donde la jaula fuente (100; 402) comprende un anillo exterior (102; 406) que define el volumen (104) y la característica (107; 422) de orientación, en donde el anillo exterior (102; 406) comprende una pluralidad de orificios (105), en donde cada orificio de la pluralidad de orificios (105) está configurado para que reciba un radionúclido de la pluralidad de radionúclidos (106); y

el brazo (201) comprende un pasador (420) de orientación; y

la característica (107; 422) de orientación de la jaula fuente (100; 402) está configurada para que encaje en ella el pasador (420) de orientación del brazo (201), y en donde la varilla central (208; 412) está colocada en una ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el pasador (420) de orientación está acoplado a la característica (107; 422) de orientación.

11. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde el detector gamma (207; 414) comprende además un escudo gamma configurado para reducir la cantidad de radiactividad emitida por el detector gamma (207; 414).
- 5 12. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde el marco (200; 408) comprende además un segundo brazo (202) acoplado a la varilla central (208; 412), en donde el brazo (201) y el segundo brazo (202) están acoplados de forma móvil al anillo exterior (102; 406), en donde el brazo (201) y el segundo brazo (202) se pueden mover entre una primera posición con respecto a la jaula fuente (100; 402) y una segunda posición con respecto a la jaula fuente (100; 402), en donde la varilla central (208; 412) está colocada en la ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el brazo (201) y el segundo brazo (202) están en la primera posición, y en donde la varilla central (208; 412) está colocada en una segunda ubicación predeterminada con respecto al volumen (104) cuando el brazo (201) y el segundo brazo (202) están en la segunda posición.
- 10 13. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde el detector gamma (207; 414) comprende una cámara de ionización Farmer (207).
- 15 14. El dispositivo de la reivindicación 13, que comprende además un alojamiento configurado para acoplarse a la varilla central (208; 412), en donde la cámara de ionización Farmer está acoplada a un lado superior de la carcasa, y en donde el detector gamma (207; 414) queda orientado en el centro del volumen (104) cuando la carcasa está acoplada a la varilla central (208; 412).
- 20 15. El dispositivo de la reivindicación 10, en donde la jaula fuente (100; 402) comprende una característica geométrica colocada dentro del volumen (104), en donde el detector gamma (207; 414) está acoplado a la característica geométrica, y en donde el detector gamma (207; 414) comprende un detector autoalimentado (302), tal como un detector autoalimentado que comprende una espiral envuelta alrededor de la característica geométrica de la jaula fuente (100; 402).
- 25 16. El dispositivo de la reivindicación 10, que comprende además una manga configurada para acoplar el detector gamma (207; 414) a la varilla central (208; 412).
- 30 17. El dispositivo de la reivindicación 10, que comprende además un brazo manipulador (201) que comprende una longitud, en donde el brazo manipulador (418) está configurado para permitir a un técnico acoplar el pasador (420) de orientación y la característica (107; 422) de orientación, y en donde la longitud está configurada específicamente para colocar al técnico a una distancia predeterminada de la pluralidad de radionúclidos (106).
- 35

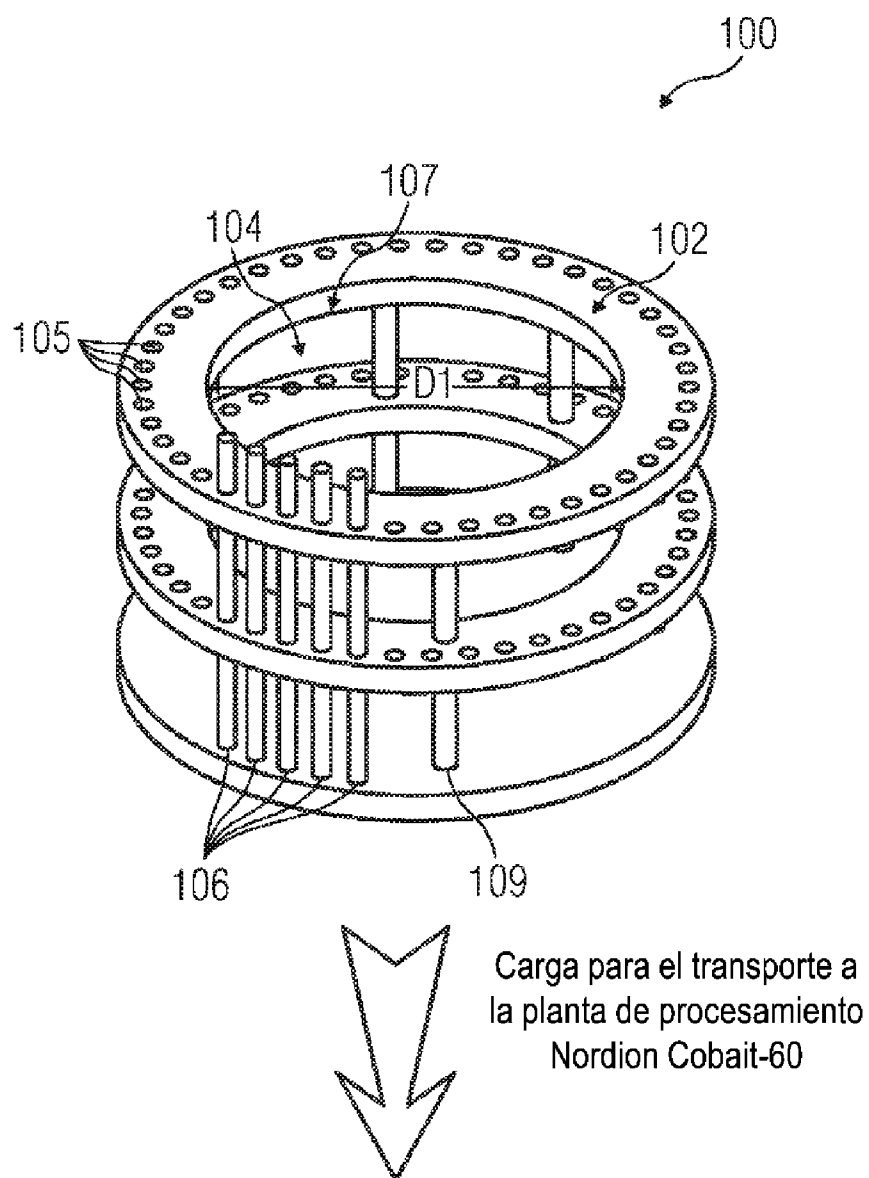


Figura 1

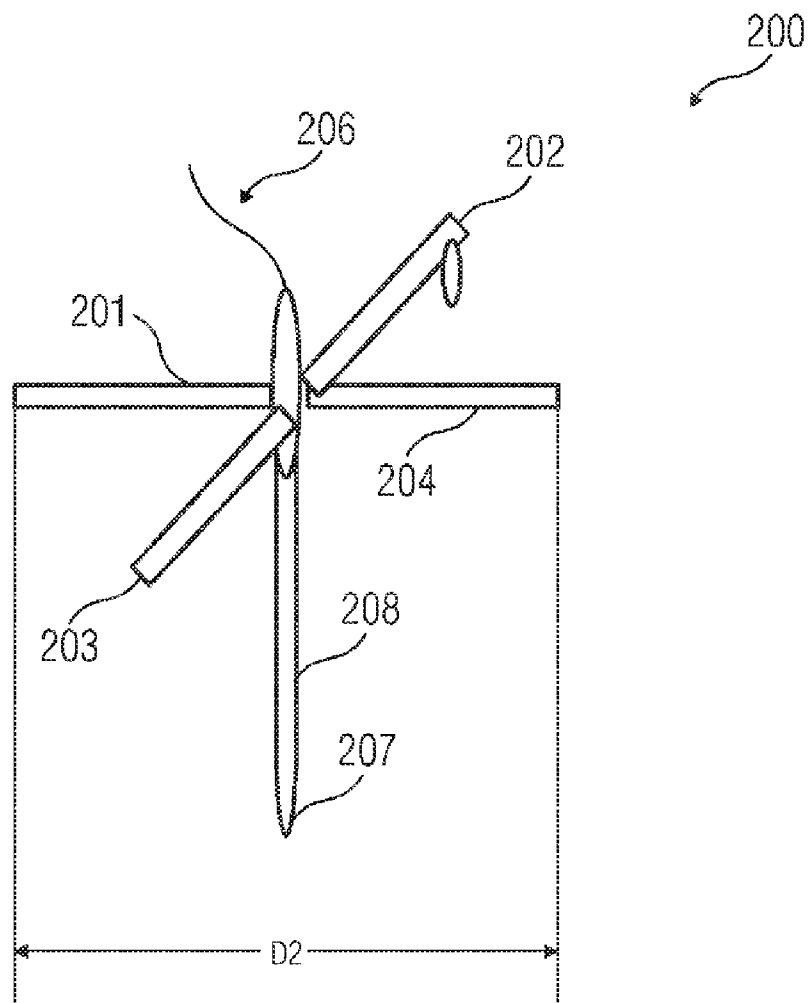


Figura 2

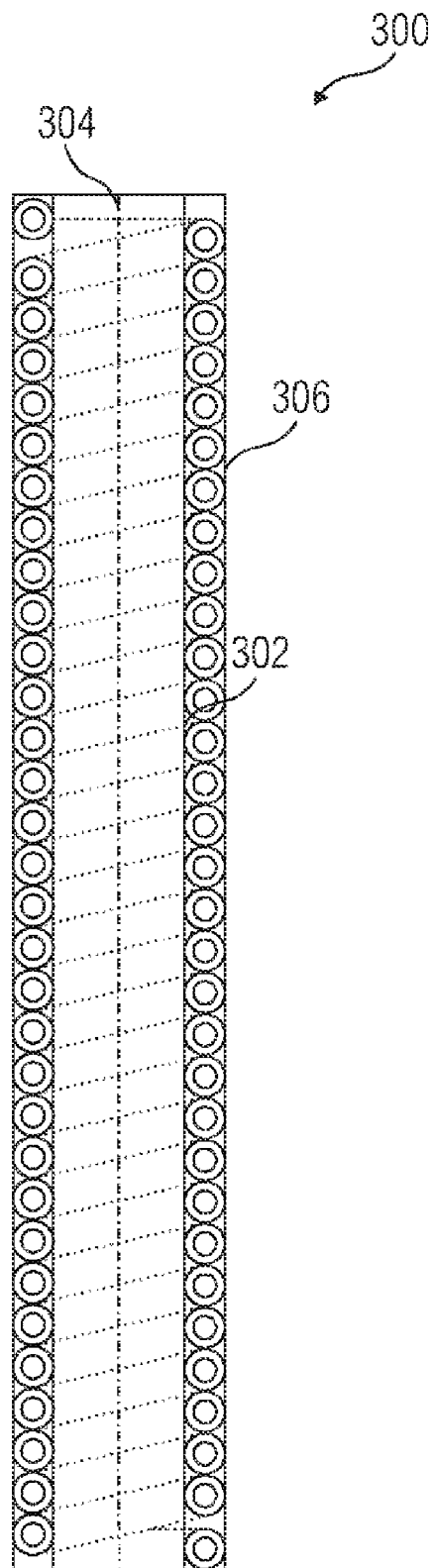


Figura 3

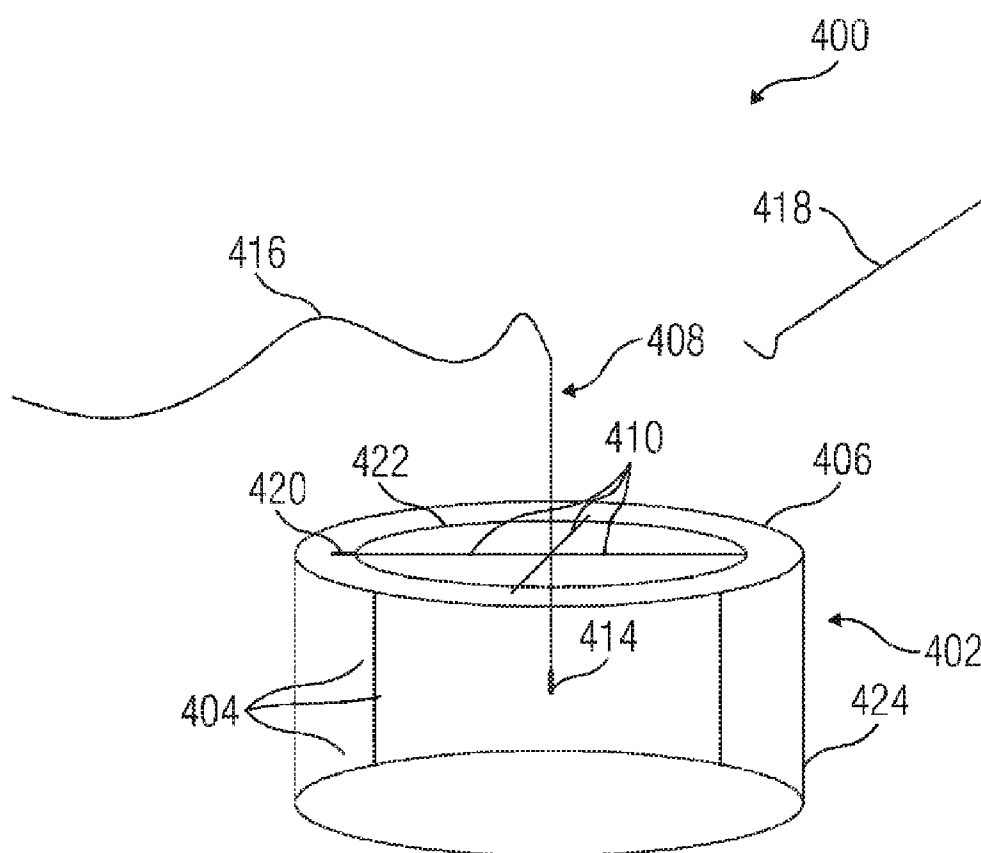


Figura 4

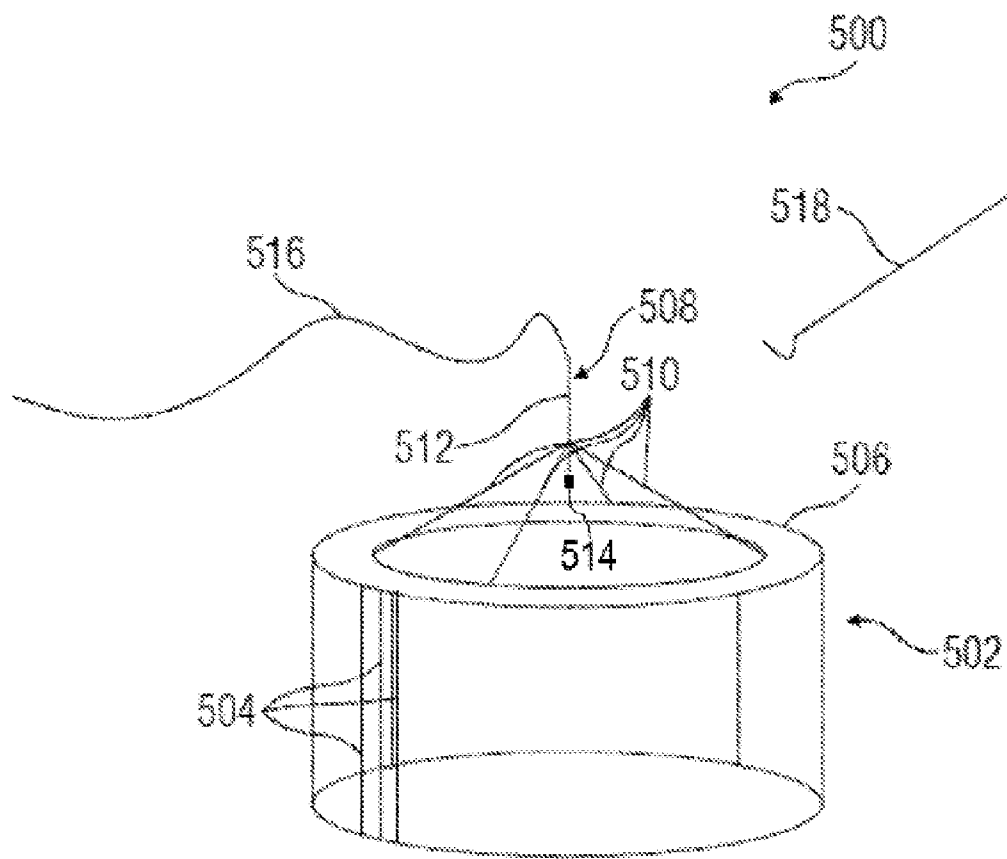


Figura 5

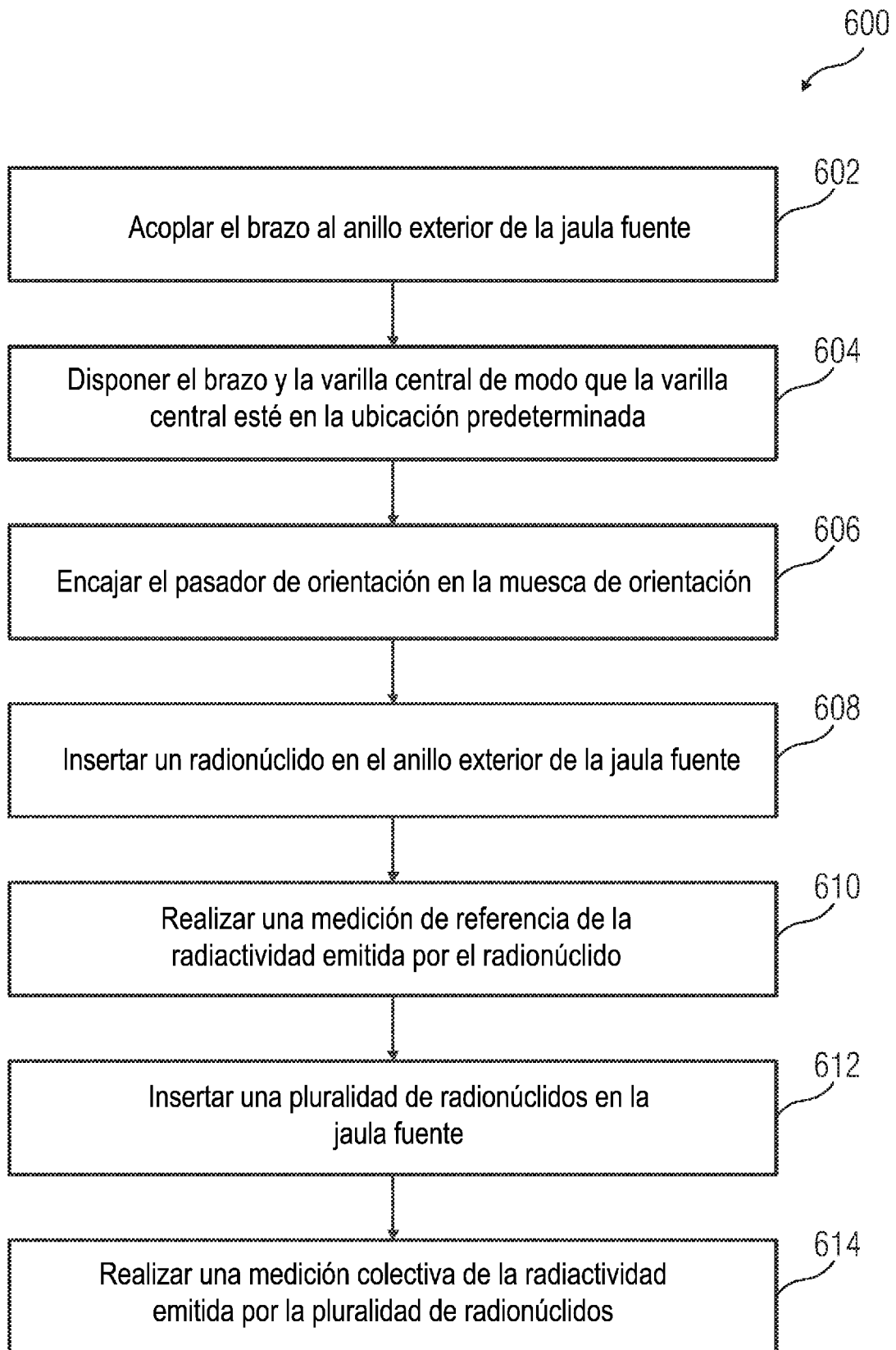


Figura 6

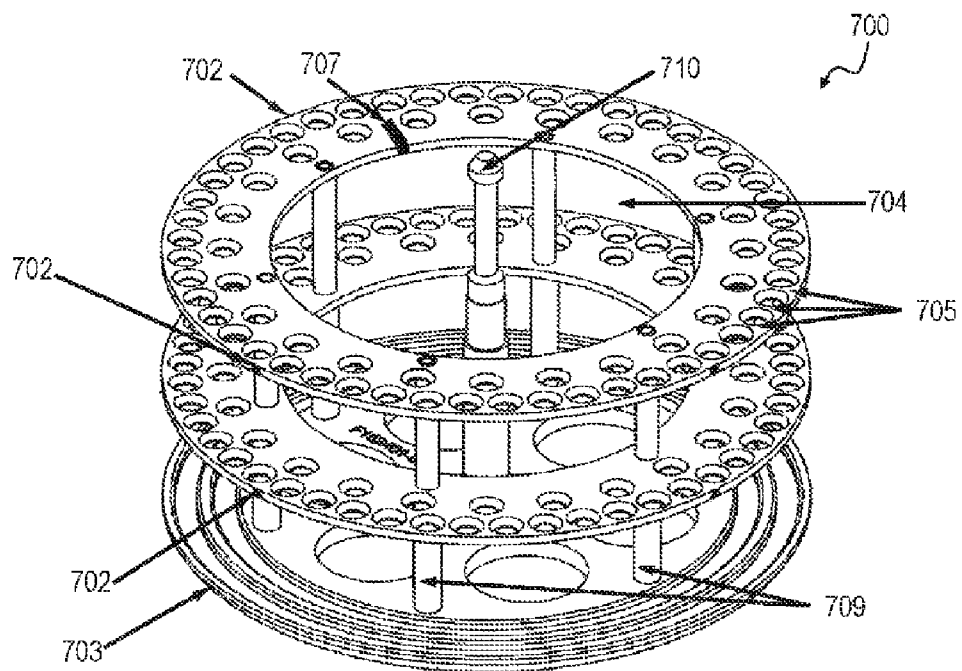


Figura 7