

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 820**

51 Int. Cl.:

G21K 1/10 (2006.01)

G21F 1/12 (2006.01)

G21F 1/08 (2006.01)

A61N 5/10 (2006.01)

G01T 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.05.2019 PCT/US2019/031299**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2019 WO19217542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2019 E 19798925 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024 EP 3791409**

54 Título: **Atenuador de rayos gamma y protección contra rayos gamma para espectroscopia de rayos gamma**

30 Prioridad:

08.05.2018 US 201862668669 P

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

12.11.2024

73 Titular/es:

**CURIUM US LLC (100.0%)
111 Westport Plaza, Suite 800
St. Louis, MO 63146, US**

72 Inventor/es:

**SCHAAP, BART y
MARSHALL, STERLING**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 986 820 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

Atenuador de rayos gamma y protección contra rayos gamma para espectroscopia de rayos gamma

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional de EE. UU. n.º 62/668.669, presentada el 8 de mayo de 2018.

10 Campo

La presente divulgación se refiere a un atenuador de rayos gamma y a una protección contra rayos gamma para su uso en espectroscopia de rayos gamma, en particular, identificación de radionúclidos y mediciones de pureza de radionúclidos.

15 Antecedentes

La mayoría de las fuentes radiactivas producen rayos gamma de diversas energías e intensidades. Cuando estas emisiones se detectan y analizan con un sistema de espectroscopia, se puede producir un espectro de energía de rayos gamma. Un análisis detallado de este espectro se usa típicamente para determinar la identidad y la cantidad de emisores gamma presentes en la fuente radiactiva. Estos conceptos, identificación de radionúclidos y pureza radionucleídica, son particularmente importantes en medicina nuclear, ya que cualquier impureza radionucleídica puede aumentar la dosis de radiación recibida por un paciente, dar como resultado el alcance involuntario de lugares secundarios en el cuerpo del paciente y/o degradar la calidad de cualquier procedimiento de formación de imágenes o terapéutico realizado.

En muchas aplicaciones, los rayos gamma de interés pueden medirse más fácilmente si los rayos gamma de menor energía pueden ser absorbidos antes de que alcancen el detector. Para mediciones de radiactividad precisas, fiables y repetibles, la tasa de rayos gamma incidentes en el espectrómetro de rayos gamma debería ser razonablemente baja. La eliminación selectiva de rayos gamma de menor energía, por ejemplo, mediante un atenuador de rayos gamma, puede evitar pérdidas significativas relacionadas con el recuento en el detector y distorsión espectral, que de otro modo impactarían negativamente en la identificación y medición de radionucleidos en una muestra. En particular, un uso para un atenuador de rayos gamma es cuando un producto radionucleido comprende típicamente el 90 %, 95 % o 99 % o más de la radiactividad total de un producto farmacéutico y los rayos gamma del producto radionucleido tienen energías más bajas que los rayos gamma de las impurezas radionucleídicas.

Un atenuador de rayos gamma usado rutinariamente en el estado de la técnica desde 1984 es el paquete de atenuadores gamma n.º 3 producido por la U.S. Department of Commerce's National Bureau of Standards (Oficina Nacional de Normas del Departamento de Comercio de Estados Unidos). El paquete consiste en una pila de láminas: 3 láminas de oro, 1 lámina de cobre y 1 lámina de cadmio. Las láminas se unen con epoxi y se encierran en una bolsa de polietileno termosellada.

El documento CZ 20 061 U1 divulga una cámara de medición que tiene un blindaje contra la radiación gamma y X que surge fuera de la cámara de medición. En un ejemplo, divulga que los materiales de protección son plomo, estaño y cobre en este orden desde el exterior de la cámara. El tungsteno se menciona como una alternativa al plomo.

Breve descripción de las figuras

Los ejemplos en el presente documento pueden entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción junto con los dibujos que acompañan, en los que números de referencia similares indican elementos análogos, idénticos o funcionalmente similares. Se entiende que estos dibujos ilustran solo realizaciones típicas de la divulgación y, por lo tanto, no se ha de considerar que sean limitantes de su alcance, la materia objeto se describirá y se explicará con especificidad y detalle adicional a través del uso de los dibujos que acompañan, en los que:

- La FIG. 1 es un diagrama esquemático que representa un entorno en el que puede implementarse una protección contra rayos gamma de la presente divulgación.
- La FIG. 2 es una sección transversal isométrica parcial de una protección contra rayos gamma que comprende un recipiente.
- La FIG. 3A es una imagen que ilustra una protección contra rayos gamma a modo de ejemplo de la presente divulgación dispuesta en un accesorio de plataforma para la identificación de radionúclidos dentro del blindaje de un detector de HPGe.
- La FIG. 3B es una imagen del interior del blindaje de un detector de HPGe con una protección contra rayos gamma a modo de ejemplo de la presente divulgación dispuesta en un accesorio de plataforma para la medición de impurezas radionucleídicas.
- La FIG. 3C es una imagen que ilustra un accesorio de plataforma colocado en una plataforma de muestra dentro

del blindaje de un detector de HPGe.

La FIG. 3D es una imagen que ilustra una plataforma de muestra colocada sobre la superficie del detector, en donde la plataforma de muestra está ubicada dentro del blindaje de un detector de HPGe.

5 La FIG. 4 es un diagrama de un ejemplo de un protector de rayos gamma que comprende un vial de 2 ml. La FIG. 4A, FIG. 4B, FIG. 4C y FIG. 4D representan a modo de diagrama varios aspectos de la misma protección contra rayos gamma.

La Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de uso de una protección contra rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

10 La Fig. 6 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de uso de una protección contra rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La Fig. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de uso de una protección contra rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La Fig. 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de uso de una protección contra rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

15 La Fig. 9 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de uso de una protección contra rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La FIG. 10 es una vista en sección transversal esquemática de la plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

20 La FIG. 11 es una vista en sección transversal parcial esquemática de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La FIG. 12A es una imagen de una vista inferior de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La FIG. 12B es una imagen de una vista en alzado lateral de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

25 La FIG. 12C es una imagen de otra vista en alzado lateral de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

La FIG. 12D es una imagen de la vista superior de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación.

30 Descripción detallada

Por simplicidad y claridad de ilustración, cuando sea apropiado, los números de referencia se han repetido entre las diferentes figuras para indicar elementos correspondientes o análogos. Además de ello, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión profunda de las implementaciones descritas en este documento. Sin embargo, los expertos en la materia entenderán que las implementaciones descritas en el presente documento pueden ponerse en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos y componentes no se han descrito en detalle para no oscurecer la característica relevante relacionada que se está describiendo. Además, no se ha de considerar que la descripción limita el alcance de las implementaciones descritas en el presente documento.

40 La presente divulgación se refiere a un atenuador de rayos gamma y a una protección contra rayos gamma para su uso en espectroscopia de rayos gamma, en particular, identificación de radionúclidos y mediciones de pureza de radionúclidos. Diversos ejemplos de una protección contra rayos gamma de la presente divulgación se analizan en detalle a continuación. Aunque se analizan implementaciones específicas, debería entenderse que esto se hace únicamente con fines ilustrativos. Un experto en la materia relevante reconocerá que pueden usarse otros componentes y configuraciones sin apartarse del espíritu y alcance de la divulgación. Las características y ventajas adicionales de la divulgación se expondrán en la siguiente descripción y en parte serán evidentes a partir de la descripción o podrán aprenderse mediante la puesta en práctica de la invención. La invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

50 A continuación, se presentarán varias definiciones que aplican a lo largo de esta divulgación. "Acoplado" se refiere a la unión o conexión de dos objetos. El acoplamiento puede ser directo o indirecto. Un acoplamiento indirecto comprende conectar dos objetos a través de uno o más objetos intermedios. El acoplamiento también puede referirse a conexiones eléctricas o mecánicas. El acoplamiento también puede comprender una unión magnética sin contacto físico. El término "que comprende" significa "que incluye, pero no se limita necesariamente a"; indica específicamente inclusión o pertenencia abierta en una combinación, grupo, serie y similares así descritos. Los términos "que comprende" y "que incluye" como se usan en el presente documento son inclusivos y/o abiertos y no excluyen elementos o procesos de procedimiento adicionales no mencionados. El uso de términos relacionales tales como, pero sin limitación, "abajo", "hacia abajo", "arriba", "hacia arriba", "arriba", "abajo" y "lado", se usan en la descripción para mayor claridad en referencia específica a las figuras y no pretenden limitar el alcance del presente concepto inventivo o las reivindicaciones adjuntas. "Próximo" se refiere a un punto o posición ubicado a una distancia corta. Por ejemplo, próximo a un extremo significa que el punto o posición está ubicado dentro de una distancia corta desde el extremo pero no está en el propio extremo. "Sustancialmente" se refiere a un elemento que se ajusta esencialmente a la dimensión, forma u otra palabra particular que modifica sustancialmente, de modo que el componente no necesita ser exacto. Por ejemplo, sustancialmente cilíndrico significa que el objeto se asemeja a un cilindro, pero puede tener una o más desviaciones de un cilindro verdadero. Como se usa en el presente

documento, "aproximadamente" se refiere a valores numéricos, incluidos números enteros, fracciones, porcentajes, etc., ya sea que se indiquen explícitamente o no. El término "aproximadamente" generalmente se refiere a un intervalo de valores numéricos, por ejemplo, $\pm 0,5-1 \%$, $\pm 1-5 \%$ o $\pm 5-10 \%$ del valor indicado, que se consideraría equivalente al valor indicado, por ejemplo, que tenga la misma función o resultado. En muchos casos, el término "aproximadamente" puede incluir números que se redondean a la cifra significativa más cercana.

Un atenuador de rayos gamma es un dispositivo que absorbe la energía de rayos gamma emitida por una muestra radiactiva. Cuando se coloca entre una fuente radiactiva y un detector, un atenuador de rayos gamma reduce la radiación gamma detectable en el lado opuesto a la fuente radiactiva. Un atenuador de rayos gamma de la presente divulgación se refiere a un manguito que comprende tres insertos metálicos con un número de protones decreciente instalado dentro del manguito, como se describe con más detalle a continuación. En funcionamiento, un atenuador de rayos gamma se coloca en relación con una muestra radiactiva de modo que el inserto metálico con el número de protones más bajo esté más cerca de la muestra radiactiva.

Un atenuador de rayos gamma de la presente divulgación está diseñado para ajustarse sobre una caja fuerte contra la radiación que está abierta por un extremo y puede utilizarse para contener una muestra radiactiva o un recipiente que comprende una muestra radiactiva. Cuando se montan juntos, un atenuador de rayos gamma y una caja fuerte contra la radiación comprenden "una protección contra rayos gamma" de la presente divulgación.

Un atenuador de rayos gamma de la presente divulgación y una caja fuerte contra la radiación de la presente divulgación son estructuralmente diferentes. En comparación con la composición de un atenuador de rayos gamma, la composición de una caja fuerte contra radiación proporciona una mayor reducción de los rayos gamma de todas las energías para reducir la exposición general del entorno local a la radiación gamma. En términos generales, la selección de la composición (por ejemplo, materiales de alta densidad y alto número atómico, como tungsteno, plomo, etc., como una aleación o como una composición pura) y el grosor de los materiales influyen en la atenuación lograda por un atenuador de rayos gamma o una caja fuerte contra la radiación. Si bien la protección y el atenuador de la presente divulgación se denominan "atenuador de rayos gamma" y "protección contra rayos gamma", un experto en la materia apreciará que otras energías de radiación también se reducirán si están presentes, por ejemplo, radiación alfa, beta y de rayos x.

Una protección contra rayos gamma de la presente divulgación puede comprender opcionalmente un recipiente adecuado para contener una composición de radionúclido. Los ejemplos no limitantes de recipientes adecuados incluyen viales, matraces y botellas de diversos tamaños y formas. En diversos ejemplos, una composición de radionúclido puede comprender uno o más radionúclidos usados en medicina nuclear y opcionalmente uno o más diluyentes. Los diluyentes adecuados para radionúclidos usados en medicina nuclear son bien conocidos en el estado de la técnica. Los radionúclidos usados en medicina nuclear incluyen, pero sin limitación, actinio, bismuto, boro, cesio, flúor, germanio, yodo, iridio, plomo, lutecio, molibdeno, paladio, fósforo, radio, samario, estroncio, renio, talio, tecnecio, xenón e itrio. En general, ninguna muestra de radionúclido es 100 % pura. Las muestras de radionúclidos contienen cierta cantidad de impurezas que surgen del proceso de producción y/o la desintegración del radioisótopo primario. La radiactividad total de todas las impurezas radionucleídicas en una muestra es igual a la radiactividad total de la muestra menos la radiactividad del radionúclido deseado. Como se reconoce en esta divulgación, es importante conocer no solo la radiactividad total de todas las impurezas radionucleídicas, sino también las cantidades de impurezas específicas.

En al menos un ejemplo, una composición de radionúclido comprende xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes. Los ejemplos no limitantes de diluyentes adecuados incluyen CO₂, aire y gas xenón portador. Las impurezas radionucleídicas comunes en las composiciones de xenón-133 incluyen, pero sin limitación, xenón-133m, xenón-131m, criptón-85, yodo-131, cesio-137, bario-140 y circonio-95. La cantidad de xenón-133 puede variar y variará. En algunos ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 2 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 200 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 400 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 800 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 1000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 2000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 4000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 10000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende al menos aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende de aproximadamente de 4000 a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende de aproximadamente de 4000 a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición de radionúclido comprende de aproximadamente 10.000 a aproximadamente 20.000 μCi de xenón-133. En cada uno de los ejemplos anteriores, las impurezas radionucleídicas totales en la composición pueden ser de aproximadamente el 5 % o menos, de aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos.

Un atenuador de rayos gamma o una protección contra rayos gamma de la presente divulgación es operable para su uso en espectroscopia de rayos gamma. La espectroscopia de rayos gamma es un procedimiento utilizado para la identificación de radionúclidos y/o la medición de la pureza de radionúclidos. Otro aspecto de la presente divulgación es un sistema que comprende una protección contra rayos gamma de la presente divulgación, comprendiendo además un recipiente en la cavidad de la caja fuerte, en donde el recipiente comprende una composición de radionúclido; y un sistema de espectroscopia gamma que comprende un detector de espectroscopia gamma. Un sistema de espectroscopia gamma puede comprender además al menos una fuente de alimentación; un clasificador de pulsos o analizador multicanal; al menos un amplificador; al menos un dispositivo de lectura de datos para generar, visualizar y almacenar el espectro o combinación de dispositivos para generar, visualizar y almacenar el espectro; al menos un medidor de velocidad, al menos un estabilizador de posición pico o cualquier combinación de los mismos. Los detectores de espectrometría gamma adecuados se conocen en el estado de la técnica. Los ejemplos no limitantes incluyen detectores de centelleo y detectores de germanio de alta pureza (HPGe).

La FIG.1 es un diagrama esquemático que representa un entorno en el que una protección contra rayos gamma de la presente divulgación que comprende una composición de radionúclido puede implementarse para su uso en espectroscopia de rayos gamma. La protección contra rayos gamma está alineada con un detector de rayos gamma, que está acoplado a una o más fuentes de alimentación. Uno o más componentes electrónicos también están acoplados al detector de rayos gamma y procesan señales producidas por el detector de rayos gamma. Los componentes electrónicos utilizados habitualmente en la espectroscopia de rayos gamma pueden incluir, pero sin limitación, un clasificador de pulsos o analizador multicanal, amplificadores asociados y dispositivos de lectura de datos (mostrados como 140) para generar, visualizar y almacenar el espectro, que pueden usarse en cualquier combinación. También se pueden usar otros dispositivos electrónicos, tales como medidores de velocidad y estabilizadores de posición pico. Los componentes electrónicos pueden incluir un procesador y una memoria no transitoria configurada para almacenar una o más instrucciones para su ejecución por parte del procesador. Pueden incluirse dispositivos de almacenamiento adicionales, tales como un dispositivo de almacenamiento de estado sólido, un disco duro y un dispositivo de memoria extraíble. Los dispositivos de lectura de datos pueden incluir uno o más dispositivos de visualización, tales como un monitor, un contador de una sola línea y una luz. Los dispositivos de lectura de datos también pueden incluir una impresora. También adicionalmente, los dispositivos de lectura de datos pueden incluir un altavoz que proporciona audio referente a los datos.

Aunque la FIG. 1 representa un entorno en el que se implementa una protección contra rayos gamma, en otros ejemplos no es necesario que un atenuador de rayos gamma se ajuste sobre una caja fuerte contra la radiación para tener utilidad. El diseño de una protección contra rayos gamma de la presente divulgación reduce los niveles de radiación gamma en todas las direcciones, reduciendo de este modo la exposición a la radiación del personal asociado, protegiendo el equipo en el entorno y simplificando los procedimientos de control de calidad. No obstante, en un entorno completamente automatizado u otras situaciones, puede no ser necesario el uso de un atenuador de rayos gamma de la presente divulgación con una caja fuerte contra la radiación.

En muchas aplicaciones, las mediciones necesarias para la identificación de radionúclidos y el análisis de la pureza de radionúclidos se pueden realizar más fácilmente si se pueden absorber rayos gamma de menor energía antes de que alcancen el detector de rayos gamma. La eliminación selectiva de rayos gamma de menor energía puede evitar pérdidas significativas relacionadas con el recuento en el detector y distorsión espectral, que de otro modo impactarían negativamente en la identificación y medición de radionúclidos en una muestra. La identificación de radionúclidos de Xe-133 y la determinación de la pureza radionucleídica en una muestra de Xe-133 se pueden usar para ilustrar este concepto.

Xe-133 se produce por fisión de uranio. Las impurezas comunes capturadas con Xe-133 incluyen, pero sin limitación, Kr-85, Xe-131m, Xe-133m, I-131, Cs-137, Ba-140 y Zr-95. La identificación de radionúclido de Xe-133 según la Farmacopea de EE. UU. actual es por ubicación de los picos de 31 keV (rayos X) y 81 keV (rayos gamma) en el espectro de energía recopilado. Sin embargo, cuando una composición que comprende Xe-133 está destinada a la medicina nuclear, también debe determinarse la pureza radionucleídica. El Xe-133 utilizado para medicina nuclear a menudo tiene requisitos de pureza estrictos. Por ejemplo, en las **tablas A y B** siguientes se proponen criterios de aceptación para la sustancia farmacéutica gaseosa Xe-133 y la sustancia farmacéutica gaseosa Xe-133.

Tabla A: Criterios de aceptación para pruebas a realizar para demostrar la calidad de una sustancia farmacéutica gaseosa de xenón Xe-133

	Prueba	Criterios de aceptación
1.	Aspecto	Gas incoloro claro
2.	Identificación de radionúclidos	Picos fotográficos principales a 81 keV y 31 keV (rayos X)
3.	Pureza radionucleídica	Mínimo 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual a 0,6 % de Xe-133m y menos de o igual a 1,0 % de Xe-131m. Todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 % con límites inferiores o iguales al 0,03 % de Kr-85, inferiores o iguales al 0,01 % de I-131 e inferiores o iguales al 0,06 % para todas las demás impurezas.

Tabla B: Criterios de aceptación para pruebas a realizar para demostrar la compatibilidad y/o estabilidad de un producto farmacéutico de gas xenón Xe-133

	Prueba	Criterios de aceptación
1.	Aspecto	Gas incoloro claro
2.	Radiactividad total del vial	85,0 % - 115,0 % del valor etiquetado.
3.	Identificación de radionúclidos	Picos fotográficos principales a 81 keV y 31 keV (rayos X)
4.	Pureza radionucleídica (en la calibración del producto final)	Mínimo 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m inferior o igual al 0,3 % y Xe-131m inferior o igual al 1,5 %. Todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 inferiores o iguales al 0,06 %, I-131 inferiores o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas inferiores o iguales al 0,03 %.

5 Un detector de rayos gamma adecuado para la identificación de Xe-133 y el análisis de pureza es un detector de HPGe, aunque también pueden usarse otros detectores conocidos en el estado de la técnica. Los detectores de HPGe son muy sensibles a los rayos x y rayos gamma en el intervalo de 3 keV a 1500 keV. El flujo de energías (concentración incidente de rayos x y gamma en el cristal de HPGe) en este intervalo debe ser relativamente bajo para evitar la saturación del cristal, que si no se evita conduce a la pérdida de precisión de medición y/o pérdida de linealidad de medición. Una cantidad típica de radiactividad no atenuada medida en un detector de HPGe a una distancia de 10 cm de la superficie del detector es de aproximadamente 2 - 10 microcurios (μCi) (74 KBq - 370 KBq). Para una muestra de Xe-133, más del 99,9 % de la radiactividad está a 81,0 keV e inferior. Sin embargo, la identificación de posibles impurezas radionucleídicas requiere la detección de picos de energía más altos, por ejemplo, Xe-131m a 163,9 keV, Xe-133m a 233,2 keV, Kr-85 a 514,0 keV, etc. Usando una cantidad típica de radiactividad no atenuada adecuada para radionúclidos identificación, no sería posible detectar todas las impurezas radionucleídicas que podrían encontrarse potencialmente en una composición de Xe-133 a niveles bajos. Para poder identificar e informar con precisión la radiactividad atribuible a estas impurezas a un límite de concentración de menos del 0,1 % (como puede ser necesario para su uso en medicina nuclear), deben medirse órdenes de magnitud de más de 2-10 μCi de radiactividad en un detector HPGe. Sin embargo, estas cantidades, si no están protegidas, saturarían el cristal y el detector dejaría de funcionar. Antes de la presente divulgación, la solución era preparar múltiples muestras para la identificación de radionúclidos y mediciones de pureza de radionúclidos.

25 Una protección contra rayos gamma de la presente divulgación proporciona muchas ventajas sobre el estado de la técnica. La caja fuerte de una protección contra rayos gamma divulgada en el presente documento reduce los rayos gamma de baja energía de la muestra, al tiempo que permite la transmisión al detector de las altas energías del producto Xe-133 (por ejemplo, picos de 302,85 keV y 383,85 keV) y de las impurezas radionucleídicas conocidas o potenciales (por ejemplo, Xe-131m a 163,9 keV, Xe-133m a 233,2 keV, Kr-85 a 514,0 keV, etc.). Una ventaja de la protección contra rayos gamma divulgada es que cantidades relativamente grandes de radiactividad (por ejemplo, al menos 400 μCi , al menos 500 μCi , al menos 1.000 μCi , al menos 2.000 μCi , al menos 4.000 μCi , al menos 10.000 μCi , al menos 20.000 μCi , al menos 40.000 μCi , al menos 60.000 μCi , al menos 80.000 μCi , al menos 100.000 μCi o más) se pueden medir con precisión, aumentando así la concentración de impurezas en la muestra que se está midiendo y haciendo más probable que las impurezas se detectarán y cuantificarán mediante procedimientos de control de calidad. Debido al diseño del atenuador de rayos gamma, otra ventaja es que se puede usar una única muestra tanto para la medición de pureza radionucleídica como para la identificación de radionúclidos. Esto agiliza el procedimiento de control de calidad eliminando al menos una etapa de preparación de muestras, reduciendo así la exposición a la radiación del personal asociado. Además, mientras que el paquete atenuador de rayos gamma del NIST del estado de la técnica no proporcionaba un blindaje completo porque solo se coloca entre la muestra radiactiva y el detector, la protección contra rayos gamma de la presente divulgación protege completamente la muestra radiactiva por todos los lados, reduciendo la exposición innecesaria y eliminando la necesidad de un blindaje secundario.

40 La FIG. 2 es una sección transversal isométrica parcial de un ejemplo de una protección contra rayos gamma 200 de la presente divulgación. Una protección contra rayos gamma 200 puede incluir un manguito 210, un inserto metálico 220, un inserto metálico 230, un inserto metálico 240, una caja fuerte contra radiación 250 y, opcionalmente, un recipiente 260. El atenuador de rayos gamma 202 de la protección contra rayos gamma 200 es el manguito 210, el inserto metálico 220, el inserto metálico 230 y el inserto metálico 240. El metal del inserto metálico 240 tiene un número de protones mayor que el metal del inserto metálico 230 y el metal del inserto metálico 230 tiene un número de protones mayor que el metal del inserto metálico 220. La protección contra rayos gamma 200 tiene un eje longitudinal 270 que define una dirección axial. Aunque no se representa en la FIG. 2, los insertos metálicos 220, 230 y 240 tienen cada uno al menos un orificio pasante formado a través de los mismos, de modo que cada inserto tiene el mismo número de orificios pasantes y el/los orificio(s) pasante(s) en cada inserto son operables para alinearse entre sí. El diámetro total de los orificios pasantes es directamente proporcional a la cantidad de rayos gamma de baja energía que alcanzan un detector de rayos gamma. En al menos un ejemplo, cada inserto 220, 230 y 240 tiene un único orificio pasante posicionado sustancialmente en el centro del inserto 220, 230 y 240. Puede

haber presentes orificios pasantes correspondientes opcionalmente en el manguito 210.

En el ejemplo ilustrado en la FIG. 2, el manguito 210, los insertos metálicos 220, 230 y 240 y la caja fuerte contra radiación 250 son todos sustancialmente cilíndricos. También se contemplan diseños alternativos siempre que el manguito 210 se ajuste sobre el extremo abierto 252 de la caja fuerte contra radiación 250; los insertos metálicos 220, 230 y 240 son operables para instalarse dentro de una abertura 212 formada por el manguito 210; y los bordes de los insertos metálicos 220, 230 y 240 se extienden cada uno al menos hasta la pared del manguito 210. Como ejemplo no limitante, el manguito 210, los insertos metálicos 220, 230 y 240 y la segunda caja fuerte contra radiación 250 pueden ser sustancialmente cuboides en lugar de sustancialmente cilíndricos. De manera similar, aunque el recipiente 260 se muestra como un vial, también se pueden usar otros recipientes adecuados siempre que el manguito 210 se ajuste sobre el extremo abierto 252 de la caja fuerte contra radiación 250 como se muestra. El recipiente 260 puede contener una composición de radionúclidos, en al menos un ejemplo una composición que comprende un radionúclido usado en medicina nuclear y opcionalmente uno o más diluyentes. Los radionúclidos usados en medicina nuclear se han descrito anteriormente. En al menos un ejemplo, una composición de radionúclido comprende xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes. Ejemplos no limitantes de composiciones de radionúclidos que comprenden xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes también se han descrito anteriormente.

La FIG. 3A y la FIG. 3B son fotografías de una protección contra rayos gamma 310 de la presente divulgación colocada sobre la superficie de un detector de HPGe 320. Las fotografías se toman mirando hacia el interior del blindaje de un detector de HPGe. Un accesorio de plataforma de plexiglás 330 se asienta sobre una plataforma de plexiglás 340, que retienen y centran colectivamente la protección contra rayos gamma 310 sobre la superficie de detector 320 durante la medición. La plataforma 340 se asienta en una depresión en la base de plataforma 350 y la base de plataforma 350 se asienta sobre la parte superior de la carcasa de preamplificador del detector. En la FIG. 3A, la protección contra rayos gamma 310 se coloca en el accesorio de plataforma 330 para la identificación de radionúclidos. En la FIG. 3B, la protección contra rayos gamma 310 se coloca en el accesorio de plataforma 330 para la medición de la pureza radionucleídica. La FIG. 3C es una fotografía del accesorio de plataforma 330 asentado en la plataforma 340, colocado sobre la superficie de un detector de HPGe 320 pero sin una protección contra rayos gamma 310. La FIG. 3D es una fotografía de la plataforma 340 colocada sobre la superficie de un detector de HPGe 320 pero sin la protección contra rayos gamma 310 y el accesorio de plataforma 330. La base de plataforma 350 y la plataforma 340 están diseñadas para descansar sobre la carcasa exterior del detector de modo que cuando el detector se mueve, la plataforma de muestras se mueve con el mismo, manteniendo así siempre una relación geométrica exacta con el detector. Esto, junto con el accesorio de plataforma 330, garantiza que la muestra siempre esté centrada sobre el centro axial de la superficie de detector 320 y que las mediciones sean consistentes. También son adecuados medios alternativos para retener y centrar la protección contra rayos gamma 310 sobre la superficie del detector 320.

En un ejemplo, la presente divulgación proporciona una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. La FIG. 4A es un diagrama de una protección contra rayos gamma 400 que comprende un atenuador de rayos gamma 470 que comprende un manguito 410, un inserto de cobre 420, un inserto de estaño 430 y un inserto de tungsteno 440; una caja fuerte de radiación 450; y un recipiente 460. Como se ha descrito anteriormente, el orden de los insertos 420, 430 y 440 es tal que el número de protones de los insertos metálicos aumenta a medida que los insertos están más cerca de la caja fuerte contra radiación 450. En el ejemplo ilustrado en la FIG. 4A, el manguito 410, el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430, el inserto de tungsteno 440 y la caja fuerte contra radiación 450 son todos sustancialmente cilíndricos. También se contemplan diseños alternativos siempre que el manguito 410 encaje sobre el extremo abierto de la caja fuerte 450; el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 sean operables para instalarse dentro de la abertura de manguito 410; y los bordes del inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 se extiendan cada uno al menos hasta la pared de manguito 210. Como un ejemplo no limitante, el manguito 410, el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430, el inserto de tungsteno 440 y la caja fuerte contra radiación 450 pueden ser sustancialmente cuboides en lugar de sustancialmente cilíndricos. De manera similar, aunque el recipiente 460 se muestra como un vial, también se pueden usar otros recipientes adecuados siempre que el manguito 410 se ajuste sobre el extremo abierto de la caja fuerte contra radiación 450 como se muestra. El recipiente 460 puede contener una composición de radionúclidos, en un ejemplo una composición que comprende un radionúclido usado en medicina nuclear y opcionalmente uno o más diluyentes. Los radionúclidos usados en medicina nuclear se han descrito anteriormente. En al menos un ejemplo, una composición de radionúclido comprende xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes. Ejemplos no limitantes de composiciones de radionúclidos que comprenden xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes también se han descrito anteriormente.

Pasando ahora a la FIG. 4B, el manguito 410 tiene una pared 412, un extremo distal 414 y un extremo proximal 416. El extremo distal 414 del manguito 410 está cerrado y el extremo proximal 416 del manguito 410 forma una abertura 418. En al menos un ejemplo, el extremo distal cerrado 414 del manguito está formado integralmente con la pared 412. La pared 412 tiene una altura, que se mide en la dirección axial del manguito 410, un grosor 413 que puede variar. En un ejemplo, la pared 412 tiene una altura de aproximadamente 4 milímetros a aproximadamente 16 milímetros y un grosor 413 de aproximadamente 0,5 milímetros a aproximadamente 5,0 milímetros. En otro ejemplo, la pared 412 tiene una altura 411 de aproximadamente 8 milímetros a aproximadamente 16 milímetros medido en la

dirección axial del manguito 410 y un grosor 413 de aproximadamente 1,0 milímetros a aproximadamente 2,0 milímetros. En otro ejemplo, la pared 412 tiene una altura 411 de aproximadamente 16,5 milímetros medido en la dirección axial del manguito 410 y un grosor 413 de aproximadamente 1,5 milímetros. En otro ejemplo, la pared 412 tiene una altura 411 de aproximadamente 16,25 milímetros medido en la dirección axial del manguito 410 y un grosor 413 de aproximadamente 1,60 milímetros. La abertura 418, que también puede denominarse el diámetro interior del manguito 410, es de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y, en un ejemplo, de aproximadamente 20 milímetros. El manguito 410 está compuesto por uno o más materiales naturales o sintéticos que no atenúan sustancialmente los rayos gamma, por ejemplo, materiales con una densidad que no es superior a la densidad del estaño. Los ejemplos no limitantes de materiales adecuados incluyen plásticos, cauchos, vidrio y combinaciones de los mismos. En al menos un ejemplo, el manguito 410 es de plástico. En al menos otro ejemplo, el manguito 410 es de caucho. El caucho puede ser un caucho natural o un caucho sintético.

Haciendo referencia ahora a la FIG. 4C, el inserto de cobre 420 está instalado dentro de la abertura 418 formada por el extremo proximal 416 del manguito 410, de modo que el inserto de cobre 420 se apoya sustancialmente en el extremo distal 414. El inserto de estaño 430 se instala dentro de la abertura 418 formada por el extremo proximal 416 del manguito 410, de modo que el inserto de estaño 430 hace tope sustancialmente con el inserto de cobre 420 en el lado opuesto al manguito 410. El inserto de tungsteno 440 se instala dentro de la abertura 418 formada por el extremo proximal 416 del manguito 410, de modo que el inserto de tungsteno 440 se apoya sustancialmente en el inserto de estaño 430 en el lado opuesto al inserto de cobre 420. El inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 se pueden instalar de tal manera que sean o no extraíbles después de la instalación. En funcionamiento, el inserto de tungsteno 440 está más cerca del recipiente 460, que puede contener una composición de radionúclido. Aunque en la FIG. 4A-D el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 se ilustran de tal manera que se apoyan sustancialmente entre sí, la distancia entre los insertos puede variar. De manera similar, el inserto de cobre 420 se ilustra de tal manera que hace tope sustancialmente con el extremo distal 414 del manguito 410, sin embargo, la distancia entre el extremo distal 414 también puede variar.

Todavía haciendo referencia a la FIG. 4C, los diámetros del inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 pueden variar y pueden tener el mismo diámetro que otro inserto o diferente (incluidos los ejemplos en los que todos los insertos son iguales o diferentes), siempre que los bordes de cada inserto se extiendan al menos hasta la pared 412 del manguito 410. El grosor de cada inserto, medido a lo largo de una dirección axial del manguito 410, puede ser sustancialmente uniforme. Como alternativa, el inserto de tungsteno 440 puede tener un grosor que es más delgado en un borde (grosor 445) que en un punto medio (grosor 447). En estos ejemplos, los dos grosores diferentes del inserto de tungsteno 440 producen un saliente 446; el saliente 446 descansa sobre la caja fuerte contra radiación 450 y el centro más grueso sobresale hacia la caja fuerte contra radiación 450.

En un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y un grosor 434 de aproximadamente 1,0 milímetros a aproximadamente 1,7 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y un grosor 447 de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 0,95 milímetros a aproximadamente 1,05 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 1,6 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 0,95 a aproximadamente 1,05 milímetros y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,5 milímetros a aproximadamente 1,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,0 milímetro; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,55 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,0 milímetro y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,5 milímetros. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,6 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,15 milímetros y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,02 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,57 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,02 milímetros y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,52 milímetros.

En otro ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 20 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y un grosor 434 de aproximadamente 1,0 milímetros a aproximadamente 1,7 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 15 milímetros a aproximadamente 25 milímetros y un grosor 447 de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,0 milímetro; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,55 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,0 milímetro y, opcionalmente, un grosor

445 de aproximadamente 0,5 milímetros. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,6 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,15 milímetros y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un grosor 424 de aproximadamente 1,02 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un grosor 434 de aproximadamente 1,57 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un grosor 447 de aproximadamente 1,02 milímetros y, opcionalmente, un grosor 445 de aproximadamente 0,52 milímetros.

En otro ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 20,00 milímetros a 20,50 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 20,00 milímetros a aproximadamente 20,50 mm y un grosor 434 de aproximadamente 1,6 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 20,00 milímetros a aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 445 de aproximadamente 0,5 milímetros y un grosor 447 de aproximadamente 1,0 milímetros, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410.

En otro ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 20,00 milímetros a 20,50 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 1,1 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 20,00 milímetros a aproximadamente 20,50 mm y un grosor 434 de aproximadamente 1,6 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 20,00 milímetros a aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 445 de aproximadamente 0,7 milímetros y un grosor 447 de aproximadamente 1,15 milímetros, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410.

En otro ejemplo, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 1,02 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 20,50 mm y un grosor 434 de aproximadamente 1,57 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 445 de aproximadamente 0,52 milímetros y un grosor 447 de aproximadamente 1,02 milímetros, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410.

Aunque no se representa en la FIG. 4, el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 tienen cada uno al menos un orificio pasante formado a través de los mismos, de modo que cada inserto tiene el mismo número de orificios pasantes y los orificios pasantes en cada inserto son operables para alinearse entre sí. El diámetro total de los orificios pasantes es directamente proporcional a la cantidad de rayos gamma de baja energía que alcanzan un detector de rayos gamma. En al menos un ejemplo, el diámetro total del orificio u orificios pasantes, para cada inserto, es de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros. En al menos un ejemplo, cada inserto 420, 430, 440 tiene un único orificio pasante posicionado sustancialmente en el centro del inserto 420, 430, 440 y el diámetro del orificio pasante es de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros. Aunque no es necesario, dado que el manguito 410 es de baja densidad y la radiación pasa fácilmente a través del manguito 410, los orificios pasantes correspondientes pueden estar presentes opcionalmente en el manguito 410.

Todavía haciendo referencia a la FIG. 4C, el inserto de cobre 420 tiene un diámetro 422 de aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 424 de aproximadamente 1,02 milímetros; el inserto de estaño 430 tiene un diámetro 432 de aproximadamente 20,50 mm y un grosor 434 de aproximadamente 1,57 milímetros; y el inserto de tungsteno 440 tiene un diámetro 442 de aproximadamente 20,50 milímetros y un grosor 445 de aproximadamente 0,52 milímetros en un borde y un grosor 447 de aproximadamente 1,02 milímetros en un punto medio, en donde el grosor de cada inserto se mide a lo largo de una dirección axial del manguito 410. Los diámetros del inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 pueden variar y no necesitan ser iguales, siempre que los bordes de cada inserto se extiendan al menos hasta la pared 412 del manguito 410. Los dos grosores diferentes del inserto de tungsteno 440 producen un saliente 446; el saliente 446 descansa sobre la caja fuerte contra radiación 450 y el centro más grueso sobresale hacia la caja fuerte contra radiación 450.

Aunque no se representa en la FIG. 4-D, el inserto de cobre 420, el inserto de estaño 430 y el inserto de tungsteno 440 tienen cada uno al menos un orificio pasante formado a través de los mismos, de modo que cada inserto tiene el mismo número de orificios pasantes y los orificios pasantes en cada inserto son operables para alinearse entre sí. El diámetro total de los orificios pasantes es directamente proporcional a la cantidad de rayos gamma de baja energía que alcanzan un detector de rayos gamma. En un ejemplo, el diámetro total del orificio u orificios pasantes, para cada inserto, es de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros. En otro ejemplo, el diámetro total del orificio u orificios pasantes, para cada inserto, es de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros. En al menos un ejemplo, cada inserto 420, 430, 440 tiene un único orificio pasante posicionado sustancialmente en el centro del inserto 420, 430, 440 y el diámetro del orificio pasante es de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros. Aunque no es necesario, dado que el manguito 410 es de baja densidad y la radiación pasa fácilmente a través del manguito 410, los orificios pasantes correspondientes pueden estar presentes opcionalmente en el manguito 410.

Pasando ahora a la FIG. 4D, la caja fuerte contra radiación 450 está compuesta de tungsteno. El tungsteno puede ser una aleación de tungsteno o tungsteno puro (lo que significa que tiene una densidad de 19 g/cm^3). En el ejemplo de tungsteno puro, la caja fuerte de radiación 450 tiene un blindaje más consistente que una aleación. La caja fuerte de radiación 450 tiene una pared 452, un extremo distal 454, un extremo proximal 456 y un pocillo 458. El extremo proximal 456 forma una abertura al pocillo 458; el pocillo 458 se extiende a lo largo de una dirección axial de la caja fuerte contra radiación 450 hasta el extremo distal 454; y el extremo distal 454 está cerrado. En al menos un ejemplo, el extremo distal cerrado 454 está formado integralmente con la pared 452. Como se representa, el extremo proximal 416 del manguito 410 encaja sobre el extremo proximal 456 de la caja fuerte 450. En un ejemplo, el manguito 410 se ajusta firmemente sobre la caja fuerte contra radiación 450 para evitar que el recipiente 460 se caiga cuando se invierte la caja fuerte contra radiación 450. El recipiente 460 es un vial de 2 ml que tiene una altura de 34,40 milímetros, aunque también se pueden usar recipientes alternativos (por ejemplo, una botella, un tarro, un matraz, etc. de diversos tamaños y formas), siempre que el recipiente con forma alternativa no altere el ajuste del manguito 410 sobre el extremo proximal 456 de la caja fuerte contra radiación 450.

La pared 452 tiene una altura 455, medida en la dirección axial de la caja fuerte contra radiación 450 y un grosor 453 que puede variar. En un ejemplo, la pared 452 tiene una altura 455 de aproximadamente 30 milímetros a aproximadamente 50 milímetros y un grosor 452 de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 4 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,5 milímetros a aproximadamente 3,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de 2,73 milímetros a 2,77 milímetros.

En otro ejemplo, la pared 452 tiene una altura 455 de aproximadamente 30 milímetros a aproximadamente 40 milímetros y un grosor 452 de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 4 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,5 milímetros a aproximadamente 3,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de 2,73 milímetros a 2,77 milímetros.

En otro ejemplo, la pared 452 tiene una altura 455 de aproximadamente 35 milímetros y un grosor 452 de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 4 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,5 milímetros a aproximadamente 3,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de 2,73 milímetros a 2,77 milímetros.

En otro ejemplo, la pared 452 tiene una altura 455 de aproximadamente 35 milímetros y un grosor 452 de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 4 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,5 milímetros a aproximadamente 3,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de 2,73 milímetros a 2,77 milímetros.

En otro ejemplo, la pared 452 tiene una altura 455 de aproximadamente 36,6 milímetros y un grosor 452 de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 4 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,5 milímetros a aproximadamente 3,0 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de aproximadamente 2,7 milímetros. En al menos un ejemplo, el grosor 452 es de 2,73 milímetros a 2,77 milímetros.

El pocillo 458 tiene un diámetro 457 que también puede variar. En un ejemplo, el pocillo 348 tiene un diámetro 457 de aproximadamente 5 milímetros a aproximadamente 20 milímetros. En al menos un ejemplo, el diámetro 457 es de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros. En al menos un ejemplo, el diámetro 457 es de aproximadamente 15 milímetros. En al menos un ejemplo, el diámetro 457 es de aproximadamente 14,5 milímetros. En al menos un ejemplo, el diámetro 457 es de 14,48 milímetros a 14,52 milímetros.

El extremo distal 454 tiene un grosor 451. El grosor 451 en el punto medio aproximado de la caja fuerte contra radiación es un aspecto importante de la caja fuerte contra radiación para la medición de impurezas radionucleídicas, ya que la caja fuerte debe proteger suficientemente el detector de las energías bajas que pueden saturar el detector y, sin embargo, permitir que pasen energías lo suficientemente altas para detectar con precisión e identificar impurezas a bajas concentraciones.

En un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor 451 de aproximadamente 0,7 milímetros a aproximadamente 1,3 milímetros. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor promedio 451 de aproximadamente 0,9 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de aproximadamente 1 milímetro. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor promedio 451 de aproximadamente 0,9 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de aproximadamente 1 milímetro. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor

promedio 451 de aproximadamente 0,93 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de 1,00 milímetros a 1,02 milímetros.

5 En otro ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor 451 de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor promedio 451 de aproximadamente 0,9 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de aproximadamente 1 milímetro. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor promedio 451 de aproximadamente 0,9 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de aproximadamente 1 milímetro. En al menos un ejemplo, el extremo distal 454 tiene un grosor promedio 451 de aproximadamente 0,93 milímetros y, opcionalmente, un grosor medido en el punto medio de caja fuerte contra radiación 460 de 1,00 milímetros a 1,02 milímetros.

15 En otro ejemplo, la presente divulgación proporciona un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. Un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4, como se usa en el presente documento, se refiere a una protección contra rayos gamma que se ha modificado de una manera que no altera sustancialmente la capacidad de funcionamiento de la protección contra rayos gamma para su uso en la identificación de Xe-133 y las mediciones de impurezas radionucleídicas, en particular la capacidad de detectar impurezas radionucleídicas que pueden estar presentes al 0,01 %. Ciertas dimensiones de la protección contra rayos gamma 400 pueden variar sin alterar sustancialmente su capacidad de funcionamiento. Por ejemplo, para acomodar recipientes más estrechos o más anchos, el diámetro 457 del pocillo 458 puede disminuirse o aumentarse, respectivamente. En consecuencia, el diámetro 418 del manguito 410 también necesitará ajustarse de manera similar y el diámetro 422 del inserto de cobre 420, el diámetro 432 del inserto de estaño 430 y el diámetro 442 del inserto de tungsteno 420 también pueden necesitar un ajuste. De manera similar, la altura 455 de la pared 452 de la caja fuerte 450 puede ajustarse (más pequeña o más grande) para acomodar recipientes más cortos o más altos. La altura 411 de la pared 412 del manguito 410 se puede ajustar independientemente (más pequeña o más grande) para proporcionar un ajuste adecuado sobre la caja fuerte según sea necesario para diferentes materiales y/o para minimizar el coste.

30 La FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo para la identificación de radionúclidos. Haciendo referencia a la FIG. 5, se presenta un diagrama de flujo de acuerdo con un ejemplo. El procedimiento 500 de ejemplo se proporciona a modo de ejemplo, ya que hay una diversidad de formas de llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento 500 descrito a continuación se puede llevar a cabo usando las configuraciones ilustradas en las FIGS. 1-4, por ejemplo, y se hace referencia a diversos elementos de estas figuras para explicar el procedimiento 500 de ejemplo. Cada bloque mostrado en la FIG. 5 representa uno o más procesos, métodos o subrutinas, llevados a cabo en el procedimiento 500 de ejemplo. Además, el orden ilustrado de bloques es únicamente ilustrativo y el orden de los bloques puede cambiar de acuerdo con la presente divulgación. Se pueden añadir bloques adicionales o se pueden utilizar menos bloques, sin apartarse de esta divulgación. El procedimiento 500 de ejemplo puede comenzar en el bloque 502.

40 En el bloque 502, el procedimiento incluye proporcionar un recipiente que comprende una composición que comprende Xe-133 y, opcionalmente, uno o más diluyentes y, en al menos un ejemplo, teniendo la composición una cantidad conocida de radiactividad. En algunos ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 2 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 200 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 400 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 800 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 1.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 2.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 40.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 60.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 100.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 100.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 60.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 40.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 10.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En cada uno de los ejemplos anteriores, la impureza radionucleídica en la composición puede ser de aproximadamente el 5 % o menos, de

aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos. En al menos uno de los ejemplos anteriores, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual al 0,6 % de Xe-133m y menos del o igual al 1,0 % de Xe-131m y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualesquiera otras) no pueden superar el 0,1 % con límites de menos del o iguales al 0,03 % de Kr-85, menos del o igual al 0,01 % de I-131 y menos del o igual al 0,06 % para todas las demás impurezas. En otro ejemplo, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m menor o igual que 0,3 % y Xe-131m menor o igual que 1,5 % y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 de menos de o iguales al 0,06 %, de I-131 de menos de o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas de menos de o iguales al 0,03 %.

En el bloque 504, el procedimiento incluye colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma de la presente divulgación. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 506, el procedimiento incluye colocar la protección contra rayos gamma en relación con un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGc. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma se coloca de tal manera que el extremo distal del atenuador de rayos gamma de la protección contra rayos gamma está a una distancia adecuada de la superficie de un detector de espectrometría gamma. La distancia entre el extremo distal del atenuador de rayos gamma y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. Como ejemplo no limitante, la distancia puede ser de aproximadamente 10 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 4.000 µCi a aproximadamente 20.000 µCi de radiactividad total; de aproximadamente 20 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 10.000 µCi a aproximadamente 80.000 µCi de radiactividad total, o de aproximadamente 20.000 µCi a aproximadamente 80.000 µCi de radiactividad total; o de aproximadamente 25 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 40.000 µCi a aproximadamente 80.000 µCi de radiactividad total, o de aproximadamente 60.000 µCi a aproximadamente 100.000 µCi de radiactividad total.

En el bloque 508, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, el recuento se produce hasta que los picos gamma del espectro a 31 keV y 81 keV están significativamente por encima del fondo. "Significativamente por encima del fondo" puede ser 3 desviaciones estándar por encima del fondo. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar.

En el bloque 510, el procedimiento incluye identificar Xe-133. En al menos un ejemplo, la identificación de Xe-133 se realiza analizando fotopicos principales a aproximadamente 31,0 keV y aproximadamente 81,0 keV. En al menos un ejemplo, estos picos deberían encontrarse dentro de aproximadamente 1,0 keV de estas energías.

La FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo para la identificación de radionúclidos. Haciendo referencia a la FIG. 6, se presenta un diagrama de flujo de acuerdo con un ejemplo. El procedimiento 600 de ejemplo se proporciona a modo de ejemplo, ya que hay una diversidad de formas de llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento 600 descrito a continuación se puede llevar a cabo usando las configuraciones ilustradas en las FIGS. 1-4, por ejemplo, y se hace referencia a diversos elementos de estas figuras para explicar el procedimiento 600 de ejemplo. Cada bloque mostrado en la FIG. 6 representa uno o más procesos, métodos o subrutinas, llevados a cabo en el procedimiento 600 de ejemplo. Además, el orden ilustrado de bloques es únicamente ilustrativo y el orden de los bloques puede cambiar de acuerdo con la presente divulgación. Se pueden añadir bloques adicionales o se pueden utilizar menos bloques, sin apartarse de esta divulgación. El procedimiento 600 de ejemplo puede comenzar en el bloque 602.

En el bloque 602, el procedimiento incluye proporcionar un recipiente que comprende una composición que comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes, en donde la composición tiene al menos aproximadamente 4.000 µCi de radiactividad total. En algunos ejemplos, la composición puede comprender de aproximadamente 4.000 µCi a aproximadamente 10.000 µCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender de aproximadamente 4.000 µCi a aproximadamente 10.000 µCi de radiactividad total o de aproximadamente 10.000 a aproximadamente 20.000 µCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 4.000 µCi, aproximadamente 5.000 µCi, aproximadamente 6.000 µCi, aproximadamente 7.000 µCi o aproximadamente 8.000 µCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 9.000 µCi, aproximadamente 10.000 µCi, aproximadamente 11.000 µCi, aproximadamente 12.000 µCi o aproximadamente 13.000 µCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 14.000 µCi, aproximadamente 15.000 µCi, aproximadamente 16.000 µCi, aproximadamente 17.000 µCi o aproximadamente 18.000 µCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 19.000 µCi, aproximadamente 20.000 µCi o más de

aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En cada uno de los ejemplos anteriores, la impureza radionucleídica en la composición puede ser de aproximadamente el 5 % o menos, de aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos. En al menos uno de los ejemplos anteriores, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual al 0,6 % de Xe-133m y menos de o igual al 1,0 % de Xe-131m y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 % con límites de menos de o iguales al 0,03 % de Kr-85, de menos de o igual al 0,01 % de I-131 y de menos de o igual al 0,06 % para todas las demás impurezas. En otro ejemplo, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m menor o igual que 0,3 % y Xe-131m menor o igual que 1,5 % y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 de menos de o iguales al 0,06 %, de I-131 de menos de o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas de menos de o iguales al 0,03 %.

En el bloque 604, el procedimiento incluye colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma de la presente divulgación. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 606, el procedimiento incluye colocar el extremo distal del atenuador de rayos gamma de la protección contra rayos gamma en relación con un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGe. La distancia entre el extremo distal de la caja fuerte de radiación y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. En un ejemplo, una distancia adecuada entre la superficie de un detector de HPGe y el extremo distal de un atenuador de rayos gamma de la FIG. 4 es de aproximadamente 10 cm. La distancia puede disminuirse según sea necesario si una composición comprende menos de aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total y aumentarse si una composición comprende más de aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. La distancia puede ajustarse de manera similar si una protección contra rayos gamma proporciona menos atenuación que la protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 608, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, el recuento se produce hasta que los picos gamma del espectro a 31 keV y 81 keV están significativamente por encima del fondo. "Significativamente por encima del fondo" puede ser 3 desviaciones estándar por encima del fondo. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. La cantidad de tiempo predeterminada para una composición que comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total puede ser de al menos aproximadamente 5 minutos, al menos aproximadamente 10 minutos o al menos aproximadamente 15 minutos o más. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar. El número predeterminado de recuentos para una composición que comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total puede ser de aproximadamente 500, aproximadamente 1.000 o más.

En el bloque 610, el procedimiento incluye identificar Xe-133. En al menos un ejemplo, la identificación de Xe-133 se realiza analizando fotopicos principales a aproximadamente 31,0 keV y aproximadamente 81,0 keV. En al menos un ejemplo, estos picos deberían encontrarse dentro de aproximadamente 1,0 keV de estas energías.

La FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo para la medición de pureza radionucleídica. Haciendo referencia a la FIG. 7, se presenta un diagrama de flujo de acuerdo con un ejemplo. El procedimiento 700 de ejemplo se proporciona a modo de ejemplo, ya que hay una diversidad de formas de llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento 700 descrito a continuación se puede llevar a cabo usando las configuraciones ilustradas en las FIGS. 1-4, por ejemplo, y se hace referencia a diversos elementos de estas figuras para explicar el procedimiento 700 de ejemplo. Cada bloque mostrado en la FIG. 7 representa uno o más procesos, métodos o subrutinas, llevados a cabo en el procedimiento 700 de ejemplo. Además, el orden ilustrado de bloques es únicamente ilustrativo y el orden de los bloques puede cambiar de acuerdo con la presente divulgación. Se pueden añadir bloques adicionales o se pueden utilizar menos bloques, sin apartarse de esta divulgación. El procedimiento 700 de ejemplo puede comenzar en el bloque 702.

En el bloque 702, el procedimiento incluye proporcionar un recipiente que comprende una composición con una cantidad conocida de radiactividad y, en al menos un ejemplo, la composición comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes. En algunos ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 2 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 200 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 400 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 800 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 1.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 2.000 μCi de radiactividad total.

radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 40.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 60.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende al menos aproximadamente 100.000 μCi a aproximadamente 100.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 60.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 40.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 20.000 μCi a aproximadamente 60.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 40.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 60.000 a aproximadamente 100.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 10.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En cada uno de los ejemplos anteriores, la impureza radionucleídica en la composición puede ser de aproximadamente el 5 % o menos, de aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos. En al menos uno de los ejemplos anteriores, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133 , Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual al 0,6 % de Xe-133m y menos del o igual al 1,0 % de Xe-131m y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85 , I-131 y cualesquiera otras) no pueden superar el 0,1 % con límites de menos del o iguales al 0,03 % de Kr-85 , menos del o igual al 0,01 % de I-131 y menos del o igual al 0,06 % para todas las demás impurezas. En otro ejemplo, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133 , Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m menor o igual que 0,3 % y Xe-131m menor o igual que 1,5 % y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85 , I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 de menos de o iguales al 0,06 %, de I-131 de menos de o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas de menos de o iguales al 0,03 %.

En el bloque 704, el procedimiento incluye colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma de la presente divulgación. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 706, el procedimiento incluye colocar la protección contra rayos gamma en relación con un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGe. En una realización, la protección contra rayos gamma se coloca de tal manera que el extremo distal de la caja fuerte contra radiación de la protección contra rayos gamma está a una distancia adecuada de la superficie de un detector de espectrometría gamma. La distancia entre el extremo distal de la caja fuerte de radiación y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. Como ejemplo no limitante, la distancia puede ser de aproximadamente 10 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total; de aproximadamente 20 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 10.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total, o de aproximadamente 20.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total; o de aproximadamente 25 cm cuando una composición comprende de aproximadamente 40.000 μCi a aproximadamente 80.000 μCi de radiactividad total, o de aproximadamente 60.000 μCi a aproximadamente 100.000 μCi de radiactividad total.

En el bloque 708, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, el recuento se produce hasta que los picos gamma del espectro están significativamente por encima del fondo. "Significativamente por encima del fondo" puede ser 3 desviaciones estándar por encima del fondo. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar.

En el bloque 710, el procedimiento incluye identificar impurezas radionucleídicas por sus energías gamma conocidas.

En el bloque 712, el procedimiento incluye calcular una medición de pureza radionucleídica. En al menos un ejemplo, la pureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad

del radionúclido deseado con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para todas las impurezas radionucleídicas con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para una impureza radionucleídica específica, o un subconjunto de impurezas radionucleídicas, con respecto a la radiactividad total de la composición. En un ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 o I-131. En otro ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Kr-85, Xe-131m, Xe-133m, I-131, Cs-137, Ba-140 o Zr-95. En un ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas de radioxenón detectadas. En otro ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo las impurezas de radioxenón. En otro ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 e I-131.

La FIG. 8 ilustra un diagrama de flujo para la medición de pureza radionucleídica. Haciendo referencia a la FIG. 8, se presenta un diagrama de flujo de acuerdo con un ejemplo. El procedimiento 800 de ejemplo se proporciona a modo de ejemplo, ya que hay una diversidad de formas de llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento 800 descrito a continuación se puede llevar a cabo usando las configuraciones ilustradas en las FIGS. 1-4, por ejemplo, y se hace referencia a diversos elementos de estas figuras para explicar el procedimiento 800 de ejemplo. Cada bloque mostrado en la FIG. 8 representa uno o más procesos, métodos o subrutinas, llevados a cabo en el procedimiento 800 de ejemplo. Además, el orden ilustrado de bloques es únicamente ilustrativo y el orden de los bloques puede cambiar de acuerdo con la presente divulgación. Se pueden añadir bloques adicionales o se pueden utilizar menos bloques, sin apartarse de esta divulgación. El procedimiento 800 de ejemplo puede comenzar en el bloque 802.

En el bloque 802, el procedimiento incluye proporcionar un recipiente que comprende una composición con aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total y en al menos un ejemplo la composición comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes. En algunos ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 4.000 a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, una composición comprende de aproximadamente 10.000 a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En cada uno de los ejemplos anteriores, la impureza radionucleídica en la composición puede ser de aproximadamente el 5 % o menos, de aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos. En al menos uno de los ejemplos anteriores, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual al 0,6 % de Xe-133m y menos del o igual al 1,0 % de Xe-131m y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualesquiera otras) no pueden superar el 0,1 % con límites de menos del o iguales al 0,03 % de Kr-85, menos del o igual al 0,01 % de I-131 y menos del o igual al 0,06 % para todas las demás impurezas. En otro ejemplo, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m menor o igual que 0,3 % y Xe-131m menor o igual que 1,5 % y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 de menos de o iguales al 0,06 %, de I-131 de menos de o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas de menos de o iguales al 0,03 %.

En el bloque 804, el procedimiento incluye colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma de la presente divulgación. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 806, el procedimiento incluye colocar el extremo distal de la caja fuerte contra radiación de la protección contra rayos gamma con respecto a un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGe. La distancia entre el extremo distal de la caja fuerte de radiación y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. En un ejemplo, una distancia adecuada entre la superficie de un detector de HPGe y el extremo distal de una protección contra radiación de la FIG. 4 es de aproximadamente 10 cm. La distancia puede disminuirse según sea necesario si una composición comprende menos de aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total y aumentarse si una composición comprende más de aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. La distancia puede ajustarse de manera similar si una protección contra rayos gamma proporciona menos o más atenuación que la protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 808, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, el recuento se produce hasta que los picos gamma del espectro están significativamente por encima del fondo. "Significativamente por encima del fondo" puede ser 3 desviaciones estándar por encima del fondo. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. La cantidad de tiempo predeterminada para una composición que comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total puede ser de al menos aproximadamente 20 minutos, al menos aproximadamente 30 minutos, al menos

aproximadamente 45 minutos, al menos aproximadamente 60 minutos o más. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar.

- 5 En el bloque 810, el procedimiento incluye identificar impurezas radionucleídicas por sus energías gamma conocidas.

En el bloque 812, el procedimiento incluye calcular una medición de pureza radionucleídica. En al menos un ejemplo, la pureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad del radionúclido deseado con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para todas las impurezas radionucleídicas con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para una impureza radionucleídica específica, o un subconjunto de impurezas radionucleídicas, con respecto a la radiactividad total de la composición. En un ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 o I-131. En otro ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Kr-85, Xe-131m, Xe-133m, I-131, Cs-137, Ba-140 o Zr-95. En un ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas de radioxenón detectadas. En otro ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo las impurezas de radioxenón. En otro ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 e I-131.

La FIG. 9 ilustra un diagrama de flujo para la identificación de radionúclidos y la medición de pureza de radionúclidos usando una única muestra. Haciendo referencia a la FIG. 9, se presenta un diagrama de flujo de acuerdo con un ejemplo. El procedimiento 900 de ejemplo se proporciona a modo de ejemplo, ya que hay una diversidad de formas de llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento 900 descrito a continuación se puede llevar a cabo usando las configuraciones ilustradas en las FIGS. 1-4, por ejemplo, y se hace referencia a diversos elementos de estas figuras para explicar el procedimiento 900 de ejemplo. Cada bloque mostrado en la FIG. 9 representa uno o más procesos, métodos o subrutinas, llevados a cabo en el procedimiento 900 de ejemplo. Además, el orden ilustrado de bloques es únicamente ilustrativo y el orden de los bloques puede cambiar de acuerdo con la presente divulgación. En particular, aunque el procedimiento 900 ilustra la realización de la identificación de radionúclidos antes de la medición de pureza radionucleídica, la medición de pureza radionucleídica puede tener lugar primero. Se pueden añadir bloques adicionales o se pueden utilizar menos bloques, sin apartarse de esta divulgación. El procedimiento 900 de ejemplo puede comenzar en el bloque 902.

En el bloque 902, el procedimiento incluye proporcionar un recipiente que comprende una composición que comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes, en donde la composición tiene al menos aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total. En algunos ejemplos, la composición puede comprender de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 10.000 μCi de radiactividad total o de aproximadamente 10.000 a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 4.000 μCi , aproximadamente 5.000 μCi , aproximadamente 6.000 μCi , aproximadamente 7.000 μCi o aproximadamente 8.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 9.000 μCi , aproximadamente 10.000 μCi , aproximadamente 11.000 μCi , aproximadamente 12.000 μCi o aproximadamente 13.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 14.000 μCi , aproximadamente 15.000 μCi , aproximadamente 16.000 μCi , aproximadamente 17.000 μCi o aproximadamente 18.000 μCi de radiactividad total. En otros ejemplos, la composición puede comprender aproximadamente 19.000 μCi , aproximadamente 20.000 μCi o más de aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. En cada uno de los ejemplos anteriores, la impureza radionucleídica en la composición puede ser de aproximadamente el 5 % o menos, de aproximadamente el 1 % o menos, de aproximadamente el 0,5 % o menos o de aproximadamente el 0,1 % o menos. En al menos uno de los ejemplos anteriores, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con menos de o igual al 0,6 % de Xe-133m y menos de o igual al 1,0 % de Xe-131m y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 % con límites de menos de o iguales al 0,03 % de Kr-85, de menos de o igual al 0,01 % de I-131 y de menos de o igual al 0,06 % para todas las demás impurezas. En otro ejemplo, una composición comprende (a) un mínimo del 99,9 % como radioxenones (Xe-133, Xe-133m y Xe-131m) con Xe-133m menor o igual que 0,3 % y Xe-131m menor o igual que 1,5 % y (b) todas las impurezas radiactivas detectadas (Kr-85, I-131 y cualquier otra) no pueden superar el 0,1 %, con limitaciones de Kr-85 de menos de o iguales al 0,06 %, de I-131 de menos de o iguales al 0,01 % y todas las demás impurezas de menos de o iguales al 0,03 %.

En el bloque 904, el procedimiento incluye colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma de la presente divulgación. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es una protección contra rayos gamma de la FIG. 4. En al menos un ejemplo, la protección contra rayos gamma es un equivalente de una protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 906, el procedimiento incluye colocar el extremo distal del atenuador de rayos gamma de la protección contra rayos gamma en relación con un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGe. La distancia entre el extremo distal de la caja fuerte de radiación y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. En un ejemplo, una distancia adecuada entre la superficie de un detector de HPGe y el extremo distal de un atenuador de rayos gamma de la FIG. 4 es de aproximadamente 10 cm. La distancia puede disminuirse según sea necesario si una composición comprende menos de aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total y aumentarse si una composición comprende más de aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. La distancia puede ajustarse de manera similar si una protección contra rayos gamma proporciona menos atenuación que la protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 908, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, el recuento se produce hasta que los picos gamma del espectro están significativamente por encima del fondo. "Significativamente por encima del fondo" puede ser 3 desviaciones estándar por encima del fondo. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. La cantidad de tiempo predeterminada para una composición que comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total puede ser de al menos aproximadamente 5 minutos, al menos aproximadamente 10 minutos, al menos aproximadamente 15 minutos o más. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar.

En el bloque 910, el procedimiento incluye identificar Xe-133. En al menos un ejemplo, la identificación de Xe-133 se realiza analizando fotopicos principales a aproximadamente 31,0 keV y aproximadamente 81,0 keV. En al menos un ejemplo, estos picos deberían encontrarse dentro de aproximadamente 1,0 keV de estas energías.

En el bloque 912, el procedimiento incluye colocar el extremo distal de una caja fuerte contra radiación de una protección contra rayos gamma con respecto a un detector de espectrometría de rayos gamma. Los ejemplos no limitantes de detectores de espectrometría de rayos gamma adecuados incluyen detectores de centelleo y detectores de HPGe. La distancia entre el extremo distal de la caja fuerte de radiación y la superficie del detector de espectrometría gamma puede variar dependiendo de la cantidad de radiación que alcance la superficie del detector. En un ejemplo, una distancia adecuada entre la superficie de un detector de HPGe y el extremo distal de una protección contra radiación de la FIG. 4 es de aproximadamente 10 cm. La distancia puede disminuirse según sea necesario si una composición comprende menos de aproximadamente 4.000 μCi de radiactividad total y aumentarse si una composición comprende más de aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total. La distancia puede ajustarse de manera similar si una protección contra rayos gamma proporciona menos o más atenuación que la protección contra rayos gamma de la FIG. 4.

En el bloque 914, el procedimiento incluye contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente. El procedimiento puede incluir contar la radiactividad emitida desde la muestra durante una cantidad de tiempo suficiente o hasta que se obtenga un número suficiente de recuentos. En un ejemplo, la cantidad de tiempo suficiente puede ser una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo predeterminada puede ser de acuerdo con un estándar. La cantidad de tiempo predeterminada para una composición que comprende de aproximadamente 4.000 μCi a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total puede ser de al menos aproximadamente 20 minutos, al menos aproximadamente 30 minutos, al menos aproximadamente 45 minutos, al menos aproximadamente 60 minutos o más. En un ejemplo, la cantidad suficiente de recuentos puede ser un número predeterminado de recuentos. El número predeterminado de recuentos puede ser de acuerdo con un estándar.

En el bloque 916, el procedimiento incluye identificar impurezas radionucleídicas por sus energías gamma conocidas.

En el bloque 918, el procedimiento incluye calcular una medición de pureza radionucleídica. En al menos un ejemplo, la pureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad del radionúclido deseado con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para todas las impurezas radionucleídicas con respecto a la radiactividad total de la composición. En al menos un ejemplo, la impureza radionucleídica se calcula como la relación, expresada como un porcentaje, de la radiactividad total para una impureza radionucleídica específica, o un subconjunto de impurezas radionucleídicas, con respecto a la radiactividad total de la composición. En un ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 o I-131. En otro ejemplo, la impureza radionucleídica específica puede ser Kr-85, Xe-131m, Xe-133m, I-131, Cs-137, Ba-140 o Zr-95. En un ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas de radioxenón detectadas. En otro ejemplo, el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo las impurezas de radioxenón. En otro ejemplo,

el subconjunto de impurezas radionucleídicas puede incluir todas las impurezas radiactivas detectadas excluyendo Xe-133m, Xe-131m, Kr-85 e I-131.

5 La FIG. 10 es una vista en sección transversal esquemática de una plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. El accesorio de plataforma de plexiglás extraíble 1030 se asienta sobre la plataforma de plexiglás 1040. En este ejemplo, el accesorio de plataforma de plexiglás 1030 tiene dos piezas, cada una de aproximadamente 6,35 mm de grosor; y la plataforma de plexiglás 1040 es un tubo de plexiglás hueco con un diámetro exterior de aproximadamente 89 mm, un diámetro interior de aproximadamente 83 mm y una pared de aproximadamente 3,2 mm. La plataforma de plexiglás 1040 se asienta en una depresión en la base de plataforma 1050. En este ejemplo, la base de plataforma 1050 es un anillo Delron que tiene un orificio central ajustable de aproximadamente 76 mm a aproximadamente 77 mm y un grosor de aproximadamente 17 mm. La depresión en la base de plataforma 1050 es de aproximadamente 2 mm y la depresión tiene un diámetro de aproximadamente 90 mm. La base de plataforma 1050 se asienta sobre la parte superior de la carcasa de preamplificador de detector 1060. En este ejemplo, la altura de la carcasa de preamplificador 1060 es de 128 mm. La tapa de extremo de carcasa de detector 1070 se extiende hacia el interior de la plataforma de plexiglás 1040. En este ejemplo, la altura de la tapa de extremo de carcasa 1070 es de 108 mm. Como se ilustra, una plataforma de detector de rayos gamma puede configurarse para mantener el detector a una distancia predeterminada de la muestra. En este ejemplo, la distancia desde la superficie de la plataforma de plexiglás 1040 hasta la ventana de la tapa de extremo del detector es de 100 mm (98 mm + 2,0 mm).

20 La FIG. 11 es una vista en sección transversal parcial esquemática de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. La base de plataforma de detector de rayos gamma puede ser una parte de la plataforma de detector de rayos gamma de la FIG. 10.

25 La FIG. 12A es una imagen de una vista inferior de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. La parte inferior de la base de plataforma del detector de rayos gamma está configurada para ser sustancialmente plana, de modo que pueda descansar sobre una superficie.

30 La FIG. 12B es una imagen de una vista en alzado lateral de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. Como se ilustra en la FIG. 12B, la base de la plataforma del detector de rayos gamma incluye un elemento de sujeción. El elemento de sujeción como se ilustra puede ser un tornillo o perno. El elemento de sujeción puede permitir que la plataforma del detector de rayos gamma se asegure y ajuste.

35 La FIG. 12C es una imagen de otra vista en alzado lateral de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. Como se ilustra en la FIG. 12C, el elemento de sujeción es un perno y una tuerca.

40 La FIG. 12D es una imagen de la vista superior de una base de plataforma de detector de rayos gamma de acuerdo con la presente divulgación. Como se ilustra en la FIG. 12D, la plataforma de detector de rayos gamma puede incluir un rebaje que se forma en la misma. El rebaje puede tener la forma de una ranura que está configurada para recibir la plataforma como se ilustra adicionalmente en la FIG. 11.

Ejemplos

45 Los siguientes ejemplos se incluyen para demostrar ejemplos preferentes de la divulgación. Debería ser apreciado por los expertos en la materia que las técnicas divulgadas en los ejemplos que siguen representan técnicas descubiertas por los inventores para funcionar bien en la práctica de la divulgación. Los expertos en la materia deberían, sin embargo, a la luz de la presente divulgación, apreciar que se pueden realizar cambios en los ejemplos específicos que se divulgan y aún obtener un resultado igual o similar sin apartarse del espíritu y alcance de la divulgación. Por lo tanto, toda la materia expuesta o mostrada en los dibujos adjuntos debe interpretarse como ilustrativa y no en un sentido limitante.

Ejemplo 1

55 La identificación de radionúclidos se realizó usando un detector de germanio de alta pureza de rango extendido Canberra acoplado con un analizador multicanal DSA1000. Se obtuvo una protección contra rayos gamma de la FIG. 4, un accesorio de plataforma de muestras y una muestra de Xe-133 de 4-20 mCi de radiactividad total. Un accesorio de plataforma de muestras se coloca sobre la superficie de la plataforma de muestras (FIG. 3D). La muestra de Xe-133 se coloca en la caja fuerte de tungsteno y el atenuador de rayos gamma se ajusta sobre la caja fuerte (FIG. 3C). La protección contra rayos gamma se coloca en la plataforma de muestras del detector gamma de tal manera que el atenuador de rayos gamma encaje en el orificio central del accesorio de plataforma (FIG. 3A). La muestra se cuenta durante un mínimo de 500 segundos y se analiza usando el software Apex Gamma (Canberra). La identificación de Xe-133 se confirma por sus fotopicos principales a 31,0 y 81,0 keV.

65 Ejemplo 2

La pureza radionucleídica se midió usando un detector de germanio de alta pureza de rango extendido de Canberra acoplado con un analizador multicanal DSA1000. Se obtuvo una protección contra rayos gamma de la FIG. 4, un accesorio de plataforma de muestras y una muestra de Xe-133 de 4-20 mCi de radiactividad total. Un accesorio de plataforma de muestras se coloca sobre la superficie de la plataforma de muestras (FIG. 3D). La muestra de Xe-133 se coloca en la caja fuerte de tungsteno y el atenuador de rayos gamma se ajusta sobre la caja fuerte (FIG. 3C). La protección contra rayos gamma se coloca en la plataforma de muestras del detector gamma de manera que el fondo de la caja fuerte descansa directamente sobre la superficie de la plataforma de muestras (FIG. 3B). La muestra se cuenta durante un mínimo de 1800 segundos y se analiza usando el software Apex Gamma (Canberra). Si se detecta alguna impureza gamma, incluyendo Xe-131m o Xe-133m, se calcula el porcentaje de cada impureza de la siguiente manera: % de impureza = (impureza de radionúclido $\mu\text{Ci/vial}$ / actividad de vial de recuento mCi/vial) x (1 $\text{mCi}/1000 \mu\text{Ci}$) x 100%.

Ejemplo 3

La identificación de radionúclidos se realizó usando un detector de germanio de alta pureza de rango extendido Canberra acoplado con un analizador multicanal DSA1000. Se obtuvo una protección contra rayos gamma de la FIG. 4, un accesorio de plataforma de muestras y una muestra de Xe-133 de 4-20 mCi de radiactividad total. Un accesorio de plataforma de muestras se coloca sobre la superficie de la plataforma de muestras (FIG. 3D). La muestra de Xe-133 se coloca en la caja fuerte de tungsteno y el atenuador de rayos gamma se ajusta sobre la caja fuerte (FIG. 3C). La protección contra rayos gamma se coloca en la plataforma de muestras del detector gamma de tal manera que el atenuador de rayos gamma encaje en el orificio central del accesorio de plataforma (FIG. 3A). La muestra se cuenta durante un mínimo de 500 segundos y se analiza usando el software Apex Gamma (Canberra). La identificación de Xe-133 se confirma por sus fotopicos principales a 31,0 y 81,0 keV. La protección contra rayos gamma se invierte a continuación, de manera que el fondo de la caja fuerte descansa directamente sobre la superficie de la plataforma de muestras (FIG. 3B). La muestra se cuenta durante un mínimo de 1800 segundos y se analiza usando el software Apex Gamma (Canberra). Si se detecta alguna impureza gamma, incluyendo Xe-131m o Xe-133m, se calcula el porcentaje de cada impureza de la siguiente manera: % de impureza = (impureza de radionúclido $\mu\text{Ci/vial}$ / actividad de vial de recuento mCi/vial) x (1 $\text{mCi}/1000 \mu\text{Ci}$) x 100%.

REIVINDICACIONES

1. Atenuador de rayos gamma (202) que comprende:

- 5 un manguito (210, 410) que tiene una pared (412), un extremo distal (414) y un extremo proximal (416), en donde el extremo distal está cerrado y el extremo proximal forma una abertura (418);
 un inserto de cobre (420) que se apoya sustancialmente en el extremo distal del manguito y se extiende hasta la pared del manguito, en donde el inserto de cobre tiene un grosor sustancialmente uniforme, medido a lo largo de una dirección axial del manguito;
- 10 un inserto de estaño (430) que se apoya sustancialmente en el inserto de cobre en un lado del inserto de cobre opuesto al manguito y que se extiende hasta la pared del manguito, en donde el inserto de estaño tiene un grosor sustancialmente uniforme, medido a lo largo de una dirección axial del manguito;
- un inserto de tungsteno (440) que se apoya sustancialmente en el inserto de estaño y se extiende hasta la pared del manguito, en donde el inserto de tungsteno tiene un grosor sustancialmente uniforme o un grosor que es más delgado en un borde que en un punto medio, medido a lo largo de una dirección axial del manguito cilíndrico;
- 15 en donde el inserto de cobre, el inserto de estaño y el inserto de tungsteno tienen cada uno al menos un orificio pasante formado a través del mismo y están alineados entre sí.

2. Atenuador de rayos gamma según la reivindicación 1, en donde el inserto de cobre tiene un grosor de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros y el o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de cobre tiene un grosor de aproximadamente 0,95 milímetros a aproximadamente 1,05 milímetros y el o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de cobre tiene un grosor de aproximadamente 1,0 milímetro y el o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros;
- 20 y en donde el inserto de estaño tiene un grosor de aproximadamente 1,0 milímetro a aproximadamente 1,7 milímetros y el o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de estaño tiene un grosor de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 1,6 milímetros y el orificio o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de estaño tiene un grosor de aproximadamente 1,55 milímetros y el orificio o los orificios pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros;
- 25 y en donde el inserto de tungsteno tiene un grosor de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros y el agujero o los agujeros pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de tungsteno tiene un grosor de aproximadamente 0,95 a aproximadamente 1,05 milímetros y el agujero o los agujeros pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros o el inserto de tungsteno tiene un grosor de aproximadamente 1,0 milímetro y el agujero o los agujeros pasantes tienen un diámetro total de aproximadamente 1 milímetro a aproximadamente 2 milímetros.
- 30
- 35

3. Atenuador de rayos gamma de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el o los orificios pasantes para cada inserto tienen un diámetro total de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros; y en donde la pared del manguito tiene una altura de aproximadamente 4 milímetros a aproximadamente 16 milímetros medido en la dirección axial del manguito; y en donde el grosor de la pared del manguito es de aproximadamente 0,5 milímetros a aproximadamente 5,0 milímetros; y en donde un diámetro de cada inserto es igual al diámetro interior del manguito o mayor al diámetro interior del manguito a razón de aproximadamente 0,5 milímetros.
- 40
- 45

4. Atenuador de rayos gamma de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el manguito es un caucho, en donde el caucho es opcionalmente un caucho natural; y en donde el extremo distal cerrado del manguito está formado integralmente con la pared; y en donde uno o más del inserto de cobre, el inserto de estaño o el inserto de tungsteno es extraíble del manguito.
- 50

5. Protección contra rayos gamma (200) que comprende:

- 55 una caja fuerte contra radiación (450) que comprende una pared (452), un extremo distal (454), un extremo proximal (456) y un pocillo (458), en donde el extremo proximal forma una abertura hacia el pocillo, extendiéndose el pocillo a lo largo de una dirección axial de la caja fuerte contra radiación hacia el extremo distal de la caja fuerte contra radiación y estando cerrado el extremo distal de la caja fuerte contra radiación; y un atenuador de rayos gamma de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el atenuador de rayos gamma es operable para recibir la caja fuerte contra radiación;
- 60 en donde la protección contra rayos gamma comprende opcionalmente además un recipiente (460) en el pocillo de la caja fuerte contra radiación.

6. Protección contra rayos gamma de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el extremo distal cerrado de la caja fuerte contra radiación tiene un grosor de aproximadamente 0,9 milímetros a aproximadamente 1,1 milímetros y/o en donde el extremo distal cerrado de la caja fuerte contra radiación tiene un grosor, medido en el punto medio, de aproximadamente 1 milímetro y en donde la pared de la caja fuerte contra radiación tiene un grosor de
- 65

aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros; y/o en donde la caja fuerte contra radiación está compuesta de tungsteno puro; y/o en donde la caja fuerte contra radiación es operable para recibir un recipiente en el pocillo.

5 7. Protección contra rayos gamma según la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en donde un diámetro interior de la caja fuerte contra radiación es de aproximadamente 10 milímetros a aproximadamente 20 milímetros y la pared de la caja fuerte contra radiación tiene una altura, medida en la dirección axial de la caja fuerte contra radiación, de aproximadamente 30 milímetros a aproximadamente 40 milímetros.

10 8. Sistema que comprende:

una protección contra rayos gamma como se indica en la reivindicación 5; y
un detector de espectroscopia gamma;

15 en donde la protección contra rayos gamma se coloca a una distancia de aproximadamente 10 centímetros de la superficie del detector, medido desde el extremo distal del atenuador de rayos gamma y los orificios pasantes de los insertos de cobre, estaño y tungsteno están alineados con el detector o medidos desde el extremo distal de la caja fuerte contra radiación; y
en donde el recipiente en el pocillo de la caja fuerte contra radiación comprende una composición que comprende un radionúclido.

20 9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el detector de espectroscopia gamma es un detector de centelleo o un detector de germanio de alta pureza; y en donde la composición comprende xenón-133 y opcionalmente uno o más diluyentes, en donde, opcionalmente, la composición comprende al menos aproximadamente 2 microcurios de radiactividad total.

25 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en donde la composición comprende además al menos una impureza radionucleídica, en donde la impureza radionucleídica es opcionalmente xenón-133m, xenón-131m, criptón-85, yodo-131, cesio-137, bario-140 y circonio-95 o cualquier combinación de los mismos, en donde la impureza radionucleídica en la composición es opcionalmente del 2 % o menos y siendo todas las impurezas que no son de radioxenón en la composición el 0,1 % o menos, siendo menos o igual al 0,03 % Kr-85, siendo menos o igual al 0,01 % I-131 y menos o igual al 0,06 % todas las demás impurezas.

30 11. Uso de una protección contra rayos gamma según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 o uso de un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, para identificar una o más impurezas radionucleídicas en una composición que comprende xenón-133, en donde la impureza radionucleídica es xenón-133m, xenón-131m, criptón-85, yodo-131, cesio-137, bario-140 y circonio-95 o cualquier combinación de los mismos.

35 12. Procedimiento para la identificación de radionúclidos, que comprende:

- 40 a) proporcionar un recipiente que comprende una composición que comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes;
b) colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma como se indica en una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7;
45 c) colocar la protección contra rayos gamma de manera que el extremo distal del atenuador de rayos gamma esté a una distancia predeterminada de la superficie de un detector de espectrometría gamma, en donde el detector es opcionalmente un detector de germanio de alta pureza;
d) contar la radiactividad emitida desde la composición durante una cantidad de tiempo suficiente o un número suficiente de recuentos;
50 e) identificar Xe-133 por sus fotopicos principales a aproximadamente 31,0 keV y aproximadamente 81,0 keV.

13. Procedimiento para la medición de la pureza radionucleídica, que comprende:

- 55 a) proporcionar un recipiente que comprende una composición con una cantidad conocida de radiactividad, en donde la composición comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes;
b) colocar el recipiente en una protección contra rayos gamma como se indica en una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7;
c) colocar la protección contra rayos gamma de manera que el extremo distal de la caja fuerte contra radiación esté a una distancia predeterminada de una superficie de un detector de espectrometría gamma, en donde el detector es opcionalmente un detector de germanio de alta pureza;
60 d) contar la radiactividad emitida desde la composición durante una cantidad de tiempo suficiente o un número suficiente de recuentos;
e) identificar impurezas radionucleídicas por sus energías gamma conocidas; y
f) calcular una medición de pureza radionucleídica.

65 14. Procedimiento para la identificación de radionúclidos y la medición de la pureza de radionúclidos usando una protección contra rayos gamma según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, comprendiendo el

procedimiento:

- 5 proporcionar un recipiente que comprende una composición que comprende Xe-133 y opcionalmente uno o más diluyentes, en donde la composición comprende aproximadamente de 4.000 a aproximadamente 20.000 μCi de radiactividad total;
- colocar el recipiente en la protección contra rayos gamma;
- colocar la protección contra rayos gamma de manera que el extremo distal del atenuador de rayos gamma esté aproximadamente a 10 cm de la superficie de un detector de espectrometría gamma, en donde el detector es opcionalmente un detector de germanio de alta pureza;
- 10 contar la radiactividad emitida desde la composición durante una cantidad de tiempo suficiente o un número suficiente de recuentos;
- identificar Xe-133 por sus fotopicos principales a aproximadamente 31,0 keV y aproximadamente 81,0 keV;
- reposicionar la protección contra rayos gamma de manera que el extremo distal de la caja fuerte contra radiación esté aproximadamente a 10 cm de la superficie de un detector de espectrometría gamma;
- 15 contar la radiactividad emitida desde la composición durante una cantidad de tiempo suficiente o un número suficiente de recuentos;
- identificar impurezas radionucleídicas por sus energías gamma conocidas; y calcular una medición de pureza radionucleídica.
- 20 15. Procedimiento tal como se indica en una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde:
- el inserto de cobre de la protección contra rayos gamma tiene un grosor de aproximadamente 1,0 milímetro;
- el inserto de estaño de la protección contra rayos gamma tiene un grosor de aproximadamente 1,6 milímetros;
- 25 el inserto de tungsteno de la protección contra rayos gamma tiene un grosor de aproximadamente 1,0 milímetro;
- el o los orificios pasantes para cada uno de los insertos de cobre, estaño y tungsteno tienen un diámetro total de aproximadamente 1,2 milímetros a aproximadamente 1,6 milímetros;
- el extremo distal cerrado de la caja fuerte contra radiación de la protección contra rayos gamma tiene un grosor, medido en el punto medio, de aproximadamente 1 milímetro; y
- 30 opcionalmente, la pared de la caja fuerte contra radiación de la protección contra rayos gamma tiene un grosor de aproximadamente 2 milímetros a aproximadamente 3 milímetros.

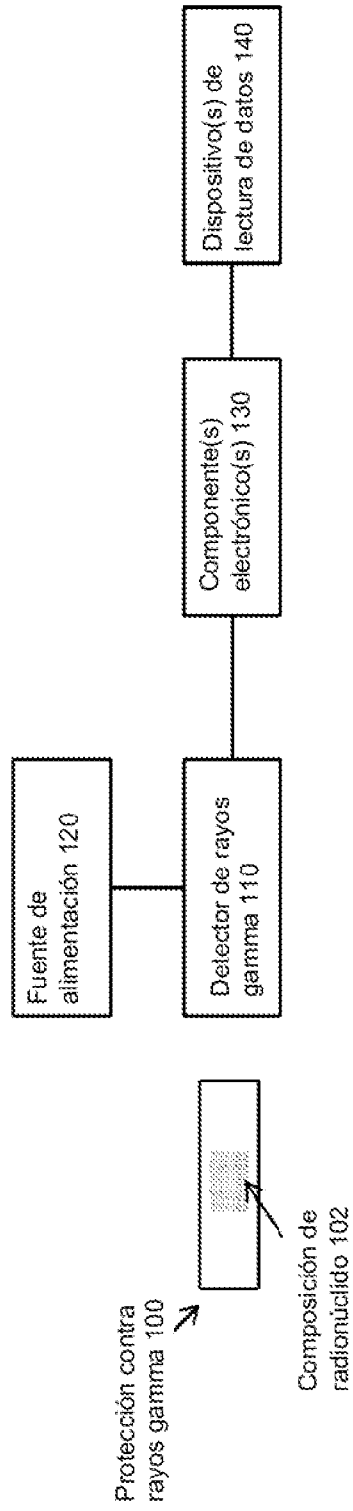


FIG. 1

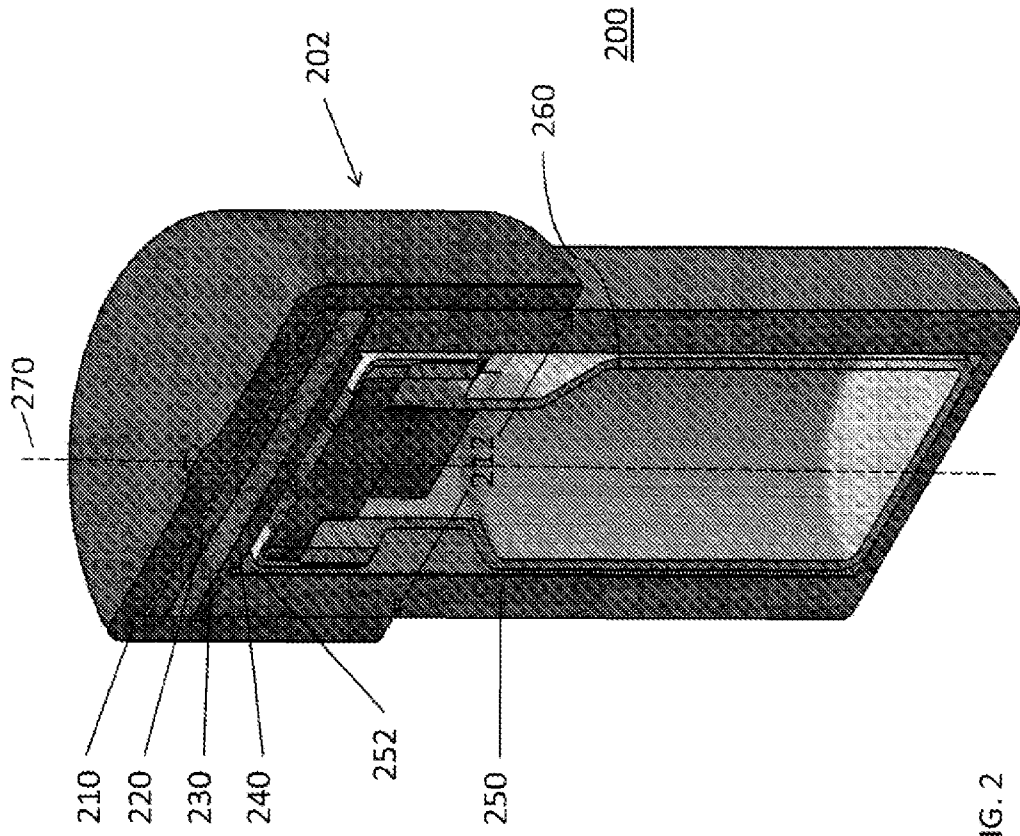


FIG. 2

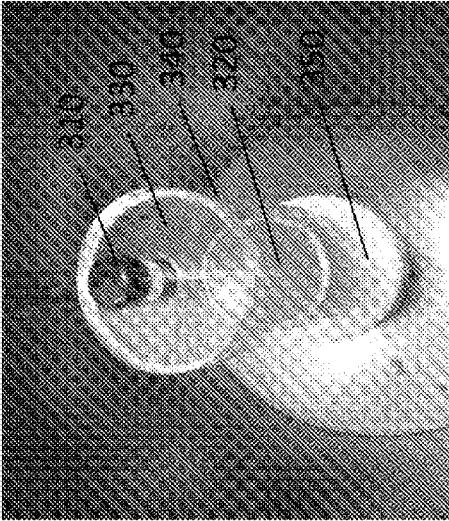


FIG. 3A

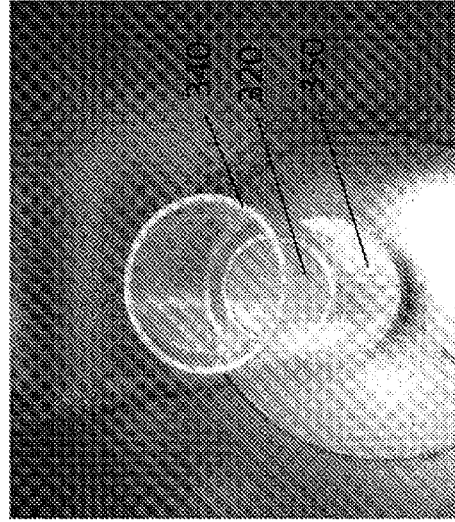


FIG. 3B

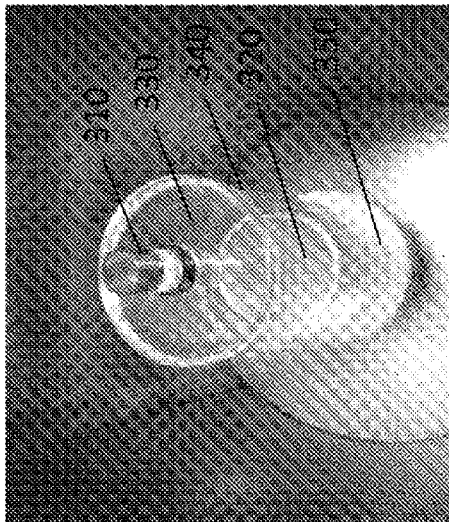


FIG. 3C

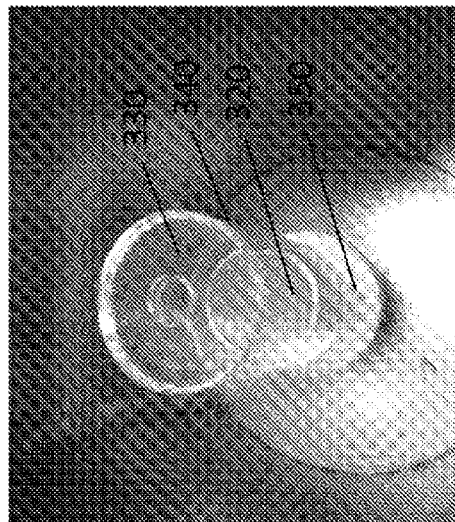


FIG. 3D

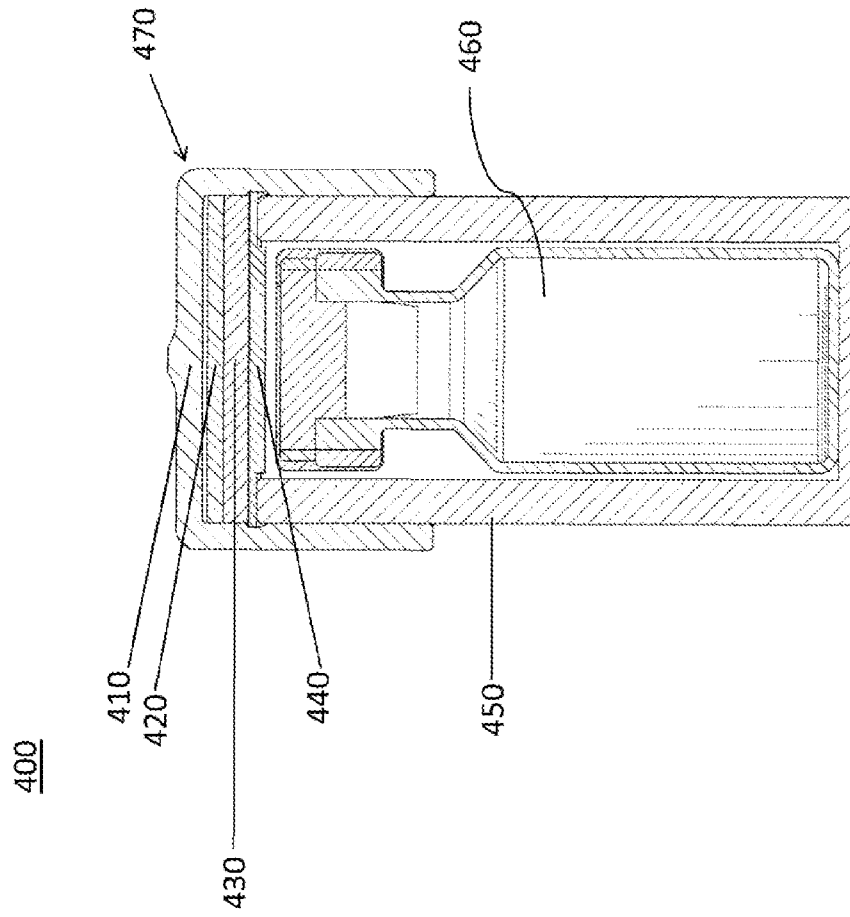


FIG. 4A

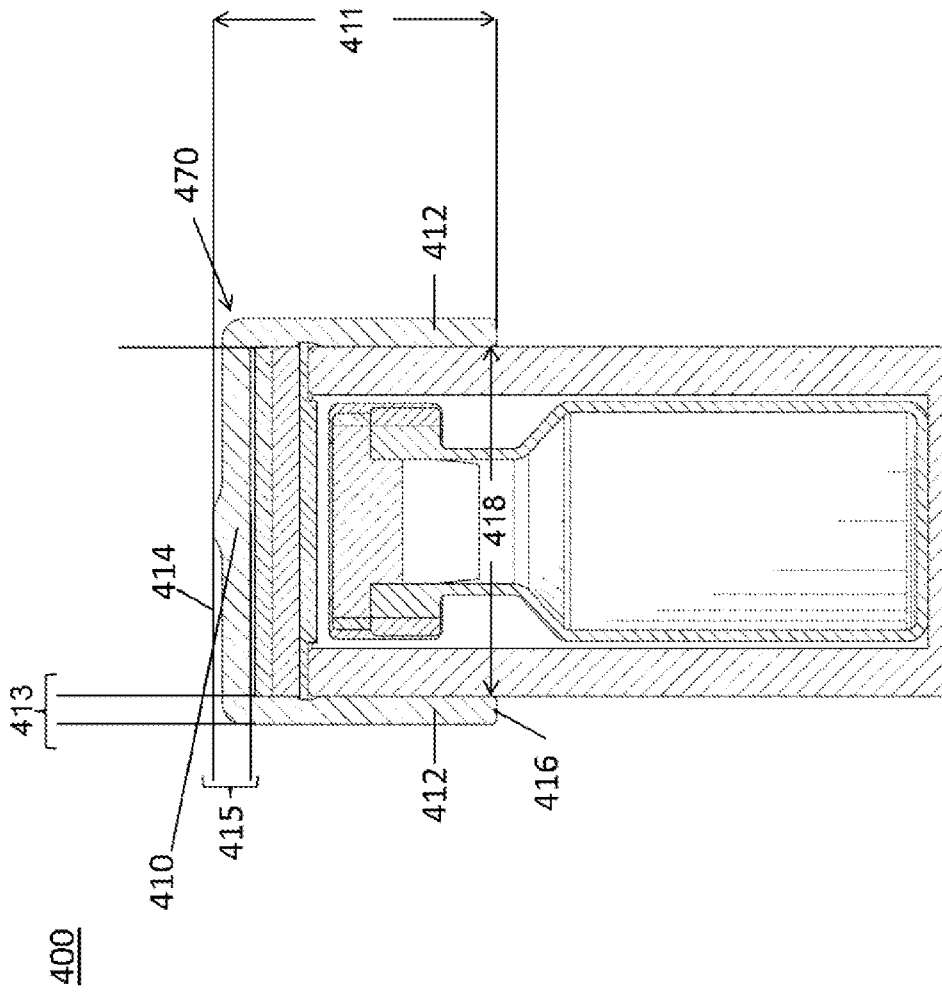


FIG. 4B

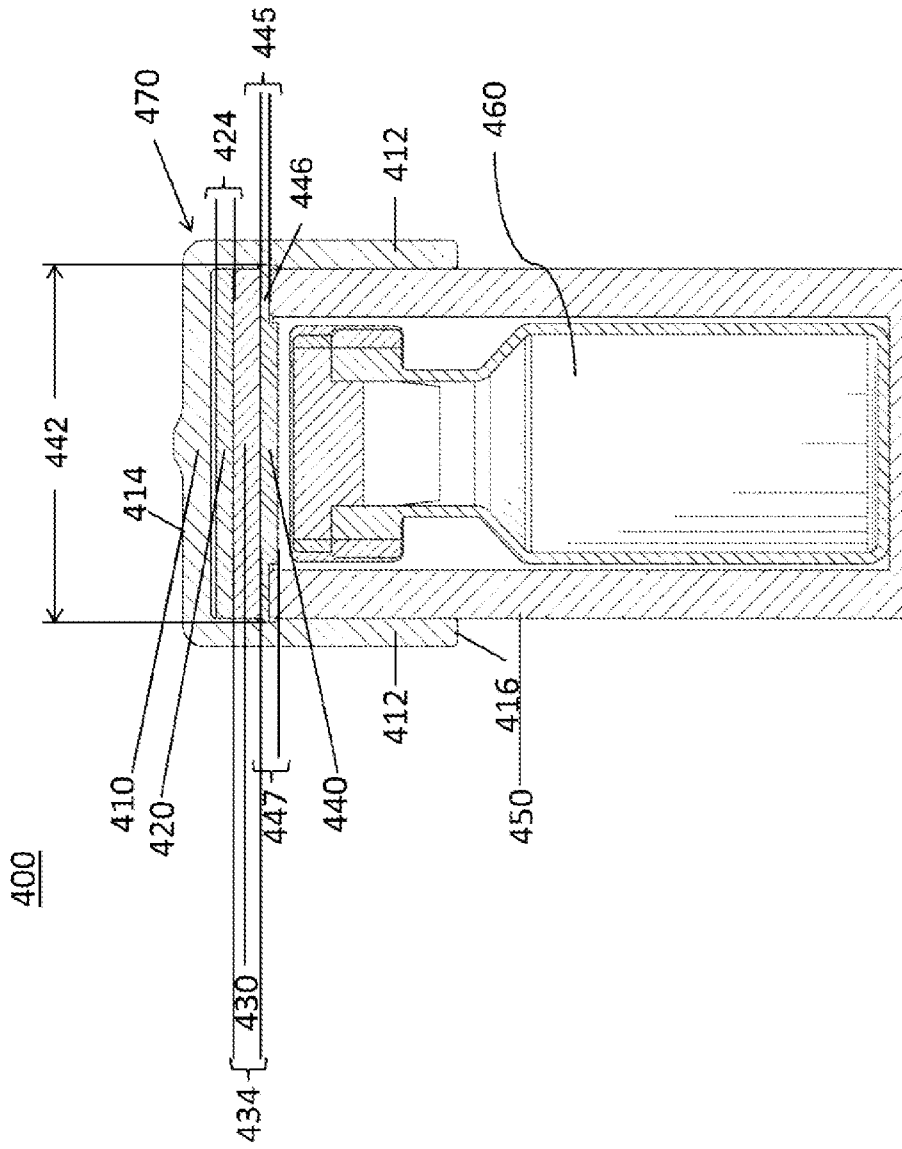
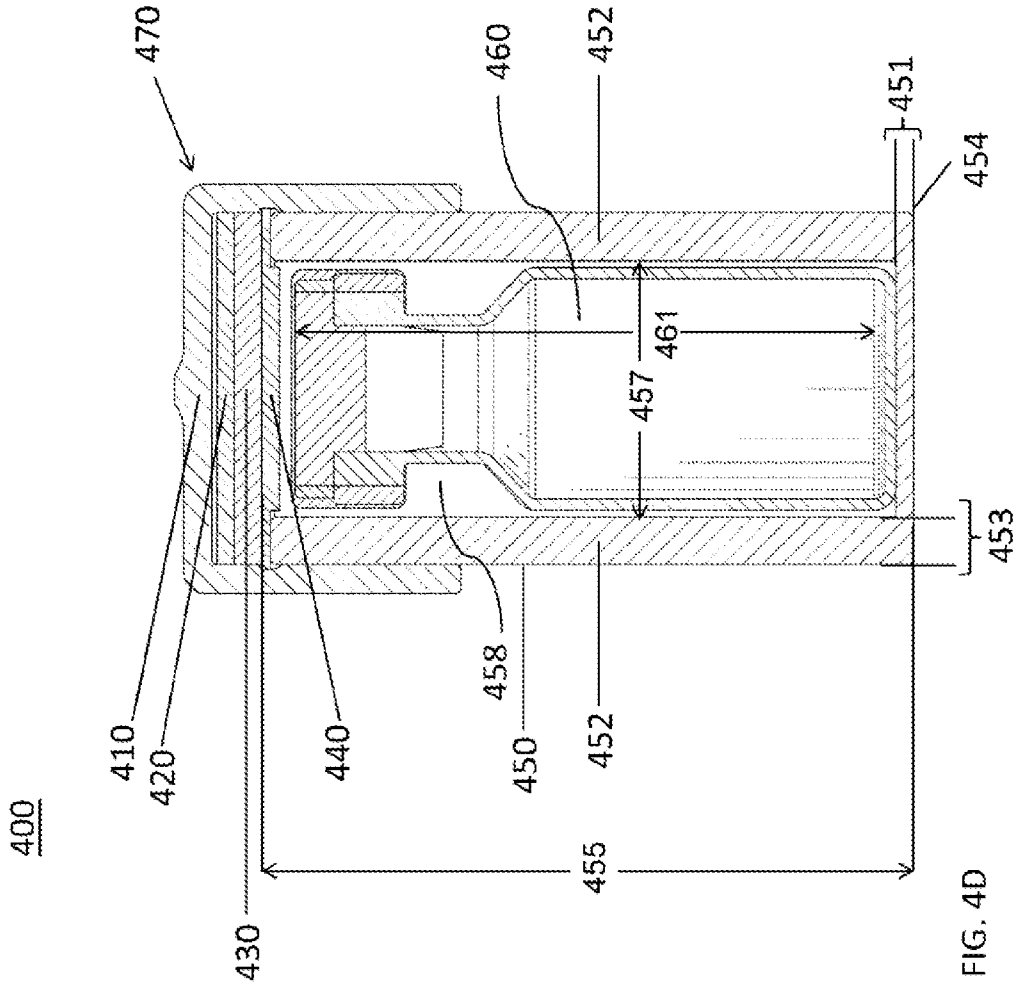


FIG. 4C



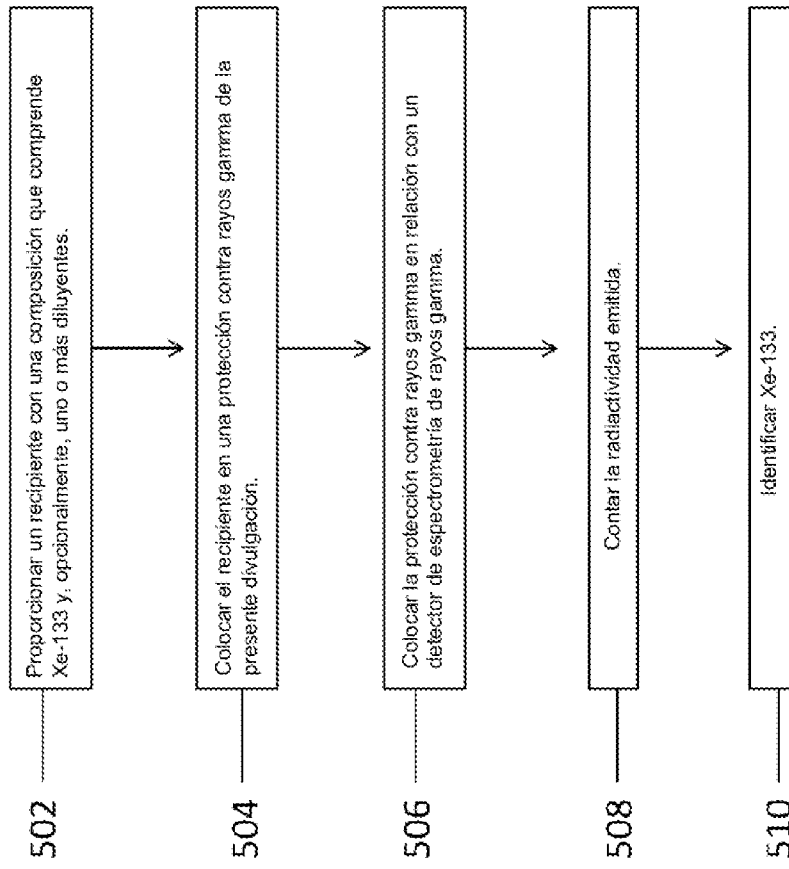


FIG. 5

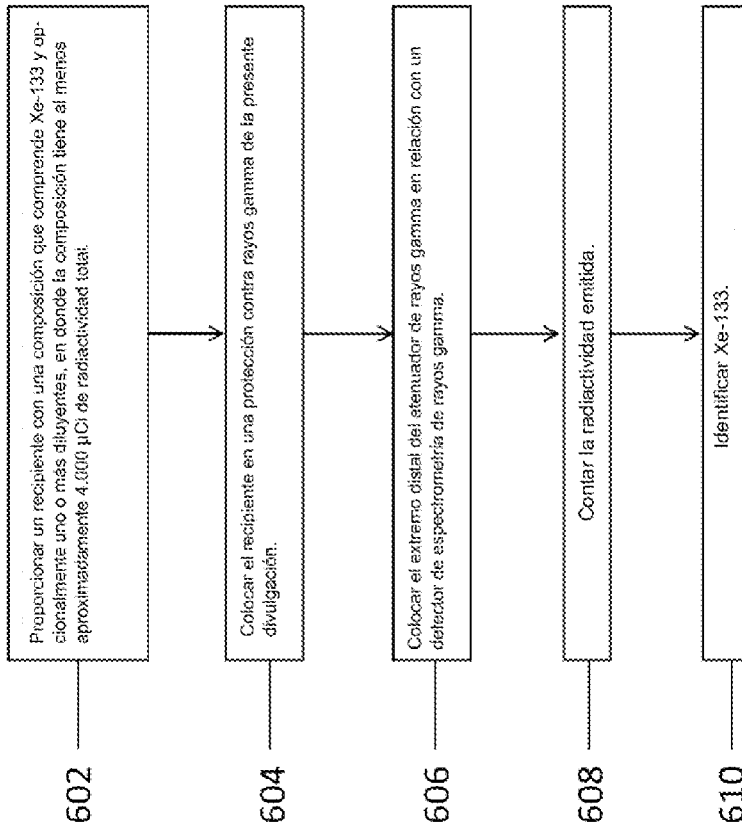


FIG. 6

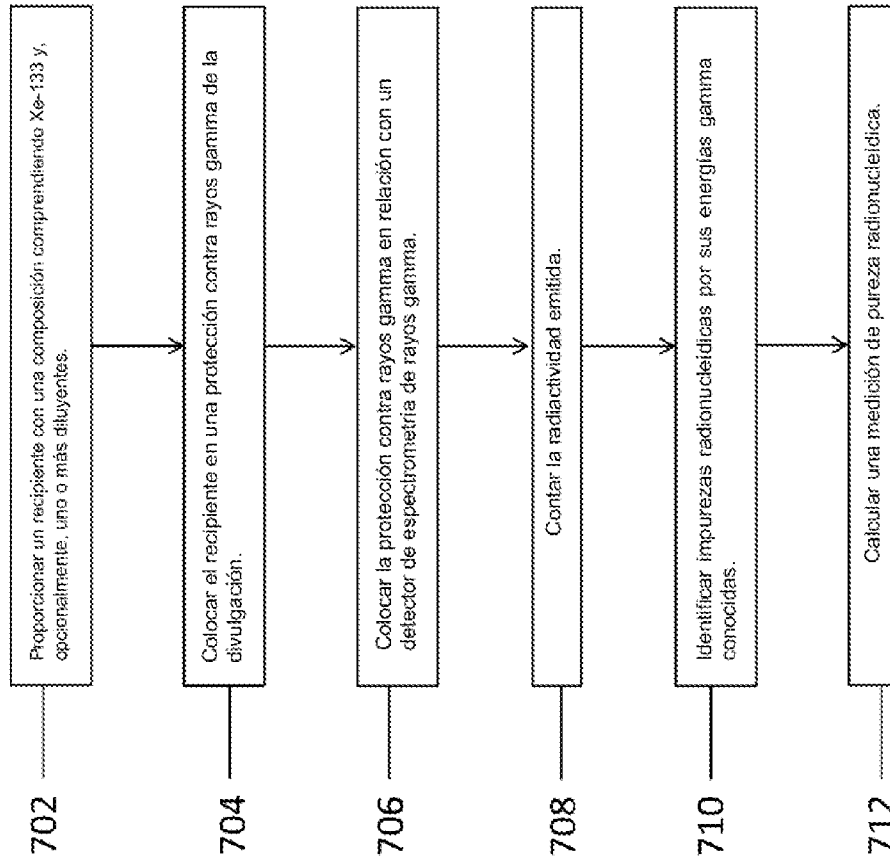


FIG. 7

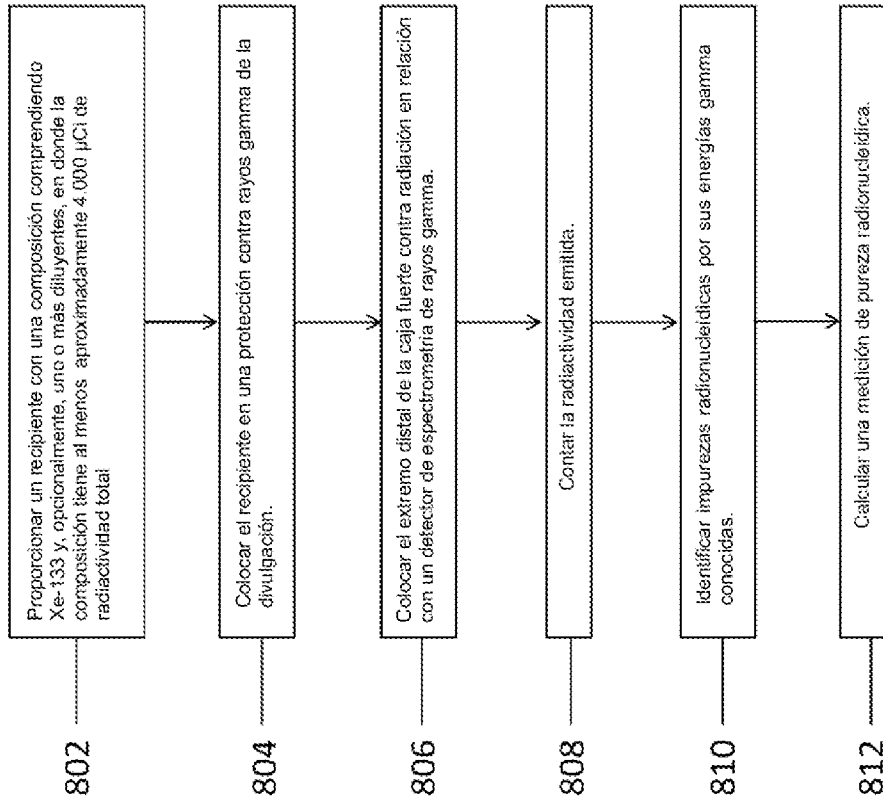


FIG. 8

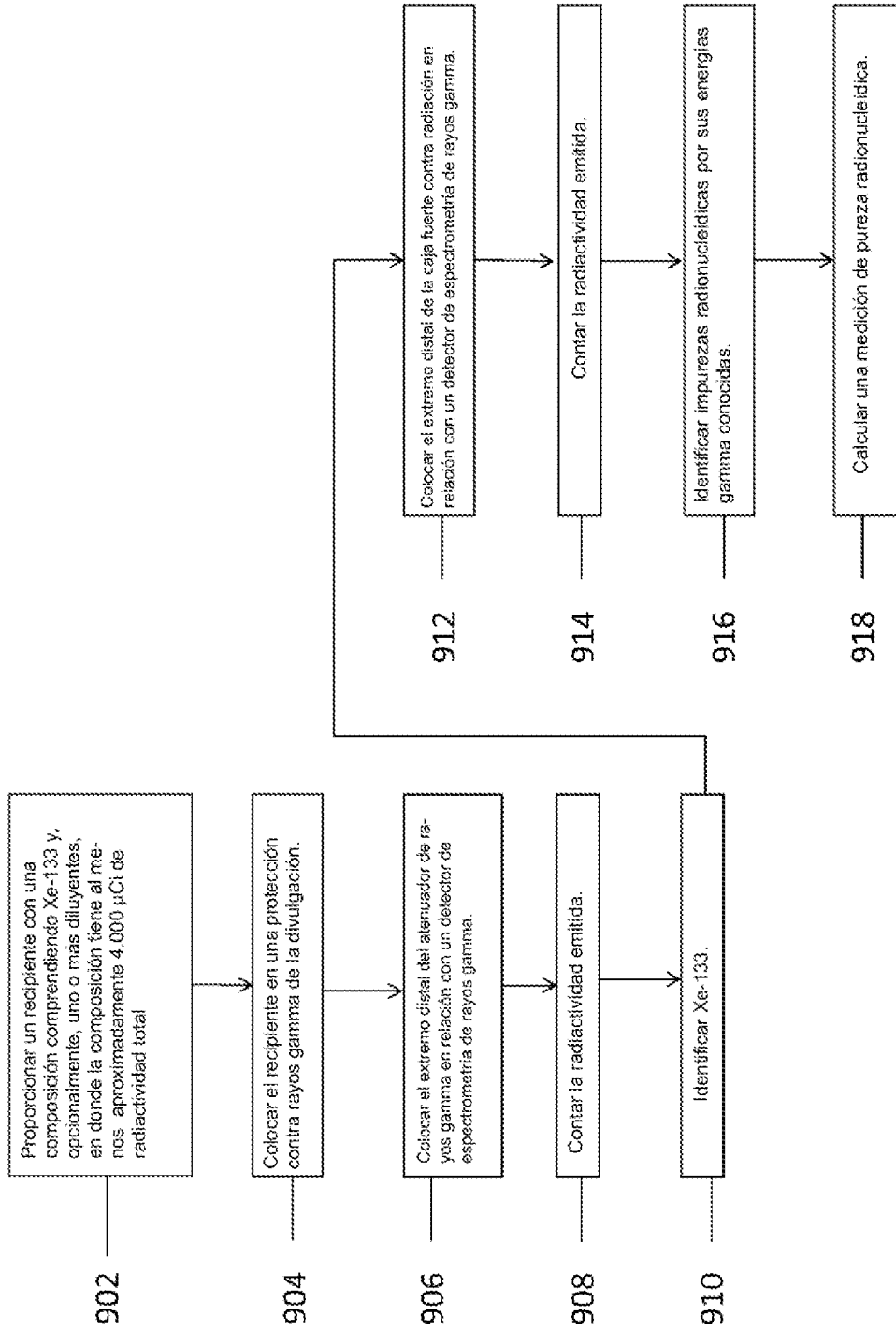


FIG. 9

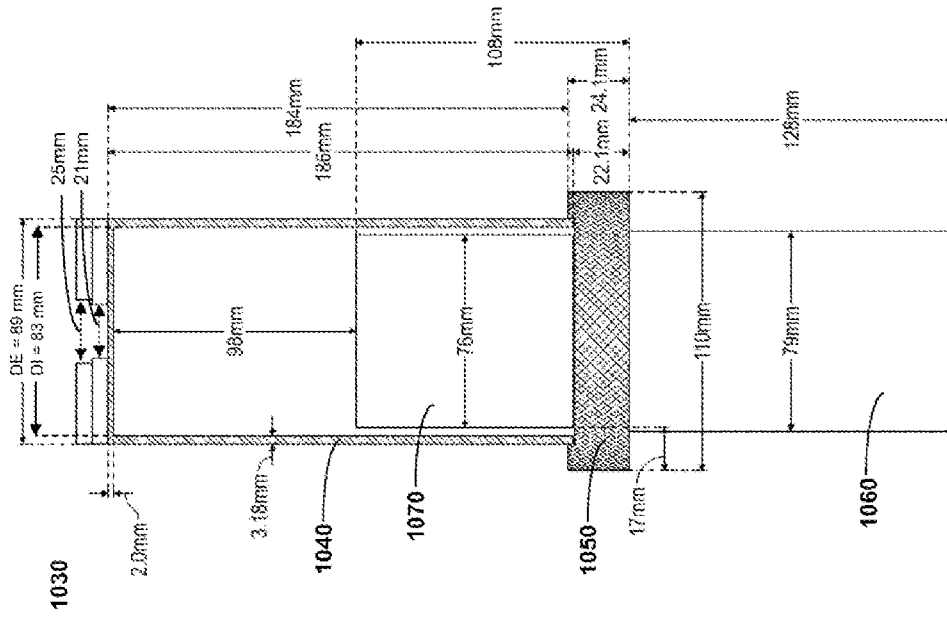


FIG. 10

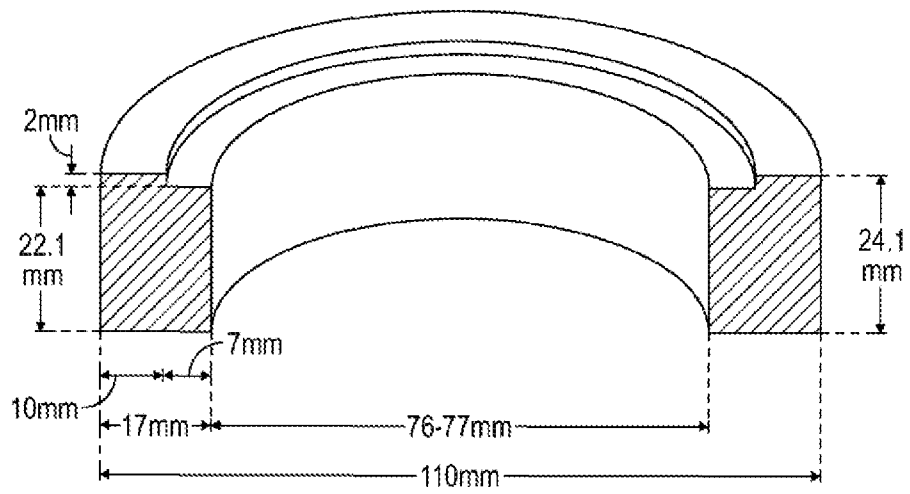


FIG. 11

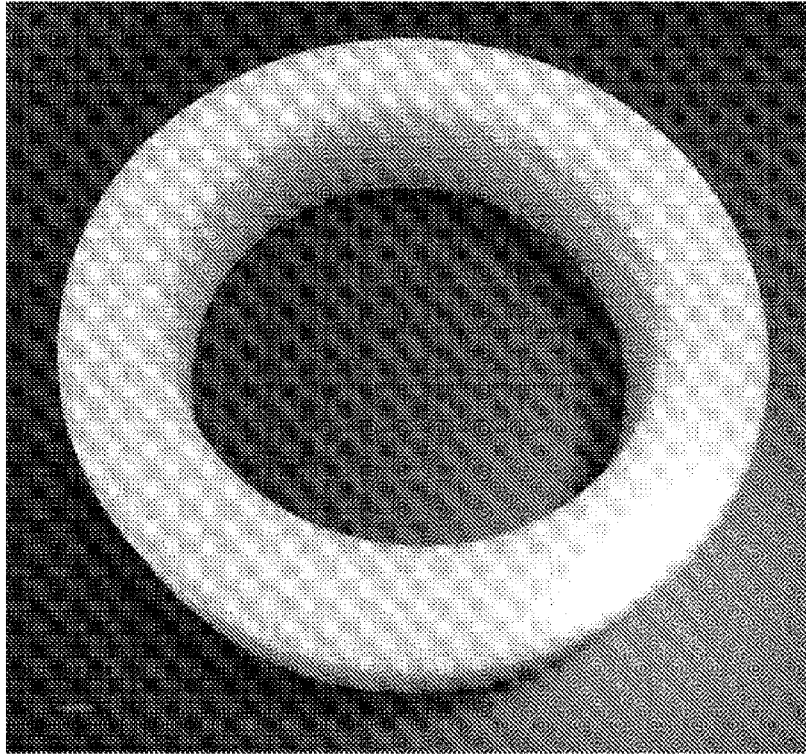


FIG. 12A

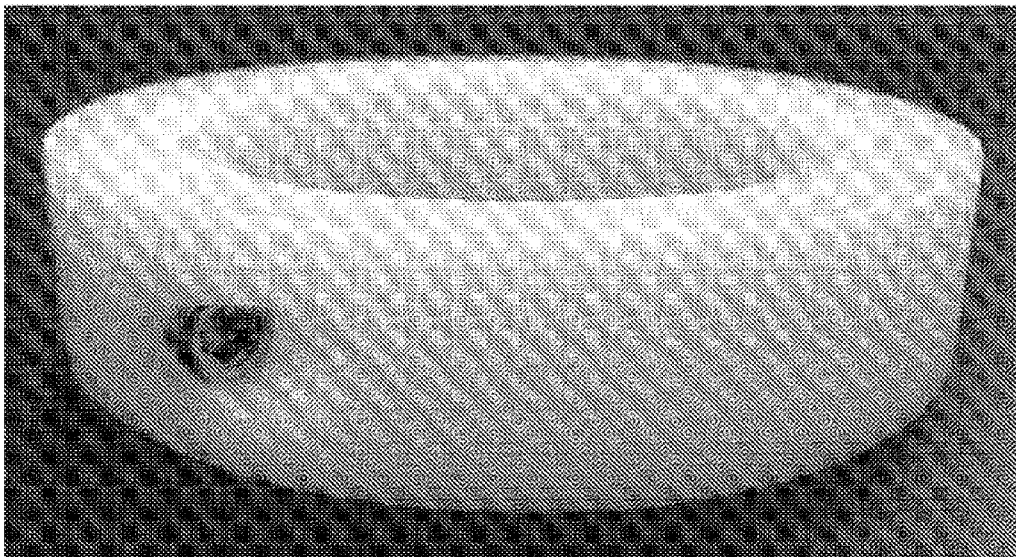


FIG. 12B

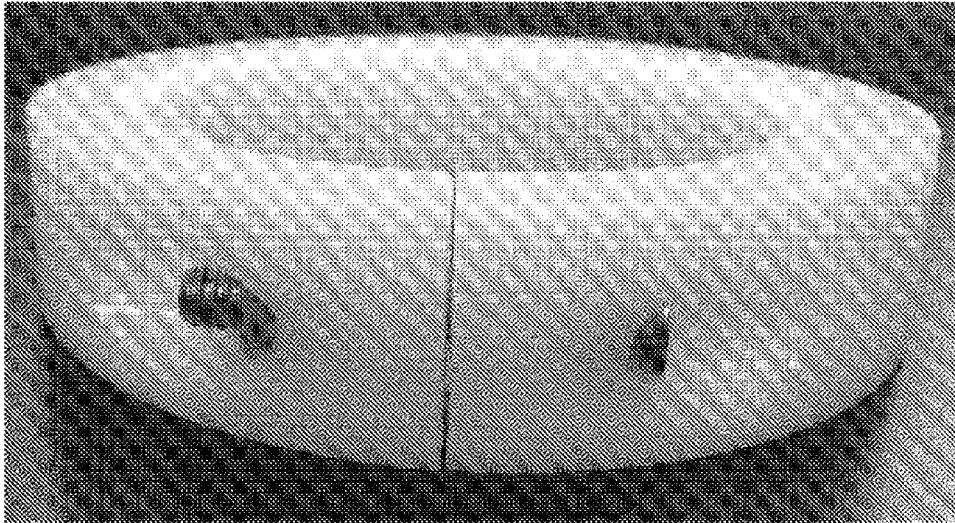


FIG. 12C

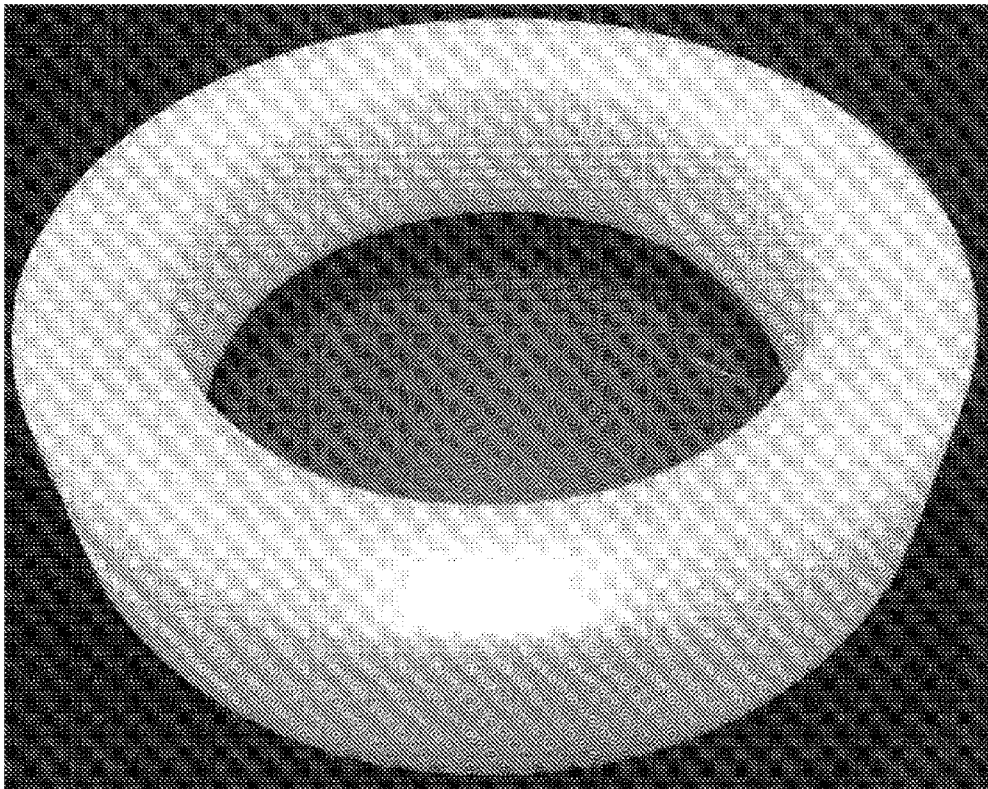


FIG. 12D