

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 360**

51 Int. Cl.:

G21G 1/00 (2006.01)

G21G 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.06.2014 PCT/US2014/044397**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14210352**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2014 E 14742078 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 3014628**

54 Título: **Proceso de generación de germanio-68**

30 Prioridad:

27.06.2013 US 201361840103 P

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

29.06.2018

73 Titular/es:

**MALLINCKRODT NUCLEAR MEDICINE LLC
(100.0%)
111 Westport Plaza, Suite 800 St. Louis
Missouri 63146, US**

72 Inventor/es:

**UHLAND, DR. WILLIAM C.;
PIPES, DR. DAVID WAYNE y
PERRIGO, MELISSA DIANNE**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 674 360 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

Proceso de generación de germanio-68

5 **Referencia cruzada a la solicitud relacionada**

Esta solicitud reclama prioridad de Solicitud de patente provisional de los Estados Unidos n.º de serie 61/840.103, presentada el 27 de junio de 2013.

10 **Campo**

La presente divulgación se refiere en general a un nuevo proceso para generar germanio-68 a partir de un cuerpo objetivo irradiado. El proceso incluye la irradiación del cuerpo objetivo seguido de varias técnicas de extracción para generar el germanio-68.

15

Antecedentes

La tomografía por emisión de positrones (PET) es un método de obtención de imágenes *in vivo* que utiliza radiotrazadores que emiten positrones para rastrear los procesos bioquímicos, moleculares y/o fisiopatológicos en seres humanos y animales. En los sistemas de PET, los isótopos emisores de positrones sirven como balizas para identificar la ubicación exacta de las enfermedades y los procesos patológicos en estudio sin exploración quirúrgica del cuerpo humano. Con estos métodos de imagen no invasivos, el diagnóstico de enfermedades puede ser más cómodo para los pacientes, a diferencia de los enfoques más tradicionales e invasivos, como las cirugías exploratorias.

25

Un ejemplo de dicho grupo de agente radiofarmacéutico incluye el galio-68 (Ga-68), que puede obtenerse a partir del radioisótopo germanio-68 (Ge-68). El Ge-68 tiene una semivida de aproximadamente 271 días, se descompone por captura de electrones a Ga-68 y carece de cualquier emisión de fotones significativa. El Ga-68 se descompone por emisión de positrones. Estas propiedades hacen que el Ge-68 sea un radioisótopo ideal para las fuentes de calibración y transmisión. Por lo tanto, la disponibilidad de la fuente de vida larga, el Ge-68, es de gran interés debido a su generación del radioisótopo de galio de vida más corta.

30

Sigue existiendo la necesidad de un proceso mejorado para producir Ge-68 usado para obtener Ga-68 para métodos de imágenes de PET. La presente divulgación se refiere a un proceso mejorado para generar Ge-68 a partir de un cuerpo objetivo irradiado.

35

Sumario

Brevemente, por lo tanto, la presente divulgación se refiere a un proceso para generar un radioisótopo. El proceso está definido por las reivindicaciones adjuntas.

40

La presente divulgación se refiere además a un proceso para producir germanio-68 bombardeando un cuerpo objetivo que incluye una aleación de galio-níquel, en donde el bombardeo de la aleación de galio-níquel produce un radioisótopo de germanio dentro del cuerpo objetivo.

45

Existen diversos refinamientos de las características indicadas anteriormente en relación con los diversos aspectos de la presente divulgación. Otras características también se pueden incorporar en estos diversos aspectos. Estos refinamientos y características adicionales pueden existir individualmente o en cualquier combinación. Por ejemplo, varias características discutidas a continuación en relación con una o más de las realizaciones ilustradas pueden incorporarse en cualquiera de los aspectos descritos anteriormente de la presente divulgación solos o en cualquier combinación. Nuevamente, el breve resumen presentado anteriormente tiene la intención solo de familiarizar al lector con ciertos aspectos y contextos de la presente divulgación, sin limitarse a la materia reivindicada.

50

Breve descripción de las figuras

55

Diversas características, aspectos y ventajas de la presente divulgación se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a las figuras adjuntas en las que los caracteres similares representan partes similares en todas las figuras, en donde:

60

La Fig. 1 es un diagrama de bloques de un sistema de aceleración de partículas de una realización.

La Fig. 2 es un esquema de un ciclotrón de una realización.

La Fig. 3 es la cara de un cuerpo objetivo de acuerdo con la presente divulgación.

65

La Fig. 4 es la parte posterior de un cuerpo objetivo de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

5 La presente divulgación se refiere a un proceso para generar un radioisótopo. En particular, la presente divulgación se refiere a un proceso para generar Ge-68 a partir de un material de partida de radioisótopo.

10 El proceso generalmente comprende: bombardear un cuerpo objetivo que incluye un material de partida, donde el bombardeo del material de partida produce un radioisótopo dentro del cuerpo objetivo; permitir que el cuerpo objetivo bombardeado se desintegre; depurar el cuerpo objetivo bombardeado con una mezcla ácida que incluye trihidrato de nitrato de cobre (II) y ácido nítrico, o ácido clorhídrico de 3 M a 6 M y ácido nítrico de 6 M a 15 M para crear una solución separada; extraer el radioisótopo de la solución depurada usando un disolvente no polar para eliminar la mezcla ácida y crear una fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo; lavar la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo; y, extraer el radioisótopo de la fracción de disolvente no polar usando agua.

15 El proceso es un proceso mejorado en el sentido de que produce repetidamente un radioisótopo de alta pureza (por ejemplo, germanio-68) y también es fácil de realizar en una célula caliente. Además, el proceso mejorado disminuye la formación de compuestos volátiles de germanio y evita la pérdida de estas especies, si se forman. Es decir, el proceso mejorado reduce la formación de compuestos de germanio volátiles, pero, si se forman, se retienen y atrapan. Además, el proceso mejorado contiene menos HCl en la solución final.

A. Cuerpo objetivo

25 En la presente divulgación, se muestra un cuerpo objetivo en las Figs. 3 y 4 y en general se hace referencia a él como **70**. El cuerpo objetivo **70** se usa para la producción del radioisótopo, tal como Ge-68. El cuerpo objetivo **70** se usa durante el proceso de bombardeo para producir el radioisótopo a partir de un material de partida. En algunas realizaciones de la presente divulgación, solo se usa un cuerpo objetivo **70** en el proceso de bombardeo. En otras realizaciones, se usan dos cuerpos objetivo (duales) en el proceso de bombardeo, aunque se contemplan más de dos. Cuando se utilizan cuerpos objetivo duales en el proceso de bombardeo, se puede recuperar una cantidad mayor del radioisótopo objetivo, como Ge-68, al final del proceso. Cuando se usan cuerpos objetivo duales, cada cuerpo objetivo **70** puede incluir las mismas o diferentes cantidades del material de partida de radioisótopo como se describe en otra parte en esta divulgación. De forma similar, la construcción de los cuerpos objetivo duales puede ser tal que los cuerpos objetivo tengan estructuras y componentes idénticos, por ejemplo.

35 En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo **70** comprende una capa base **72**. La capa base **72** puede incluir un material **74** térmicamente conductor y un camino de refrigerante **76**. El cuerpo objetivo **70** puede tener múltiples capas, al menos una de las cuales está adaptada para producir un radioisótopo cuando esa capa se irradia con partículas energéticas cargadas. En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo **70** incluye una capa base **72** que incluye un material de partida de radioisótopo enriquecido, que puede producir un radioisótopo cuando se bombardea o se irradia con las partículas energéticas cargadas. A su vez, el radioisótopo se puede usar solo o en combinación con otras sustancias (por ejemplo, agentes marcadores) como un radiofármaco para fines de diagnóstico médico o terapéuticos.

45 La capa base **72** puede incluir un material de partida de radioisótopo dispuesto sobre la capa base **72**. En algunas realizaciones de la presente divulgación, el cuerpo objetivo **70** incluye de aproximadamente 1,0 gramos a aproximadamente 2,0 gramos del material de partida de radioisótopo. En otras realizaciones, el cuerpo objetivo **70** incluye aproximadamente 1,2 gramos del material de partida de radioisótopo. Como ejemplo, el material de partida puede proporcionarse en forma de polvo y a continuación presionarse en el cuerpo objetivo **70**.

50 En algunas realizaciones de la presente divulgación, el material de partida incluye una aleación que comprende galio. La aleación puede incluir de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 80 %, en una realización de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 75 % de galio, en peso de la aleación. La aleación también puede incluir un metal seleccionado del grupo que consiste en níquel, indio, estaño, hierro, rutenio, osmio, cromo, renio, molibdeno, tungsteno, manganeso, cobalto, rodio y combinaciones de los mismos. El metal puede estar presente en la aleación en una cantidad de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 90 %, en una realización de aproximadamente el 25 % a aproximadamente el 40 %, en peso de la aleación.

60 En algunas realizaciones de la presente divulgación, la aleación incluye galio y níquel. En estas realizaciones, la aleación de galio-níquel incluye de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 75 % de galio y de aproximadamente el 25 % a aproximadamente el 40 % de níquel, en peso de la aleación. En una realización, la aleación de galio-níquel incluye aproximadamente el 60 % de galio y aproximadamente el 40 % de níquel, en peso de la aleación. En otra realización, la aleación de galio-níquel incluye aproximadamente el 61 % de galio y aproximadamente el 39 % de níquel, en peso de la aleación.

65 La capa base **72** del cuerpo objetivo **70** puede incluir un metal, tal como cobre, aluminio, níquel y/u otro material conductor. Por ejemplo, la capa base **72** puede moldearse en aluminio y luego recubrirse con cobre. Al ser

conductora, la capa base **72** del cuerpo objetivo **70** puede estar adaptada para transferir el calor de forma eficiente lejos del cuerpo objetivo **70** a medida que aumenta la temperatura mientras se irradia el cuerpo objetivo **70**. Además, en algunas realizaciones, un camino/canal de refrigerante **76** puede formarse como parte de un canal o ranura longitudinalmente a lo largo del cuerpo objetivo **70**. El canal de refrigerante **76** facilita el flujo de fluido a lo largo del cuerpo objetivo **70** de manera que se puede eliminar el calor del cuerpo objetivo **70** mientras que el cuerpo objetivo **70** se irradia con partículas cargadas.

Durante el bombardeo del cuerpo objetivo **70**, las interacciones nucleares entre las partículas cargadas en colisión y los núcleos atómicos de los materiales del cuerpo objetivo **70** pueden transformar una porción de esos núcleos en radioisótopos. Por ejemplo, después del bombardeo, la capa base **72** puede incluir radioisótopos de germanio, tales como Ge-68, Ge-69 y Ge-71. La capa base **72** también puede incluir otros radioisótopos después del bombardeo, tales como Cu-62, Cu-64, Cu-61, Cu-60, Zn-62 y Zn-63.

B. Bombardeo

De acuerdo con la presente divulgación, el cuerpo objetivo **70** que incluye el material de partida se irradia mediante bombardeo. El bombardeo del material de partida puede producir un radioisótopo dentro del cuerpo objetivo **70**. En una realización de la presente divulgación, una aleación de galio-níquel es el material de partida y después del bombardeo se producen radioisótopos de germanio. En otra realización de la presente divulgación, la aleación de galio-níquel se bombardea para producir el radioisótopo Ge-68.

Un ejemplo de método de irradiación es mediante bombardeo de protones. En algunas realizaciones de la presente divulgación, el cuerpo objetivo **70** se bombardea por un acelerador de partículas. Por ejemplo, el bombardeo de protones se puede llevar a cabo insertando el cuerpo objetivo **70** en un haz de acelerador lineal en una ubicación adecuada con lo que el objetivo se bombardea a una intensidad de haz integrado. En algunas realizaciones de la presente divulgación, el cuerpo objetivo **70** se bombardea con una corriente de haz de aproximadamente 170 microamperios a aproximadamente 300 microamperios, en una realización de aproximadamente 175 microamperios a aproximadamente 185 microamperios, y en otra realización de al menos aproximadamente 180 microamperios. En otras realizaciones, el cuerpo objetivo **70** se bombardea con una corriente de haz de al menos aproximadamente 300 microamperios. En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo **70** se bombardea con una energía de haz de aproximadamente 25,0 MeV a aproximadamente 35,0 MeV, en una realización de aproximadamente 28,0 MeV a aproximadamente 30,0 MeV, y en una realización de aproximadamente 29,0 MeV a aproximadamente 29,5 MeV.

Pasando ahora a la Fig. 1, se describe un diagrama de bloques de un sistema acelerador de partículas ejemplar **10**. El sistema **10** incluye un cuerpo objetivo ejemplar **12** que tiene múltiples capas, al menos una de las cuales está adaptada para producir un radioisótopo cuando esa capa se irradia con partículas energéticas cargadas. El cuerpo objetivo **12** puede incluir una capa base **14**, que incluye un material de partida de radioisótopo enriquecido, que puede producir un radioisótopo cuando se bombardea o se irradia con las partículas energéticas cargadas. A su vez, el radioisótopo se puede usar solo o en combinación con otras sustancias (por ejemplo, agentes marcadores) como un radiofármaco para fines de diagnóstico médico o terapéuticos. La capa base **14** puede incluir un material de partida de radioisótopo, tal como una aleación de galio-níquel.

La capa base **14** del cuerpo objetivo **12** puede incluir un metal, tal como cobre, aluminio, níquel y/u otro material conductor. Al ser conductor, la capa base **14** del cuerpo objetivo **12** puede adaptarse para transferir el calor de forma eficiente lejos del cuerpo objetivo **12** a medida que aumenta la temperatura mientras se irradia el cuerpo objetivo **12**.

El sistema acelerador de partículas **10** incluye un acelerador de partículas **16** configurado para acelerar partículas cargadas, como se muestra por la línea **18**. Las partículas cargadas **18** aceleran para obtener suficiente energía para producir material de radioisótopos una vez que las partículas **18** colisionan con el cuerpo objetivo **12**. Por lo tanto, la capa base **14** puede incluir una mezcla de radioisótopo y material de partida de radioisótopo. La producción del radioisótopo se facilita a través de una reacción nuclear que se produce una vez que las partículas aceleradas **18** interactúan con el material de partida de la capa base **14**. Por ejemplo, cuando se produce el radioisótopo Ge-68, se puede irradiar una aleación de galio-níquel con protones **18** acelerados a través del acelerador **16**. Los protones **18** pueden originarse a partir de una fuente de partículas **20** que inyecta las partículas cargadas **18** en el acelerador **16** de modo que las partículas **18** pueden acelerarse hacia el cuerpo objetivo **12**.

Cuando las partículas cargadas aceleradas **18** colisionan con el cuerpo objetivo **12**, el cuerpo objetivo **12** puede absorber una cantidad sustancial de la energía cinética de las partículas. La absorción de la energía impartida por las partículas aceleradas **18** puede provocar que el cuerpo objetivo **12** se caliente. Para mitigar el sobrecalentamiento del cuerpo objetivo **12**, el cuerpo objetivo **12** puede estar acoplado a un sistema refrigerante **22** dispuesto adyacente al cuerpo objetivo **12**. El sistema refrigerante **22** puede incluir conectores de fluido que están acoplados de manera fluida al cuerpo objetivo **12** de modo que el fluido, tal como el agua, pueda circular a lo largo o a través del cuerpo objetivo **12**, eliminando así el calor absorbido por el cuerpo objetivo **12** durante la irradiación del mismo. En la realización ilustrada, el sistema refrigerante **22** se muestra separado del cuerpo objetivo **12** y dispuesto detrás del cuerpo objetivo **12**. En otras realizaciones, el sistema refrigerante **22** puede ser parte del cuerpo objetivo **12**, o puede disponerse alejado del cuerpo objetivo **12**.

El sistema acelerador de partículas **10** incluye un sistema de control **24** acoplado al acelerador de partículas **16**, el cuerpo objetivo **12** y/o el sistema refrigerante **22**. El sistema de control **24** puede configurarse para, por ejemplo, controlar parámetros, tales como la energía de aceleración de las partículas **18**, las magnitudes de corriente de las partículas cargadas aceleradas **18**, y otros parámetros operacionales relacionados con el funcionamiento y la funcionalidad del acelerador **16**. El sistema de control **24** se puede acoplar al cuerpo objetivo **12** para controlar, por ejemplo, la temperatura del cuerpo objetivo **12**. El sistema de control **24** puede estar acoplado al sistema refrigerante **22** para controlar la temperatura del refrigerante y/o evaluar y/o controlar la velocidad de flujo.

En algunas realizaciones de la presente divulgación, el acelerador de partículas incluye un ciclotrón. Un ciclotrón puede acelerar partículas cargadas a altas velocidades y hacer que las partículas cargadas colisionen con un objetivo para producir una reacción nuclear y posteriormente crear un radioisótopo. En referencia ahora a la Fig. 2, se ilustra un ejemplo de acelerador de partículas **40** para su uso con el cuerpo objetivo **12**. El acelerador de partículas **40** puede incluir un ciclotrón utilizado para acelerar partículas cargadas, tales como protones. El ciclotrón **40** puede emplear un campo magnético estacionario y un campo eléctrico alterno para acelerar partículas cargadas. El ciclotrón **40** puede incluir dos electroimanes **42, 44** separados por una cierta distancia. Dispuesto entre los electroimanes **42, 44** hay una fuente de partículas **46**. En algunas realizaciones, los electroimanes **42, 44** pueden tener forma de tarta o de cuña. La fuente de partículas **46** emite partículas cargadas **47** de tal forma que las trayectorias de las partículas **47** comienzan en una región central dispuesta entre los electroimanes **42, 44**. Se genera un campo magnético **48** de dirección y magnitud constantes a través de los electroimanes **42, 44** de manera que el campo magnético **48** puede apuntar hacia adentro o hacia afuera, perpendicular al plano de los electroimanes **42, 44**. Los puntos **48** representados a través de los electroimanes **42, 44** representan el campo magnético que apunta hacia adentro o hacia afuera desde el plano de los electroimanes **42, 44**. En otras palabras, las superficies de los electroimanes **42, 44** están dispuestas perpendicularmente a la dirección del campo magnético.

Cada uno de los electroimanes **42, 44** puede estar conectado a un control **50** a través de los puntos de conexión **52, 54**, respectivamente. El control **50** puede regular un suministro de tensión alterna, por ejemplo contenido dentro del control **50**. El suministro de tensión alterna puede configurarse para crear un campo eléctrico alterno en la región entre los electroimanes **42, 44**, como se indica mediante las flechas **56**. Por consiguiente, la frecuencia de la señal de tensión proporcionada por el suministro de tensión crea un campo eléctrico oscilante entre los electroimanes **42, 44**. A medida que las partículas cargadas **47** se emiten desde la fuente de partículas **46**, las partículas **47** pueden verse influenciadas por el campo eléctrico **56**, forzando a la partícula **47** a moverse en una dirección particular, es decir, en una dirección a lo largo o contra el campo eléctrico, dependiendo de si la carga es positiva o negativa. Cuando las partículas cargadas **47** se mueven alrededor de los electroimanes **42, 44**, las partículas **47** pueden ya no estar bajo la influencia del campo eléctrico. Sin embargo, las partículas **47** pueden verse influenciadas por el campo magnético que apunta en una dirección perpendicular a su velocidad. En este punto, las partículas en movimiento **47** pueden experimentar una fuerza de Lorentz causando que las partículas **47** se sometan a un movimiento circular uniforme, como se observa en las trayectorias circulares **47** de la Fig. 2. Por consiguiente, cada vez que las partículas cargadas **47** pasan la región entre los electroimanes **42, 44**, las partículas **47** experimentan una fuerza eléctrica causada por el campo eléctrico alterno, que aumenta la energía de las partículas **47**. De esta manera, la inversión repetida del campo eléctrico entre los electroimanes **42, 44** en la región entre los electroimanes **42, 44** durante el breve periodo en que las partículas **47** atraviesan a su través hace que las partículas **47** formen una espiral hacia afuera hacia los bordes de los electroimanes **42, 44**.

Eventualmente, las partículas **47** pueden impactar una lámina (no representada) en un cierto radio, que las redirige tangencialmente al cuerpo objetivo **12**. La energía obtenida mientras las partículas **47** aceleran puede depositarse en el cuerpo objetivo **12** cuando las partículas **47** colisionan con el cuerpo objetivo **12**. En consecuencia, esto puede iniciar reacciones nucleares dentro del cuerpo objetivo **12**, produciendo radioisótopos dentro de la capa o capas del cuerpo objetivo (**12**). El control (**50**) puede adaptarse para controlar la magnitud del campo magnético (**48**) y magnitud del campo eléctrico **56**, controlando de ese modo la velocidad y, por lo tanto, la energía de las partículas cargadas cuando colisionan con el cuerpo objetivo **12**. El control **50** también puede acoplarse al objetivo **12** y/o al sistema refrigerante **22** para controlar los parámetros del objetivo **12** y/o el sistema refrigerante **22** como se describe anteriormente con respecto a la Fig. 1.

En algunas realizaciones de la presente divulgación, el cuerpo objetivo se bombardea durante aproximadamente 1 día, durante aproximadamente 3 días, durante aproximadamente 5 días, durante aproximadamente 7 días, durante aproximadamente 10 días, o durante aproximadamente 14 días. En una realización particular de la presente divulgación, el cuerpo objetivo se bombardea durante aproximadamente 4,4 días. La duración del bombardeo puede afectar el radioisótopo producido. En particular, el bombardeo prolongado del cuerpo objetivo producirá más del radioisótopo objetivo. Como se usa en el presente documento a lo largo de la presente divulgación, el bombardeo "prolongado" se refiere al bombardeo que se produce durante al menos cinco días.

C. Periodo de desintegración

Después de la irradiación y el bombardeo del cuerpo objetivo, generalmente se permite que el cuerpo objetivo se asiente durante un periodo de tiempo en el que los isótopos de vida corta no deseados se descompondrán. En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo puede procesarse sin esperar. Sin embargo, cuando el cuerpo objetivo se

procesa sin esperar, puede haber algunos problemas de pureza que surgen de la falta de un periodo de tiempo adecuado para permitir que el cuerpo objetivo se descomponga. En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo bombardeado se deja desintegrar durante aproximadamente 6 días. En otras realizaciones, el cuerpo objetivo bombardeado se deja desintegrar durante aproximadamente 7 días. En algunas realizaciones, el cuerpo objetivo bombardeado se deja desintegrar durante aproximadamente 14 días. En otras realizaciones, el cuerpo objetivo bombardeado se deja desintegrar durante al menos 14 días. Durante este periodo de desintegración, los materiales de vida corta como, por ejemplo, Ge-69, Ge-71, Cu-62, Cu-64, Cu-61, Cu-60, Zn-62 y Zn-63 se dejan desintegrar.

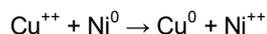
D. Depuración con mezcla ácida

Después de que el cuerpo o cuerpos objetivo, incluido el radioisótopo, se dejan desintegrar, el cuerpo o los cuerpos se depuran con una mezcla ácida. En las realizaciones, la mezcla ácida incluye ácido clorhídrico 3 M a 6 M y ácido nítrico 6 M a 15 M. Cuando el cuerpo objetivo se depura con esta mezcla ácida, el material de partida del radioisótopo se disuelve y se forma una solución depurada que incluye HCl, HNO₃ y el radioisótopo. En algunos casos, el agua también puede estar presente en la solución depurada. La depuración del cuerpo objetivo también eliminará cualquier cobre del cuerpo objetivo. En algunas realizaciones, se usan HCl 4,5 M y HNO₃ 10 M; o la mezcla ácida utilizada para depurar al cuerpo objetivo incluye trihidrato de nitrato de cobre (II) (Cu(NO₃)₂·3H₂O) y ácido nítrico (HNO₃). Cuando se usa esta mezcla y, por ejemplo, se usa un cuerpo objetivo de aleación de galio y níquel, puede producirse una reacción doble. Primero, los iones de cobre en la solución pueden desplazar electroquímicamente cualquier material de partida de galio, níquel y germanio como se muestra en las Reacciones 1, 2 y 3:

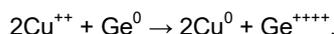
Reacción 1 - Desplazamiento único de galio con cobre



Reacción 2 - Desplazamiento único de níquel con cobre

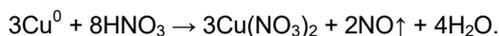


Reacción 3 - Desplazamiento único de germanio con cobre



Después de este desplazamiento, se produce la segunda reacción, que implica la disolución del cobre metálico formado en el ácido nítrico (como se muestra en la Reacción 4), que a su vez repone el nitrato de cobre (II) en la solución.

Reacción 4 - Disolución del cobre en ácido nítrico



La cantidad de mezcla ácida que se puede usar para el procedimiento de extracción puede variar de aproximadamente 20 ml a aproximadamente 100 ml, en una realización de aproximadamente 60 ml a aproximadamente 100 ml, en una realización de aproximadamente 20 ml a aproximadamente 40 ml. En una realización, la cantidad de mezcla ácida utilizada para depurar al cuerpo objetivo es de aproximadamente 30 ml. En algunas realizaciones de la presente divulgación, se usan 3 enjuagues de aproximadamente 10 ml cada uno para depurar al cuerpo objetivo.

También se puede usar un respiradero de carbón durante el proceso de depuración. El respiradero de carbón incluye un bote de carbón activado que está conectado a un orificio de ventilación en la parte superior de una celda de separación utilizada durante el proceso de depuración. El orificio de ventilación es la única salida desde la celda de depuración para cualquier gas que pueda generarse durante la depuración del cuerpo objetivo. Dichos gases que pueden generarse deben pasar a través del orificio de ventilación y, por lo tanto, son capturados por el carbón activado. En algunos casos, esto incluye la captura de tetracloruro de germanio.

Si se bombardean cuerpos objetivo duales y se están procesando, entonces las soluciones depuradas se combinan al final del proceso de depuración antes del siguiente paso de extracción. Es decir, cada cuerpo objetivo se depura por destilación por separado mediante el proceso descrito anteriormente y luego las dos soluciones depuradas se combinan en una para la etapa de extracción de disolvente no polar.

E. Extracción con un disolvente no polar

Después de que el cuerpo objetivo bombardeado que incluye el radioisótopo se depure por la mezcla ácida y forma una solución depurada, se usa un disolvente no polar para extraer el radioisótopo de la solución depurada. Esta etapa transfiere un radioisótopo deseado de la mezcla ácida a una fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo deseado. Cualquier disolvente no polar que sea adecuado en la industria se puede usar en la presente divulgación, siempre que el disolvente no polar usado esté dentro del alcance de la presente divulgación. Los

disolventes no polares adecuados que se pueden usar incluyen heptano, hexano, ciclohexano, pentano y tetracloruro de carbono. En una realización de la presente divulgación, se usa heptano como disolvente no polar para la extracción.

- 5 En algunas realizaciones, la cantidad inicial de disolvente no polar a usar en el proceso de extracción es de aproximadamente 100 ml a aproximadamente 140 ml, en una realización de aproximadamente 120 ml. En algunas realizaciones, antes de combinar la solución depurada con el disolvente no polar, el disolvente no polar se equilibra previamente. El disolvente no polar puede preequilibrarse con HCl 10 M. En realizaciones particulares, para preequilibrar el disolvente no polar se usan de aproximadamente 80 ml a aproximadamente 120 ml, en una
10 realización, se usan aproximadamente 100 ml de HCl 10 M.

- Una vez que el disolvente no polar se ha equilibrado previamente con el HCl, el disolvente no polar se puede añadir a un primer embudo separador ("primer embudo"). Antes de la adición del disolvente no polar preequilibrado al primer embudo, el primer embudo puede enfriarse a una temperatura de aproximadamente 10 °C o menos. Después
15 de que el disolvente no polar preequilibrado se añada al primer embudo refrigerado, pero antes de añadir la solución depurada, se añade una cantidad de HCl concentrado 12 M al primer embudo de modo que cuando se añade la solución depurada al primer embudo, la concentración de HCl será de 10 M. Por ejemplo, si la solución depurada contiene HCl 4,5 M antes de añadirse al primer embudo, entonces el volumen del HCl concentrado a añadir sería de 2,75 veces el volumen de la solución depurada. Así, por ejemplo, si la solución depurada fuera de 30 ml, entonces
20 se añadirían 82,5 ml de HCl concentrado ($2,75 \times 30$) al primer embudo antes de la adición de la solución depurada.

- En este punto, después de que el primer embudo separador se haya enfriado, se haya añadido el disolvente no polar preequilibrado y se haya añadido la cantidad requerida de HCl concentrado, la solución depurada se añade al primer embudo. A continuación, la solución depurada y el disolvente no polar se mezclan en el primer embudo
25 separador. La solución depurada y el disolvente no polar se pueden mezclar durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos, en una realización durante aproximadamente 5 minutos.

- Después de la mezcla, la solución depurada y el disolvente no polar pueden separarse. Cuando se produce la separación, se forman una primera capa de ácido y una primera capa de disolvente no polar. La primera capa de disolvente no polar incluye al menos parte del radioisótopo. En algunas realizaciones, la primera capa de disolvente no polar incluye aproximadamente el 80 % del radioisótopo en la capa después de la primera extracción. En algunas realizaciones, la separación tarda de aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos. Una vez que ocurre la separación, la primera capa de ácido se drena del primer embudo a un primer vaso de precipitados. En algunas realizaciones, el primer vaso de precipitados contiene de aproximadamente 3 ml a aproximadamente 7 ml,
30 en una realización aproximadamente 5 ml de disolvente no polar preequilibrado. El disolvente no polar se puede equilibrar previamente con HCl 10 M. En realizaciones particulares, para preequilibrar el disolvente no polar se usan de aproximadamente 80 ml a aproximadamente 120 ml, en una realización, se usan aproximadamente 100 ml de HCl 10 M. Cuando la primera capa de ácido se añade al primer vaso de precipitados y el primer vaso de precipitados contiene el disolvente no polar preequilibrado, el disolvente no polar, si es menos denso que el ácido, puede flotar en la parte superior del vaso de precipitados y formar un tapón que capturará cualquier tetracloruro de germanio que pueda volatilizarse de la solución. En algunas realizaciones, el disolvente no polar es más denso que el ácido y migrará al fondo del ácido.
35

- Después de que la primera capa de ácido se haya eliminado del primer embudo, la primera capa de disolvente no polar restante se drena en un segundo vaso de precipitados y se cubre. A continuación, la primera capa de ácido que está en el primer vaso de precipitados se añade de nuevo al primer embudo. Cuando la primera capa de ácido se coloca de nuevo en el primer embudo, se añade un disolvente no polar preequilibrado al primer embudo separador. En algunas realizaciones, de aproximadamente 10 ml a aproximadamente 30 ml, en una realización
45 aproximadamente 20 ml de disolvente no polar preequilibrado se añaden al primer embudo con la primera capa de ácido. A continuación, la primera capa de ácido y el disolvente no polar se mezclan (por ejemplo, durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos de mezcla) y se dejan separar (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos) después de mezclar en la primera capa de ácido y la segunda capa de disolvente no polar que incluye el radioisótopo.
50

- Después de que se produzca la separación entre la primera capa de ácido y la segunda capa de disolvente no polar que incluye el radioisótopo, la primera capa de ácido se drena en un tercer vaso de precipitados. En algunas realizaciones, el tercer vaso de precipitados contiene de aproximadamente 3 ml a aproximadamente 7 ml, en una realización aproximadamente 5 ml de disolvente no polar preequilibrado. Cuando la primera capa de ácido se añade al tercer vaso de precipitados y el tercer vaso de precipitados contiene el disolvente no polar preequilibrado, el disolvente no polar flotará en la parte superior del vaso de precipitados y formará un tapón que capturará cualquier tetracloruro de germanio que pueda volatilizarse de la solución.
55
60

- Después de que la primera capa de ácido se haya eliminado del primer embudo, la segunda capa de disolvente no polar restante se drena en el segundo vaso de precipitados, que contiene la primera capa de disolvente no polar previamente drenada, y se cubre. A continuación, la primera capa de ácido que está en el tercer vaso de precipitados se añade de nuevo al primer embudo. Cuando la primera capa de ácido se coloca de nuevo en el
65

primer embudo, se añade un disolvente no polar preequilibrado al primer embudo separador. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 10 ml a aproximadamente 30 ml, en una realización aproximadamente 20 ml de disolvente no polar preequilibrado al primer embudo con la primera capa de ácido. A continuación, la primera capa de ácido y el disolvente no polar se mezclan (por ejemplo, durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos de mezcla) y se dejan separar (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos) después de mezclar en la primera capa de ácido y la tercera capa de disolvente no polar que incluye el radioisótopo.

Después de que se produzca la separación entre la primera capa de ácido y la tercera capa de disolvente no polar que incluye el radioisótopo, la primera capa de ácido se drena en un cuarto vaso de precipitados. Esta vez, sin embargo, el cuarto vaso de precipitados no contiene disolvente no polar preequilibrado y la primera capa de ácido se desecha.

Después de que la primera capa de ácido se haya eliminado del primer embudo, la tercera capa de disolvente no polar restante se drena en el segundo vaso de precipitados, que contiene las primera y segunda capas de disolvente no polar previamente drenadas. Esto forma una capa de disolvente no polar combinada que incluye la primera, segunda y tercera capas de disolvente no polar, que incluyen todas el radioisótopo de las extracciones previas. En este punto del proceso, el radioisótopo se ha extraído de la solución depurada y está contenido en la fracción de disolvente no polar combinada.

F. Lavado

Después de que el radioisótopo se haya extraído de la solución depurada en una fracción de disolvente no polar combinada que incluye el radioisótopo, la fracción de disolvente no polar se lava. En algunas realizaciones de la presente divulgación, la fracción de disolvente no polar se lava con un ácido, en una realización con HCl.

En algunas realizaciones de la presente divulgación, antes de lavarse pero después de la extracción con disolvente no polar, la fracción de disolvente no polar combinada se devuelve al primer embudo separador. En este punto, se pueden añadir de aproximadamente 3 ml a aproximadamente 5 ml de disolvente no polar que contiene un colorante al primer embudo para crear una capa de disolvente no polar coloreada que incluye el radioisótopo. En algunas realizaciones, el colorante es un colorante azoico, en una realización un colorante rojo, o en otra realización el colorante azoico es D & C Rojo 17. Por lo tanto, cuando se añade un colorante a la fracción de disolvente no polar combinada, la fracción de disolvente no polar combinada que incluye el radioisótopo se transforma en una capa de disolvente no polar coloreada que incluye el radioisótopo. El colorante se puede añadir para que durante el proceso de lavado, se pueda diferenciar más fácilmente entre la capa de disolvente no polar y la capa de lavado (por ejemplo, ácida).

Después de que la fracción de disolvente no polar se añada al primer embudo separador (con o sin el colorante), puede añadirse un ácido al primer embudo separador. En una realización, el ácido es HCl. Incluso adicionalmente en una realización, el ácido es HCl 10 M. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 20 ml a aproximadamente 40 ml, y en una realización, se añaden aproximadamente 30 ml del ácido al primer embudo. Después de que se haya añadido el ácido al primer embudo, se mezclan el ácido y la fracción de disolvente no polar. El ácido y la fracción de disolvente no polar se pueden mezclar durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos, en una realización durante aproximadamente 5 minutos.

Después de mezclar, el ácido y la fracción de disolvente no polar se dejan separar en una segunda capa de ácido y la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo. En algunas realizaciones, la separación tarda de aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos. Después de la separación, la segunda capa de ácido se drena del primer embudo y se desecha.

Después de que la segunda capa de ácido se haya drenado y desechado, se añade nuevamente un ácido (por ejemplo, HCl 10 M) al primer embudo, que todavía incluye la fracción de disolvente no polar. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 20 ml a aproximadamente 40 ml, y en una realización, se añaden aproximadamente 30 ml del ácido al primer embudo. Después de que el ácido se haya añadido al primer embudo, el ácido y la fracción de disolvente no polar se mezclan (por ejemplo, durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos) y se dejan separar en una tercera capa de ácido y la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos de tiempo de separación). Después de la separación, la tercera capa de ácido se drena del primer embudo y se desecha.

Después de que la tercera capa de ácido se haya drenado y desechado, se añade nuevamente un ácido (por ejemplo, HCl 10 M) al primer embudo, que todavía incluye la fracción de disolvente no polar. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 20 ml a aproximadamente 40 ml, y en una realización, se añaden aproximadamente 30 ml del ácido al primer embudo. Después de que se haya añadido el ácido al primer embudo, el ácido y la fracción de disolvente no polar se mezclan (por ejemplo, durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos) y se dejan separar en una cuarta capa de ácido y la fracción de disolvente no polar

que incluye el radioisótopo (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos de tiempo de separación). Después de la separación, la cuarta capa de ácido se drena del primer embudo y se desecha.

- 5 Una vez que la cuarta capa de ácido se drena del primer embudo separador, la fracción de disolvente no polar que queda en el primer embudo se mezcla (por ejemplo, durante aproximadamente 3 minutos a aproximadamente 7 minutos). Esta mezcla recogerá cualquier exceso de ácido (por ejemplo, HCl) que quede en el embudo. Después de mezclar, el disolvente no polar y cualquier exceso de ácido se dejan separar (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos de tiempo de separación) en una quinta capa de ácido y la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo. Después de la separación, la quinta capa de ácido se drena y descarta. En este punto, la fracción de disolvente no polar se ha lavado y está lista para la extracción usando agua.

G. Concentración de radioisótopo de germanio usando un cartucho de SPE

- 15 En algunas realizaciones, la extracción puede realizarse con un cartucho de diol. Un ejemplo de un cartucho de diol adecuado que se puede usar de acuerdo con la presente divulgación es un cartucho de extracción en fase sólida (SPE). Cuando se usa un cartucho de diol para la extracción, se puede llevar a cabo el siguiente procedimiento ejemplar para obtener un radioisótopo.

- 20 Los siguientes materiales/reactivos a modo de ejemplo se pueden usar para la extracción del cartucho de diol: (1) una bomba de vacío (por ejemplo, un sistema de vacío seco autolimpiante Welch Model 2027); (2) una jeringa desechable de 30 ml; (3) un cartucho de diol; (4) 18 agujas de 1" de calibre, (5) un tapón de cara de teflón, (6) un vial de vidrio para desechos de 50 ml, (7) un vial de recolección de muestras de vidrio de 10 ml; (8) n-heptano; (9) HCl 0,5 M y (10) una solución de heptano que contiene germanio.

- 25 En el procedimiento ejemplar, el aparato de vacío se puede configurar ajustando el vial de residuos de vidrio de 50 ml con un tapón de cara de teflón. A continuación, se puede conectar un tubo de la bomba de vacío a una aguja, después de lo cual la aguja se puede insertar en el tapón con cara de teflón. En este punto, se puede obtener una nueva aguja junto con un cartucho y una jeringa. El émbolo de la jeringa se puede quitar y descartar. El cilindro de la jeringa se puede unir al cartucho. La nueva aguja también se puede unir al cartucho. A continuación, la aguja puede insertarse en el tapón de cara de teflón en el frasco de residuos de vidrio.

- 30 Una vez que se configura el aparato de vacío, puede prepararse el cartucho. La bomba de vacío se puede encender y configurar a 25 mm de mercurio (Hg). A continuación, el cartucho se puede prehumedecer transfiriendo 5-10 ml de heptano al cilindro de la jeringa, y el heptano puede extraerse a través del cartucho utilizando el vacío. Este paso satura el cartucho con heptano y ayuda a evitar que el oxígeno ingrese en el cartucho. A continuación, el heptano se puede recoger en el vial de residuos de vidrio.

- 40 Después de preparar el cartucho, se puede cargar el radioisótopo (por ejemplo, germanio). Primero, la solución de heptano que contiene, por ejemplo, germanio, puede transferirse al cilindro de la jeringa. A continuación, la solución puede extraerse a través del cartucho utilizando vacío. A continuación, una vez que la solución ha pasado completamente a través del cartucho, se puede continuar el flujo de aire a través del cartucho durante al menos un minuto para secar el cartucho. Finalmente, la solución se puede recoger en un nuevo vial de desecho y guardarse para analizar en un momento posterior, como, por ejemplo, el día siguiente.

- 45 Cuando se ha cargado el radioisótopo, el siguiente paso puede ser la elución del radioisótopo. En primer lugar, se puede unir un vial de vidrio de 10 ml al tapón de cara de teflón, mientras se deja intacto el resto del dispositivo de vacío. Entonces, el radioisótopo se puede eluir transfiriendo aproximadamente 5 ml de HCl 0,5 M al barril de la jeringa y se puede extraer usando vacío. El eluyente puede recogerse entonces en el vial de vidrio de 10 ml. Una vez que el eluyente ha pasado completamente a través del cartucho, se puede continuar el flujo de aire a través del cartucho durante al menos un minuto para secar el cartucho, punto en el que puede desconectarse el vacío. El vial puede extraerse entonces del aparato de vacío. El vial se puede guardar y analizar después de que, por ejemplo, se haya formado galio-68 a partir de germanio-68. Esto se puede hacer el día después de la elución. En algunas realizaciones, el cartucho puede analizarse nuevamente (por ejemplo, al día siguiente) para recoger cualquier radioisótopo residual, tal como galio-68 de germanio-68.

En algunas realizaciones de la presente divulgación, si se usa la extracción del cartucho de diol anteriormente mencionado, entonces no es necesario usar la extracción usando agua descrita a continuación en la sección "H".

60 H. Extracción usando agua

- Una vez que la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo se ha lavado, el radioisótopo se extrae del disolvente no polar usando agua. Antes de la extracción usando agua, la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo se transfiere desde el primer embudo separador a un segundo embudo separador ("segundo embudo"). En algunas realizaciones de la presente divulgación, antes de que la fracción de disolvente no polar se transfiera al segundo embudo, el segundo embudo puede enfriarse a una temperatura de aproximadamente 10 °C o

menos.

Después de que la fracción disolvente no polar que incluye el radioisótopo se añada al segundo embudo, entonces se añade agua al segundo embudo. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 5 ml a
5 aproximadamente 15 ml, y en una realización, se añaden aproximadamente 10 ml de agua al segundo embudo. Una vez que se ha añadido el agua, el agua y la fracción de disolvente no polar se mezclan en el segundo embudo. En algunas realizaciones, el agua y la fracción de disolvente no polar se mezclan durante aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos, y en una realización durante aproximadamente 10 minutos en el segundo embudo. Después de mezclar, el agua y la fracción de disolvente no polar se dejan separar en una capa con la fracción de
10 disolvente no polar combinada y una primera capa de agua que incluye el radioisótopo. En algunas realizaciones, la separación ocurrirá durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos. En algunas realizaciones, la fracción de disolvente no polar combinada se tiñe. Después de la separación, la primera capa de agua que incluye el radioisótopo se drena en un quinto vaso de precipitados.

Después de que la primera capa de agua que incluye el radioisótopo se drene en el quinto vaso de precipitados, entonces se añade agua nuevamente al segundo embudo, que todavía incluye la capa con la fracción de disolvente no polar combinada. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 5 ml a aproximadamente 15 ml, y en una realización, se añaden aproximadamente 10 ml de agua al segundo embudo. Una vez que se ha añadido el
15 agua, el agua y la capa con la fracción de disolvente no polar combinada se mezclan en el segundo embudo (por ejemplo, durante aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos) y se dejan separar (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos) en la capa con la fracción de disolvente no polar combinada y una segunda capa de agua que incluye el radioisótopo. Después de la separación, la segunda
20 capa de agua que incluye el radioisótopo se drena en el quinto vaso de precipitados, que contiene la primera capa de agua que incluye el radioisótopo.

Después de que la segunda capa de agua que incluye el radioisótopo se drene en el quinto vaso de precipitados, entonces se añade agua nuevamente al segundo embudo, que todavía incluye la capa con la fracción de disolvente no polar combinada. En algunas realizaciones, se añaden de aproximadamente 5 ml a aproximadamente 15 ml, en una realización se añaden aproximadamente 10 ml de agua al segundo embudo. Una vez que se ha añadido el
25 agua, el agua y la capa con la fracción de disolvente no polar combinada se mezclan en el segundo embudo (por ejemplo, durante aproximadamente 5 minutos a aproximadamente 15 minutos) y se dejan separar (por ejemplo, durante aproximadamente 2 minutos a aproximadamente 5 minutos) en la capa con la fracción de disolvente no polar combinada y una tercera capa de agua que incluye el radioisótopo. Después de la separación, la tercera capa de agua que incluye el radioisótopo se drena en el quinto vaso de precipitados, que contiene la primera y la segunda
30 capas de agua que incluyen el radioisótopo. El quinto vaso de precipitados contiene entonces una fracción de agua combinada que incluye el radioisótopo, que incluye la primera, segunda y tercera capas de agua que incluyen el radioisótopo del proceso de extracción con disolvente no polar. En este punto, el radioisótopo se ha extraído del disolvente no polar en la fracción de agua combinada y el disolvente no polar se puede descartar.

40 I. Obtención del radioisótopo

Después de que el radioisótopo se haya extraído de la fracción de disolvente no polar, el radioisótopo se puede obtener solo de la fracción de agua. En algunas realizaciones, la fracción de agua combinada que incluye el radioisótopo se calienta para evaporar el agua. En realizaciones particulares, la fracción de agua combinada se
45 calienta para evaporar la fracción de agua combinada a un volumen de aproximadamente 3 ml a aproximadamente 4 ml para un solo objetivo, y de aproximadamente 4 ml a aproximadamente 6 ml para objetivos duales. En algunas realizaciones, la fracción de agua combinada se calienta a una temperatura de aproximadamente 65 °C a aproximadamente 75 °C. El proceso de calentamiento puede durar varias horas, y en algunas realizaciones dura de aproximadamente 1 hora a aproximadamente 6 horas.

Después de que se produzca el calentamiento/evaporación, se puede obtener el radioisótopo. En algunas realizaciones, el radioisótopo se obtiene en una solución más concentrada que contiene el radioisótopo. En algunas realizaciones, la solución es clara e incolora. En algunas realizaciones particulares, el radioisótopo obtenido es Ge-68. En algunas realizaciones, la cantidad de radioisótopo que se puede obtener es de aproximadamente 100 mCi a
50 aproximadamente 500 mCi.

A la vista de la presente divulgación, será evidente que son posibles modificaciones y variaciones en el proceso detallado en la presente memoria sin apartarse del alcance pretendido de la divulgación y tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.
60

60 Ejemplos

Los siguientes ejemplos no limitantes se proporcionan solo con fines ilustrativos y, por lo tanto, no deben considerarse en un sentido limitativo.
65

Ejemplo 1: Bombardeo dual de 7 días de una aleación objetivo de galio-níquel

Una primera aleación objetivo de galio-níquel de acuerdo con la presente divulgación se bombardeó durante aproximadamente 7 días a una corriente de haz promedio de aproximadamente 186,35 microamperios y una energía de haz de aproximadamente 29,4 MeV.

- 5 Una segunda aleación objetivo de galio-níquel de acuerdo con la presente divulgación también se bombardeó durante aproximadamente 7 días a una corriente de haz promedio de aproximadamente 186,35 microamperios y una energía de haz de aproximadamente 29,1 MeV.

10 Después de un tiempo de desintegración de aproximadamente dos semanas para cada objetivo, cada uno de los objetivos se procesó de acuerdo con el proceso de generación de radioisótopos descrito a lo largo de esta divulgación. Es decir, cada objetivo se sometió a extracción con una mezcla ácida que incluía HCl 4,5 M y HNO₃ 10 M, extracción que usa heptano, lavado con HCl 10 M y extracción con agua.

15 La primera extracción de agua usó 9,5 ml de agua. La segunda extracción de agua usó 9,9 ml de agua. La tercera extracción de agua utilizó 9,9 ml de agua.

20 Ambas soluciones objetivo procesadas se combinaron y se midieron para el contenido de Ge-68. Se obtuvo una actividad total de Ge-68 de aproximadamente 479 millicurios, que contenía aproximadamente 40 millicurios de Ge-69. Un resumen de la actividad en cada fracción se da en la Tabla 1:

Tabla 1: Fracciones de actividad de objetivos duales de siete días

Fracción	mCi Ge-68	% de Ge-68	mCi Ge-69	% de Ge-69
Agua-1	418	87,3	34,9	87,3
Agua-2	37,6	7,85	3,24	8,10
Agua-3	23,2	4,48	1,85	4,63

Como se puede ver en los porcentajes extraídos, el Ge-69 se comporta químicamente como el Ge-68.

25 **Ejemplo 2:** Bombardeo de 4,4 días de una aleación objetivo de galio-níquel

Una aleación objetivo de galio-níquel de acuerdo con la presente divulgación se bombardeó durante aproximadamente 4,4 días a una corriente de haz promedio de aproximadamente 183, 5 microamperios y una energía de haz de aproximadamente 29,5 MeV.

30 Después de un tiempo de desintegración de aproximadamente 18 días, el objetivo se procesó de acuerdo con el proceso de generación de radioisótopos descrito a lo largo de esta divulgación. Es decir, el objetivo se sometió a extracción con una mezcla ácida que incluye HCl 4,5 M y HNO₃ 10 M, extracción usando heptano, lavado con HCl 10 M, y extracción usando agua.

35 La primera extracción de agua usó 9,5 ml de agua. La segunda extracción de agua usó 9,2 ml de agua. La tercera extracción de agua usó 9,5 ml de agua.

40 Se obtuvo una actividad total de Ge-68 de 104,321 millicurios, que contenía algo de Ge-69. Un resumen de la actividad en cada fracción se da en la Tabla 2:

Tabla 2: Fracción de actividad del objetivo de 4,4 días

Fracción	mCi Ge-68	% de Ge-68
Agua-1	90,012	86,2
Agua-2	12,799	12,2
Agua-3	1,783	1,7

45 Cuando se introducen elementos de la presente invención o su realización o realizaciones preferidas, los artículos "un", "una", "el/la" y "dicho/a" está previsto que signifiquen que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende", "que incluye" y "que tiene" pretenden ser inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales distintos de los elementos enumerados.

50 Dado que podrían realizarse diversos cambios en los métodos y composiciones anteriores (incluidos intervalos de concentraciones, etc.) sin apartarse del alcance de la presente divulgación, se pretende que todo el material contenido en la descripción anterior se interprete como ilustrativo y no limitante en ningún sentido.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para generar un radioisótopo, el proceso comprende:

5 bombardear un cuerpo objetivo que incluye un material de partida, donde el bombardeo del material de partida produce un radioisótopo dentro del cuerpo objetivo;
 permitir que el cuerpo objetivo bombardeado se desintegre;
 depurar el cuerpo objetivo bombardeado con una mezcla ácida para crear una solución depurada, donde la
 10 mezcla ácida incluye (a) trihidrato de nitrato de cobre (II) y ácido nítrico, o (b) ácido clorhídrico 3 M a 6 M y ácido nítrico 6 M a 15 M;
 extraer el radioisótopo de la solución depurada usando un disolvente no polar para eliminar la mezcla ácida y crear una fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo;
 lavar la fracción de disolvente no polar que incluye el radioisótopo; y,
 15 extraer el radioisótopo de la fracción de disolvente no polar usando agua.

2. El proceso de la reivindicación 1, donde el radioisótopo es germanio-68; el cuerpo objetivo incluye una aleación de galio y níquel, y donde el bombardeo de la aleación de galio y níquel produce un radioisótopo de germanio dentro del cuerpo objetivo.

20 3. El proceso de la reivindicación 1, donde el radioisótopo es germanio-68.

4. El proceso de la reivindicación 1, donde el material de partida es una aleación que comprende galio, donde la aleación incluye opcionalmente un metal seleccionado del grupo que consiste en níquel, indio, estaño, hierro, rutenio, osmio, cromo, renio, molibdeno, tungsteno, manganeso, cobalto, rodio y combinaciones de los mismos, tales
 25 como en donde la aleación incluye galio y níquel.

5. El proceso de la reivindicación 2 o 4, donde la aleación incluye de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 80 % de galio, en peso de la aleación, tal como en donde la aleación incluye de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 75 % de galio, en peso de la aleación.

30 6. El proceso de la reivindicación 4, donde el metal está presente en la aleación en una cantidad de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 90 %, en peso de la aleación.

7. El proceso de la reivindicación 2 o 4, donde la aleación incluye de aproximadamente el 60 % a aproximadamente el 75 % de galio y de aproximadamente el 25 % a aproximadamente el 40 % de níquel, en peso de la aleación, tal como en donde la aleación incluye aproximadamente el 60 % de galio y aproximadamente el 40 % de níquel, en peso de la aleación.

40 8. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde la mezcla ácida incluye HCl 4,5 M y HNO₃ 10 M.

9. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el cuerpo objetivo se bombardea por un acelerador de partículas, donde el acelerador de partículas incluye opcionalmente un ciclotrón.

45 10. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde la fracción de disolvente no polar se lava con HCl, tal como donde la fracción de disolvente no polar se lava con HCl 10 M.

11. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el radioisótopo se extrae del disolvente no polar usando agua para crear una fracción de agua que incluye el radioisótopo, donde la fracción de agua que incluye el radioisótopo se calienta opcionalmente para evaporar el agua y obtener el radioisótopo.

50 12. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el disolvente no polar se selecciona del grupo que consiste en heptano, hexano, ciclohexano, pentano y tetracloruro de carbono.

13. El proceso de cualquier reivindicación anterior, donde el disolvente no polar es heptano.

55

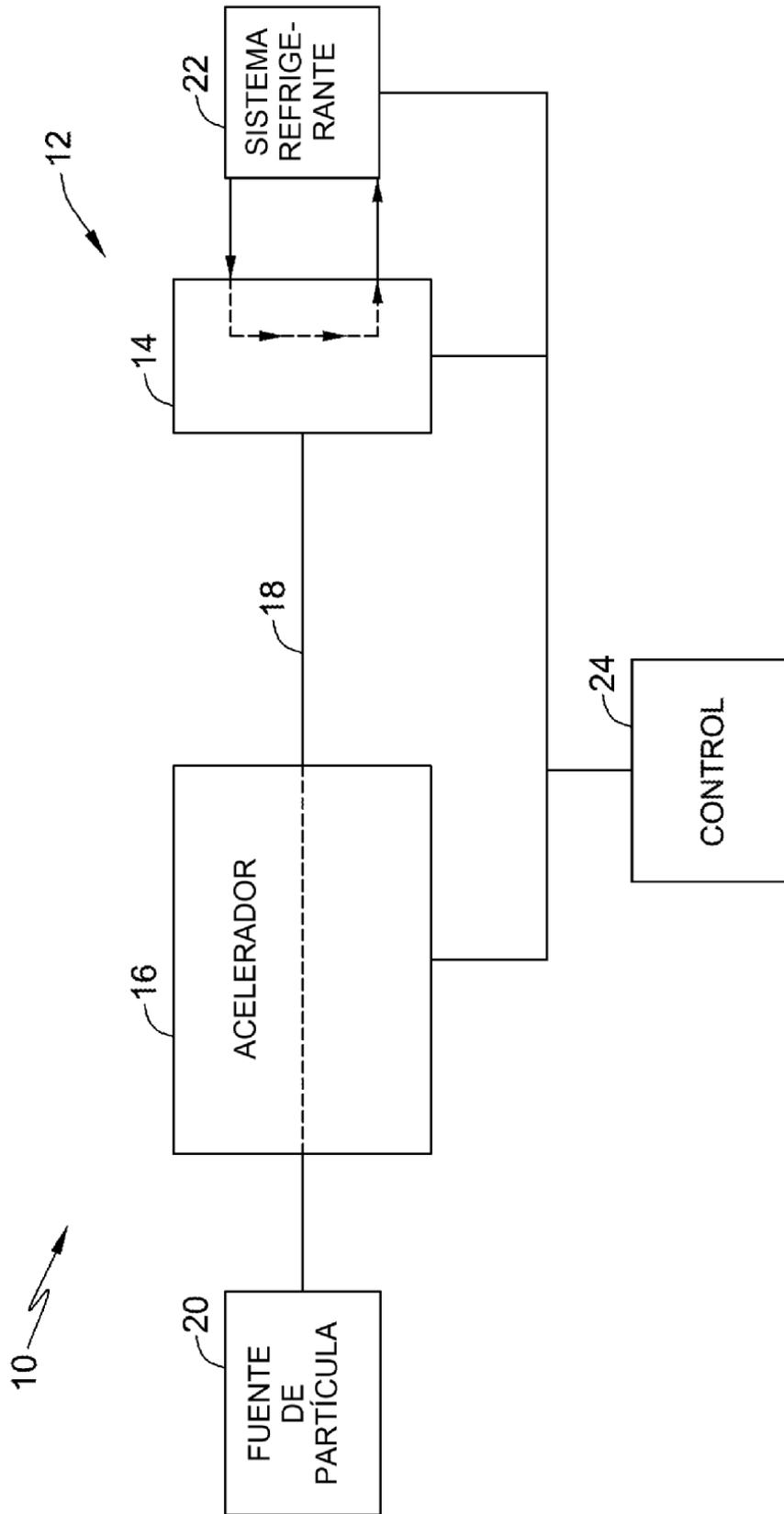


FIG. 1

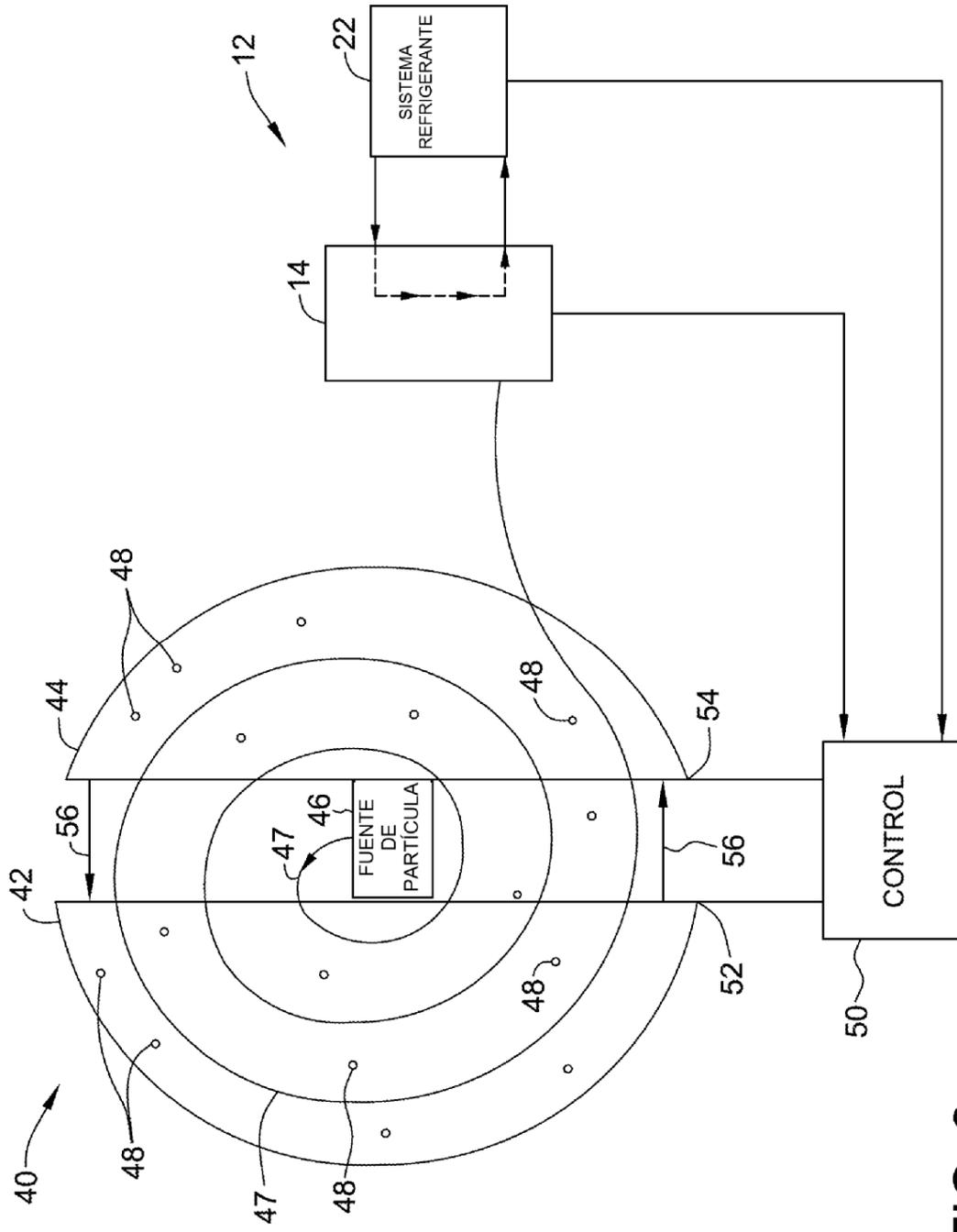


FIG. 2

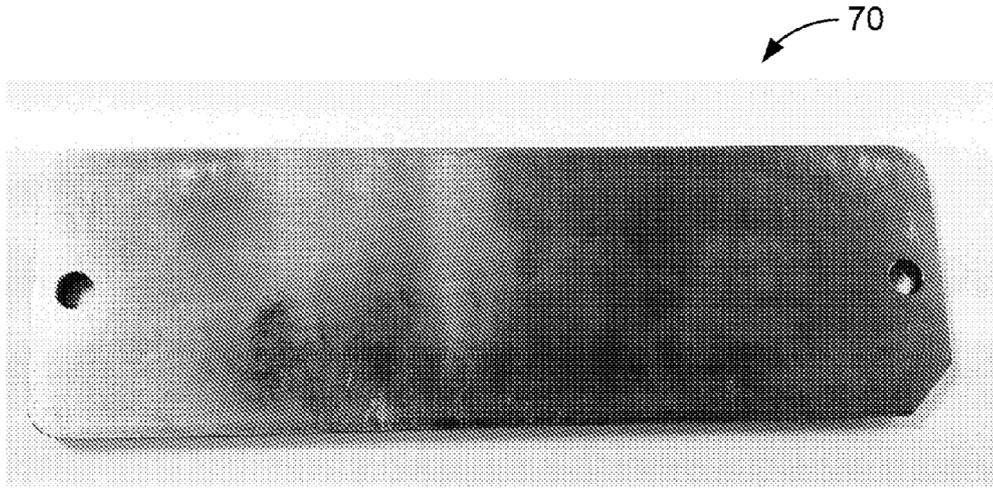


FIG. 3

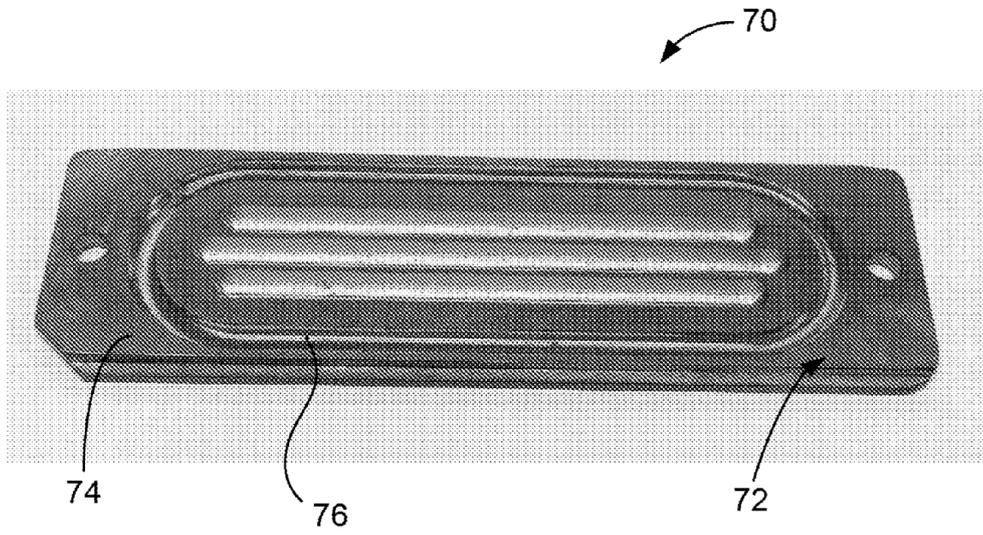


FIG. 4