

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 750**

51 Int. Cl.:

G21G 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.07.2015 PCT/EP2015/066670**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2017 WO17012655**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2015 E 15741980 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 3326175**

54 Título: **Sistema y procedimiento de recogida de blancos de irradiación activados de un reactor nuclear y un sistema de generación de radionucleidos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.03.2021

73 Titular/es:
**FRAMATOME GMBH (100.0%)
Paul-Gossen-Strasse 100
91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:
**RICHTER, THOMAS, FABIAN;
SYKORA, ALEXANDER;
KANNWISCHER, WILFRIED y
JAAFAR, LEILA**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 812 750 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

Sistema y procedimiento de recogida de blancos de irradiación activados de un reactor nuclear y un sistema de generación de radionucleidos

5

CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a un sistema y procedimiento para recoger blancos de irradiación activados de un reactor nuclear, y un sistema de generación de radionucleidos configurado para producir radionucleidos a partir de blancos de irradiación insertados en un dedo de instrumentación en un núcleo de reactor nuclear comercial.

ANTECEDENTES TÉCNICO DE LA INVENCION

15 **[0002]** Los radionucleidos se utilizan en diversos campos de la tecnología y la ciencia, así como para fines médicos. Por lo general, los radionucleidos se producen en reactores de investigación o ciclotrones. Dado que el número de instalaciones para la producción comercial de radionucleidos es limitado y se espera que disminuya, se desea proporcionar sitios de producción alternativos.

20 **[0003]** El documento EP 2 093 773 A2 sugiere que los sistemas de tubos de instrumentación existentes utilizados convencionalmente para alojar detectores de neutrones pueden utilizarse para generar radionucleidos durante el funcionamiento normal de un reactor nuclear comercial. En particular, los blancos de irradiación esféricos se empujan linealmente y se retiran de los dedos de instrumentación que se extienden hacia el núcleo del reactor. Con base en el perfil de flujo de neutrones axiales del núcleo del reactor, se determinan la posición óptima y el tiempo de exposición de los blancos en el núcleo del reactor. Se utiliza un sistema de engranajes de accionamiento para mover y mantener los blancos de irradiación en el sistema de tubos de instrumentación.

30 **[0004]** El documento US 2013/0177118 A1 describe un sistema que permite que los blancos de irradiación se irradien en un reactor nuclear y se depositen en una configuración recogible sin interacción humana directa ni interrupción de las actividades de producción de energía. El sistema incluye puntos finales accesibles que almacenan isótopos producidos deseados para su manipulación y/o envío. Un tubo de barril es configurado para su uso con múltiples barriles de almacenamiento basado en las propiedades de los blancos. Se pueden insertar uno o más topes en el tubo de barril en las posiciones deseadas para separar una determinada población de blancos de irradiación. Una realización específica muestra dos topes proporcionados en un tubo de barril a una distancia predeterminada que corresponde a una longitud de esferas guía. Las esferas guía a continuación se pueden vaciar del tubo de barril mediante gravedad o fuerza neumática en un barril aparte u otra instalación.

40 **[0005]** El documento US 2013/0170927 A1 describe aparatos y procedimientos para producir radioisótopos en tubos de instrumentación de reactores nucleares comerciales en funcionamiento. Los blancos de irradiación se insertan y retiran de los tubos de instrumentación durante el funcionamiento y se convierten en radioisótopos. Una estación de recogida se proporciona fuera de un área de acceso restringido para permitir acceso para rellenar o recoger los blancos durante el funcionamiento de la planta. Un barril de recogida y/o tubo de barril puede estar equipado con un contador o detector de actividad de blancos que cuente o mida las propiedades de los blancos de irradiación que se mueven hacia el barril de recogida.

45

[0006] El documento US 2013/0315361 A1 se refiere a aparatos y procedimientos para producir radioisótopos en múltiples tubos de instrumentación de reactores nucleares comerciales en funcionamiento. Los blancos de irradiación se insertan y retiran de múltiples tubos de instrumentación y se convierten en radioisótopos durante el funcionamiento del reactor nuclear. Blancos de irradiación de posicionamiento se utilizan para posicionar adecuadamente otros blancos de irradiación en posiciones apropiadas dentro o cerca del núcleo nuclear. Los blancos de posicionamiento se pueden escoger desde el barril de recogida debido a sus marcas o propiedades físicas, u otros discriminadores pueden desviar selectivamente los blancos de posicionamiento a puntos de terminación alternativos.

50 **[0007]** Los sistemas de medición convencionales por aerobolas se conocen en la técnica y se describen, por ejemplo, en los documentos GB 1 324 380 A y US 3,263,081 A.

60 **[0008]** Debido a la alta actividad de los blancos de irradiación activados recuperados del sistema de tubos de instrumentación, y dado que el espacio dentro del confinamiento del reactor es limitado, los blancos activados son difíciles de manejar. En particular, los blancos activados, incluidos los radionucleidos, se deben colocar y almacenar en contenedores provistos de blindaje contra radiación pesada. Las cámaras para el sistema de Sonda de Entrada Transversal al Núcleo (TIP - Traversing Incore Probe) y/o sistema de medición por aerobolas no tienen ninguna estructura para embalar y transportar esos contenedores pesados. El suministro de cierres hidráulicos adicionales en el confinamiento del reactor para la manipulación de los blancos activados y los contenedores blindados también sería demasiado caro.

65

RESUMEN DE LA INVENCION

- [0009]** Es un objeto de la invención proporcionar un sistema de recogida para blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear comercial, tal como el dedo de instrumentación de un sistema de medición por aerobolas o un sistema de Sonda de Entrada Transversal al Núcleo (TIP - Traversing Incore Probe) que se extiende hacia el núcleo de un reactor nuclear, que permite una fácil manipulación de contenedores de almacenamiento blindados y una fácil recogida de los blancos activados durante el funcionamiento del reactor, y que puede instalarse posteriormente en estructuras existentes dentro de áreas accesibles del confinamiento del reactor.
- [0010]** Los objetos anteriores se resuelven mediante un sistema de recogida de radionucleidos según la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas y convenientes de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes que se pueden combinar entre sí independientemente.
- [0011]** Según un primer aspecto, la invención proporciona un sistema de recogida de blancos de irradiación que comprende al menos un contenedor de almacenamiento para recibir blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear; un tubo de descarga que tiene un puerto de salida configurado para acoplarse al contenedor de almacenamiento; y un elemento de bloqueo proporcionado en el tubo de descarga para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados al contenedor de almacenamiento; donde el tubo de descarga comprende una primera sección del tubo de descarga, una segunda sección del tubo de descarga y un ápice formado en una unión de la primera y segunda secciones del tubo de descarga, donde la primera y segunda secciones del tubo de descarga se dirigen hacia abajo desde el ápice, donde el puerto de salida está dispuesto en un extremo de la primera sección del tubo de descarga y donde la segunda sección del tubo de descarga está acoplada al sistema de tubos de instrumentación.
- [0012]** Según un aspecto adicional, la invención proporciona un sistema de generación de radionucleidos que comprende:
- un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear que incluye al menos un dedo de instrumentación que se extiende hacia un núcleo del reactor nuclear, donde el sistema de tubos de instrumentación está configurado para permitir la inserción y remoción de blancos de irradiación en el dedo de instrumentación;
 - un sistema de accionamiento de blancos configurado para insertar los blancos de irradiación en el dedo de instrumentación en un orden lineal predeterminado y para retirar los blancos de irradiación del dedo de instrumentación;
 - un sistema de monitoreo del núcleo y un conjunto de instrumentación y control vinculados entre sí y configurados para calcular una posición y tiempo de irradiación axial óptimos para los blancos de irradiación basado en un estado real del reactor nuclear tal como lo proporciona el sistema de monitoreo del núcleo; y
 - un sistema de recogida de blancos que comprende al menos un contenedor de almacenamiento para recibir los blancos de irradiación activados del sistema de tubos de instrumentación del reactor nuclear, un tubo de descarga que tiene un puerto de salida configurado para acoplarse al contenedor de almacenamiento; y un elemento de bloqueo proporcionado en el tubo de descarga para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados al contenedor de almacenamiento; donde el tubo de descarga comprende una primera sección del tubo de descarga, una segunda sección del tubo de descarga y un ápice formado en una unión de la primera y segunda secciones del tubo de descarga, donde la primera y segunda secciones del tubo de descarga se dirigen hacia abajo desde el ápice, donde el puerto de salida está dispuesto en un extremo de la primera sección del tubo de descarga y donde la segunda sección del tubo de descarga está acoplada al sistema de tubos de instrumentación.
- [0013]** En otro aspecto, la invención es un procedimiento para recoger blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear, donde el procedimiento comprende las etapas de:
- Acoplar el sistema de tubos de instrumentación a un tubo de descarga que tiene un ápice, un puerto de salida y un elemento de bloqueo entre el ápice y el puerto de salida;
 - Pasar los blancos de irradiación activados del sistema de tubos de instrumentación al tubo de descarga y bloquear el movimiento del blanco de irradiación activado fuera del tubo de salida mediante el elemento de bloqueo;
 - Separar una cantidad predefinida de los blancos irradiados activados de otra cantidad de los blancos irradiados activados en el tubo de descarga;
 - Acoplar el puerto de salida a un contenedor de almacenamiento y liberar el elemento de bloqueo para pasar la cantidad predefinida de los blancos irradiados activados bajo la acción de la gravedad al contenedor de

almacenamiento;

5 donde dicha etapa de separación comprende pasar la cantidad predefinida de los blancos de irradiación activados sobre el ápice y mantener la otra cantidad de blancos de irradiación activados en el tubo de descarga o el sistema de tubos de instrumentación por medio del ápice.

10 **[0014]** Según la invención, los blancos de irradiación activados que incluyen los radionucleidos se retiran del dedo de instrumentación y se pasan al tubo de descarga, donde una cantidad predefinida de los blancos irradiados se separa de los blancos irradiados restantes en el tubo de descarga, y la cantidad predefinida de los blancos irradiados se libera del tubo de descarga a un contenedor de almacenamiento blindado bajo la acción de la gravedad. Dado que sólo una cantidad predefinida de los blancos activados que tienen una actividad inferior predeterminada se recoge del sistema y se almacena en el contenedor blindado, se pueden utilizar contenedores mucho más pequeños que son fáciles de transportar, ya sea manualmente o por medio de estructuras de manipulación existentes dentro del confinamiento del reactor.

15 **[0015]** El tubo de descarga del sistema de recogida de blancos está configurado para recibir los blancos de irradiación activados desde el sistema de tubos de instrumentación del reactor nuclear. El tubo de descarga comprende un ápice que divide el tubo de descarga en una primera sección próxima a un puerto de salida y una segunda sección acoplada al sistema de tubos de instrumentación. Se proporciona un elemento de bloqueo en la primera sección del tubo de descarga cerca del puerto de salida para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados fuera del tubo de descarga.

20 **[0016]** Los blancos de irradiación activados que pasan del sistema de tubos de instrumentación al tubo de descarga se mantienen en el tubo por el elemento de bloqueo. Uno de varios contenedores de almacenamiento blindados está acoplado al puerto de salida. Cuando se abre el elemento de bloqueo, la cantidad predefinida de los blancos activados sale del tubo de descarga impulsada por gravedad y se recoge en el contenedor de almacenamiento blindado. La cantidad de blancos activados que salen del tubo de salida se determina por la longitud de la columna de blancos en la primera sección del tubo de descarga. Posteriormente, el elemento de bloqueo se puede cerrar y los blancos activados restantes en el tubo de descarga se pueden volver a introducir en el sistema de tubos de instrumentación utilizando aire presurizado o cualquier otro gas adecuado tal como nitrógeno. El contenedor de almacenamiento blindado se puede cerrar y transportar fuera del confinamiento del reactor.

25 **[0017]** La invención proporciona un sistema simple y rentable para la división y recogida de blancos de irradiación activados. Los blancos se pueden liberar del tubo de descarga bajo la acción de la gravedad utilizando un simple elemento de bloqueo, en lugar de utilizar aire o gas presurizado. Por lo tanto, la generación de aerosoles se minimiza durante la liberación de los blancos. La división de los blancos es posible mediante la definición de la longitud de la primera sección del tubo de descarga entre el elemento de bloqueo y el ápice que corresponde a la longitud de la columna de blancos y, por lo tanto, la cantidad de blancos liberados de la primera sección del tubo de descarga. No se necesitan clasificadores ni contadores de blancos. Si se desea, los blancos activados retenidos en la segunda sección del tubo de descarga pueden ser conducidos de nuevo a una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación, o incluso de regreso al dedo de instrumentación. Esto minimizará aún más la exposición del operador a la radiactividad.

30 **[0018]** Según una realización preferida del sistema de recogida de blancos de irradiación, el puerto de salida comprende un elemento de válvula para sellar herméticamente el tubo de descarga. El sellado del puerto de salida facilita la retirada segura del contenedor de almacenamiento lleno de blancos de irradiación activados. No se liberan aerosoles en el confinamiento durante el transporte de los blancos dentro de los tubos de instrumentación.

35 **[0019]** Preferentemente, el puerto de salida está ubicado dentro de un área accesible del confinamiento del reactor.

40 **[0020]** Preferentemente, el tubo de descarga comprende una unión en T ubicada entre el elemento de bloqueo y el puerto de salida, donde la unión en T está configurada para suministrar y descargar aire presurizado dentro y fuera del tubo de descarga. Proporcionar la unión en T para el suministro de aire es una medida fácil y rentable para controlar el movimiento de los blancos de irradiación activados en el tubo de descarga. Aun preferentemente, la unión en T comprende una válvula de tres vías.

45 **[0021]** Más preferentemente, la primera sección del tubo de descarga, la segunda sección del tubo de descarga y el ápice tienen la forma de una U inversa. La cantidad predefinida de los blancos de irradiación activados que se separarán de los otros blancos se define a continuación por la longitud de una pierna de la U inversa, entre el elemento de bloqueo y el ápice, correspondiente a la longitud de la columna de blancos en esta pierna. La forma en U inversa proporciona una división confiable de los blancos de irradiación activados. Además, la liberación de la columna de blancos de la pierna en U inversa es posible bajo la acción de la gravedad simplemente abriendo el elemento de bloqueo. Por lo tanto, se pueden evitar daños a los blancos de irradiación activados.

50

[0022] Según una realización adicional, el elemento de bloqueo se encuentra en un primer nivel, donde la segunda sección del tubo de descarga tiene un punto base opuesto al ápice y el punto base se encuentra en un segundo nivel, donde el primer nivel es más alto que el segundo nivel. En otras palabras, una altura de la columna de blancos en la primera sección del tubo de descarga correspondiente a una distancia entre el elemento de bloqueo y el ápice es menor que una altura de la columna de blancos en la segunda sección del tubo de descarga o distancia entre el punto base de la segunda sección del tubo de descarga y el ápice. Debido a la mayor altura de la columna de blancos en la segunda sección del tubo de descarga, el ápice retiene de forma confiable la otra cantidad de blancos en la segunda sección del tubo de descarga o sistema de tubos de instrumentación sin ningún medio mecánico adicional.

5
10

[0023] En otra realización preferida, el elemento de bloqueo es un elemento de restricción operado magnética o mecánicamente, preferentemente un pasador. Estos elementos están disponibles como componentes estándar a bajo costo.

[0024] El sistema de recogida de blancos de irradiación puede comprender además uno o más imanes dispuestos en la primera sección del tubo de descarga entre el ápice y el elemento de bloqueo. Preferentemente, los imanes se pueden utilizar para seleccionar y separar los blancos de irradiación activados de los blancos ficticios en el tubo de descarga. Los blancos ficticios están hechos de un material inerte y pueden utilizarse para lograr un posicionamiento axial adecuado de los blancos de irradiación en el núcleo del reactor nuclear. Más preferentemente, uno de los blancos de irradiación y los blancos ficticios es ferromagnético, mientras que el otro de los blancos de irradiación y blancos ficticios es no magnético o paramagnético.

[0025] Preferentemente, el uno o más imanes se seleccionan de entre un imán permanente y un solenoide. Aún más preferentemente, el uno o más imanes se pueden mover a lo largo de la primera sección del tubo de descarga para exponer selectivamente blancos ferromagnéticos a un campo magnético y retener los blancos ferromagnéticos en el tubo de descarga.

[0026] El procedimiento para recoger blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear comprende preferentemente la etapa de transferir la otra cantidad de los blancos de irradiación activados de la segunda sección del tubo de descarga a una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación o volver al dedo de instrumentación antes de retirar el contenedor de almacenamiento del puerto de salida. La posición de retención puede estar alejada del tubo de descarga en un área blindada o de acceso restringido del reactor. Esta realización minimizará adicionalmente cualquier exposición a la radiación por un operador.

[0027] Más preferentemente, las etapas del procedimiento de recogida se repiten hasta que todos los blancos de irradiación activados se retiran del sistema, y porciones de los blancos de irradiación activados se almacenan en una cantidad de contenedores de almacenamiento.

[0028] La invención proporciona un sistema y procedimiento para recoger blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear comercial, donde la cantidad total de actividad transferida a un contenedor de almacenamiento se reduce mediante la división de los blancos de irradiación activados. Por lo tanto, se pueden utilizar contenedores de almacenamiento más pequeños con menos blindaje, lo que permite una fácil manipulación de los contenedores dentro del confinamiento del reactor. El sistema de recogida utiliza componentes mecánicos simples y, por lo tanto, puede instalarse posteriormente en estructuras de reactores existentes, como un sistema de medición por aerobolas.

[0029] En una realización preferida, se pueden utilizar blancos ficticios para colocar los blancos de irradiación en el dedo de instrumentación, y los blancos de irradiación activados se separan de los blancos ficticios por medio de sus diferentes propiedades magnéticas. Uno o más imanes posicionados en la primera sección del tubo de descarga se utilizan para retener uno de los blancos ficticios o blancos de irradiación dentro del sistema de tubos de instrumentación y suministrar el otro de los blancos ficticios o los blancos de irradiación a un contenedor de almacenamiento o tanque intermedio, respectivamente.

[0030] Separar los blancos por medio de diferentes propiedades magnéticas permite un procesamiento remoto rápido de los blancos de irradiación activados y también puede evitar el uso de sistemas mecánicos adicionales tales como contadores, indexadores y puertas para determinar la posición exacta de los blancos ficticios y los blancos de irradiación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

60

[0031] Otras características y ventajas de la invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones preferidas y de los dibujos adjuntos, donde los elementos similares están representados por números similares. Las realizaciones preferidas se dan a modo de ilustración solamente y no pretenden limitar el alcance de la invención que es evidente a partir de las reivindicaciones adjuntas.

65

[0032] En los dibujos:

- La Figura 1 muestra un boceto esquemático de un sistema de generación de radionucleidos configurado según la invención;

- La figura 2 muestra un dedo de instrumentación lleno en parte con blancos de irradiación y en parte con blancos ficticios;

- La Figura 3 muestra un boceto esquemático de un sistema de recogida de blancos y tubo de descarga de la presente invención; y

- La figura 4 muestra un boceto esquemático de otro tubo de descarga para la recogida de blancos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

[0033] La invención contempla que se puede utilizar un reactor nuclear comercial para producir radionucleidos. En particular, los sistemas de medición convencionales por aerobolas u otros sistemas de tubos de instrumentación del reactor comercial se pueden modificar y/o complementar para permitir una producción eficaz y eficiente de radionucleidos.

[0034] Algunos de los tubos de instrumentación, por ejemplo, de un sistema comercial de medición por aerobolas o sistema de Sonda de Entrada Transversal al Núcleo (TIP - Traversing Incore Probe) se utilizan para guiar los blancos de irradiación hacia el núcleo del reactor y para dirigir los blancos de irradiación activados fuera del núcleo del reactor. La activación de los blancos se optimiza colocando los blancos de irradiación en áreas predeterminadas del núcleo del reactor que tienen un flujo de neutrones suficiente para convertir el material original en los blancos de irradiación completamente en el radionucleido deseado.

[0035] El posicionamiento adecuado de los blancos de irradiación puede lograrse mediante blancos ficticios hechos de un material inerte y secuenciar los blancos ficticios y los blancos de irradiación en el sistema de tubos de instrumentación para formar una columna de los blancos en el dedo de instrumentación donde los blancos de irradiación están en una posición axial óptima precalculada en el núcleo del reactor y las otras posiciones están ocupadas por los blancos ficticios inertes o permanecen vacías.

[0036] La Figura 1 ilustra la configuración básica de un sistema de generación de radionucleidos dentro de una planta de energía nuclear comercial. A diferencia de un reactor de investigación, el propósito de un reactor nuclear comercial es la producción de energía eléctrica. Los reactores nucleares comerciales típicamente tienen una potencia nominal de más de 100 Megavatios eléctricos.

[0037] La base del sistema de generación de radionucleidos descrito en los ejemplos de realizaciones se deriva de un sistema de medición por aerobolas convencional utilizado para medir la densidad de flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear. Una pluralidad de aerobolas se disponen en un orden lineal formando así una columna de aerobolas. Las aerobolas son sondas sustancialmente esféricas o redondas, pero pueden tener otras formas tales como elipsoides o cilindros, siempre que sean capaces de moverse a través de los conductos del sistema del tubo de instrumentación. El sistema de medición por aerobolas incluye un sistema de accionamiento operado neumáticamente configurado para insertar las aerobolas en un dedo de instrumentación que se extiende hacia y pasa el núcleo a través de toda su longitud axial, y para retirar las aerobolas del dedo de instrumentación después de la activación.

[0038] Para facilitar la referencia, en lo adelante el sistema de generación de radionucleidos basado en un sistema comercial de medición por aerobolas también se denominará MAS o Medical Aeroball System (Sistema Médico de Aerobolas). El sistema de recogida de blancos de irradiación de la presente invención también se puede construir como un sistema independiente que se fija a un tubo de instrumentación nuclear no modificado de un sistema de medición por aerobolas regular. El sistema de recogida de blancos inventivo se configura a continuación para que sea móvil y solo se acople temporalmente al sistema del tubo de instrumentación durante la descarga de blancos. Por lo tanto, no se requiere ninguna modificación permanente del sistema de medición por aerobolas.

[0039] A continuación, se describirán con más detalle los principales componentes del MAS, que se proporcionan además de los del sistema comercial de medición por aerobolas, o que se complementan o modifican.

[0040] Con referencia a la Figura 1, un reactor nuclear comercial comprende un sistema de tubos de instrumentación 12 que incluye al menos un dedo de instrumentación 14 que pasa a través de un núcleo 10 del reactor nuclear. El sistema de tubos de instrumentación 12 está configurado para permitir la inserción y extracción de blancos de irradiación 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 (ver Fig. 2) en el dedo de instrumentación 14.

[0041] El sistema de medición por aerobolas del reactor nuclear comercial está adaptado para manejar blancos de irradiación 16 que tienen una forma redonda, cilíndrica, elíptica o esférica y que tienen un diámetro correspondiente

a la holgura del dedo de instrumentación del sistema de medición por aerobolas. Preferentemente, el diámetro de los blancos 16, 18 se encuentra en el intervalo de entre 1 y 3 mm, preferentemente alrededor de 1,7 mm.

5 **[0042]** Los conductos del sistema de tubos de instrumentación 12 penetran una barrera de acceso 11 del reactor y están acoplados a uno o más dedos de instrumentación 14. Preferentemente, el dedo de instrumentación penetra en la cubierta del recipiente a presión del reactor nuclear, con el dedo de instrumentación 14 extendiéndose de la parte superior a la parte inferior sobre sustancialmente toda la longitud axial del núcleo del reactor 10. Un extremo del dedo de instrumentación 14 en la parte inferior del núcleo del reactor 10 está cerrado y/o provisto de un tope de modo que los blancos de irradiación 16 insertados en el dedo de instrumentación formen una columna donde cada
10 blanco 16 se encuentra en una posición axial predefinida.

[0043] Preferentemente, uno o más sensores de humedad (no mostrados) pueden proporcionarse en el sistema de tubos de instrumentación 12 para detectar cualquier entrada de refrigerante primario (o cualquier otro líquido) en el MAS. Se entiende que los dedos de instrumentación 14 utilizados para el MAS están en contacto directo con el
15 refrigerante primario que rodea los elementos combustibles en el núcleo del reactor nuclear. Los sensores de humedad pueden basarse en bujías que se modifican para medir la resistencia eléctrica.

[0044] Más preferentemente, el sistema de tubos de instrumentación 12 comprende sensores adicionales (no mostrados) para monitorear la presencia y el tiempo de funcionamiento de los blancos de irradiación 16 y
20 opcionalmente los blancos ficticios 18 que pasan a través del sistema de tubos de instrumentación 12, en particular hacia dentro y hacia fuera del dedo de instrumentación 14. Estos sensores se disponen preferentemente en los conductos que penetran en el núcleo del reactor 10. El principio de medición puede basarse en la detección de una variación del flujo magnético a medida que los blancos de irradiación 16 y/o los blancos ficticios 18 pasan por los sensores para medir el tiempo de transporte y la integridad.

25 **[0045]** Preferentemente, los sensores se utilizan para monitorear que todos los blancos de irradiación 16 hayan dejado el dedo de instrumentación 14 durante el procedimiento de extracción mientras los blancos pasan por los sensores. Además, o como alternativa, se pueden utilizar sensores de actividad para detectar la radiación de los blancos de irradiación 16 y/o los blancos ficticios 18.

30 **[0046]** Según una realización preferida, el reactor nuclear comercial es un reactor de agua presurizada. Más preferentemente, el sistema de tubos de instrumentación se deriva de un sistema de medición por aerobolas convencional de un reactor de agua a presión (PWR - Pressurized Water Reactor) tal como un reactor nuclear PWR de EPR™ o Siemens™.

35 **[0047]** Sin embargo, el experto en la materia reconocerá que la invención no se limita al uso de un sistema de medición por aerobolas de un reactor PWR. Más bien, también es posible utilizar los tubos de instrumentación del sistema de Sonda de Entrada Transversal al Núcleo (TIP - Traversing Incore Probe) de un reactor de agua hirviendo (BWR - Boiling Water Reactor), los puertos de visualización de un reactor CANDU y los canales de medición de
40 temperatura y/o flujo de neutrones en un reactor de agua pesada.

[0048] Como se muestra en la Fig. 1, el sistema de tubos de instrumentación 12 está conectado a un sistema de accionamiento de blancos 20 configurado para insertar los blancos de irradiación 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 en el dedo de instrumentación 14 en un orden lineal predeterminado y para forzar los blancos de irradiación
45 16 y los blancos ficticios 18 fuera del dedo de instrumentación 14, reteniendo así el orden lineal de los blancos.

[0049] Preferentemente, el sistema de accionamiento de blancos 20 se opera neumáticamente permitiendo un procesamiento rápido de los blancos de irradiación 16 y opcionalmente los blancos ficticios 18 usando gas presurizado tal como nitrógeno o aire.

50 **[0050]** Más preferentemente, el sistema de accionamiento de blancos 20 comprende una o más baterías de válvulas operadas neumáticamente (no mostradas) para el control separado de la inserción y el transporte de los blancos de irradiación 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 en el sistema de tubos de instrumentación. Con base en esta separación de controles, el sistema regular de medición por aerobolas para determinar el flujo de neutrones
55 en el núcleo y el sistema de generación de radionucleidos se puede operar independientemente entre sí. Las baterías de válvulas del sistema de accionamiento de blancos 20 se pueden implementar como un subsistema adicional además de las baterías de válvulas del sistema de medición por aerobolas convencional, o se instala un sistema de accionamiento de blancos separado.

60 **[0051]** Además, el sistema de accionamiento de blancos 20 puede comprender además un sistema de compuerta (no mostrado) que incluye varios dispositivos mecánicos y/o electromecánicos configurados para guiar los blancos de irradiación 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 hacia conductos seleccionados del sistema de tubos de instrumentación 12 y dedos de instrumentación 14 en el núcleo del reactor 10.

65 **[0052]** El sistema de accionamiento de blancos 20 coopera con un sistema de recogida de blancos 22

configurado para recibir blancos de irradiación activados 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 del sistema de tubos de instrumentación 12 y pasar una cantidad predefinida de los blancos de irradiación activados a un contenedor de almacenamiento blindado. A continuación, se describirá con mayor detalle el sistema de recogida de blancos, con referencia a la Fig. 3.

5

[0053] El sistema de accionamiento 20 también puede comprender un sistema de compuerta (no mostrado) para guiar a los blancos 16, 18 desde el núcleo del reactor hasta el sistema de recogida de blancos 22.

[0054] Con referencia adicional a la Figura 1, un conjunto de instrumentación y control (ICU - Instrumentation and Control Unit) 24 está conectado al sistema de accionamiento de blancos 20 y el sistema de recogida de blancos 22, así como un sistema de monitoreo del núcleo en línea 26 para controlar la activación de los blancos de irradiación 16. Preferentemente, el ICU 24 también está conectado a un sistema de monitoreo de fallas 28 del sistema de medición por aerobolas para informar cualquier error en el MAS. El sistema de monitoreo de fallas 28 también se puede diseñar sin conexión al sistema de medición por aerobolas existente, pero se puede conectar directamente a la sala de control principal.

[0055] Según una realización preferida, el sistema de monitoreo del núcleo 26 y el conjunto de instrumentación y control 24 están configurados de manera que el procedimiento de activación para convertir los blancos de irradiación 16 en el radionucleido deseado se optimiza considerando el estado real del reactor, especialmente el flujo de neutrones actual, la quema de combustible, la energía y/o carga del reactor. Por lo tanto, se puede calcular una posición de irradiación axial y tiempo de irradiación óptimos para obtener resultados óptimos. Sin embargo, no es importante si el cálculo real se realiza en el ICU 24 o por el sistema de monitoreo del núcleo 26 del sistema de medición por aerobolas.

[0056] El ICU 24 está conectado con el software del sistema de monitoreo del núcleo en línea 26 a través de una interfaz. El software está configurado para calcular el tiempo de irradiación requerido para los blancos en línea según el flujo de neutrones real. El MAS es operado por el ICU 24. Las señales de inicio/parada para la activación del blanco se intercambian entre ambos sistemas. El ICU 24 está conectado adicionalmente a los componentes mecánicos del MAS, incluidos los sensores. El sistema de monitoreo del núcleo en línea 26 del sistema de medición por aerobolas convencional, tal como el sistema de software de monitoreo del núcleo POWER-TRAX/S™ disponible de Areva™, es capaz de proporcionar sustancialmente todos los datos de entrada relevantes para el cálculo de las condiciones de activación óptimas necesarias para una generación eficiente de radionucleidos.

[0057] Preferentemente, la información proporcionada por el sistema de monitoreo del núcleo 26 al conjunto de instrumentación y control 24 incluye al menos uno de los siguientes: flujo de neutrones (de detectores fuera o dentro del núcleo), valores de activación de un sistema de medición por aerobolas existente, combustión, potencia del reactor, carga, posición(es) de varillas, velocidad de flujo, temperatura de entrada, presión y sincronización de tiempo. Cuanta más información sobre el reactor se considere como datos de entrada, más precisos serán los resultados del cálculo de la posición óptima de irradiación axial y el tiempo de irradiación. Los parámetros mencionados anteriormente pueden incluir valores en tiempo real y cualquier valor derivado, como la evolución durante un período de tiempo predefinido.

[0058] La información obtenida del sistema de monitoreo del núcleo 26 también se puede usar en el ICU 24 para calcular otros parámetros tales como la cantidad de blancos de irradiación 16 en un dedo de instrumentación específico 14 que define la longitud real de la columna de blancos respectiva, y las posiciones de los blancos de irradiación individuales 16 y opcionalmente blancos ficticios 18 dentro de la columna de blancos. En función de los resultados de los cálculos, el ICU 24 y/o un operador operarán los componentes mecánicos del MAS.

[0059] En una realización preferida, el ICU 24 está configurado de modo que el funcionamiento de las válvulas del sistema de accionamiento de blancos 20 está al menos parcialmente automatizado para lograr un funcionamiento seguro y confiable del sistema de accionamiento de blancos.

[0060] Más preferentemente, el conjunto de instrumentación y control 24 puede estar configurado para controlar automáticamente la presión en el sistema de tubos de instrumentación 12, en particular después de cada inserción de blancos de irradiación 16 y/o blancos ficticios 18 por el sistema de accionamiento de blancos 20.

55

[0061] El funcionamiento del sistema de generación de radionucleidos se monitorea y controla preferentemente en una estación de operador a través de un conjunto de procesamiento. El conjunto de procesamiento se puede instalar en un armario de control separado en una sala de armarios de control (no se muestra). El conjunto de procesamiento está equipado con una pantalla y, entre otras cosas, permite controlar parámetros específicos de las baterías de válvulas del sistema de accionamiento de blancos 20 y el sistema de recogida de blancos 22.

60

[0062] En la estación del operador se puede controlar el estado de los blancos de irradiación 16 durante la irradiación y el tiempo de irradiación restante. Cuando el tiempo de irradiación de un conjunto de blancos 16 en un dedo de instrumentación 14 alcanza el tiempo calculado, un mensaje indica al operador que inicie el procedimiento de extracción y recogida con respecto a este dedo de instrumentación 14. El funcionamiento de las diversas válvulas del

65

sistema de accionamiento de blancos 20 está parcialmente automatizado para que acciones repetidas se realicen de forma segura y confiable.

- 5 **[0063]** Después de cada inserción de blancos de irradiación 16 y blancos ficticios 18 en el sistema de tubos de instrumentación 12, la presión en el sistema de tubos se comprueba y regula de una manera totalmente automatizada. El ICU 24 también recopila señales digitales adicionales representativas de ciertas condiciones del sistema. Especialmente, las señales de los sensores de humedad permiten un monitoreo de fugas tal como la entrada de refrigerante primario en el sistema de tubos de instrumentación 12.
- 10 **[0064]** Un armario de carga del sistema de medición por aerobolas también puede proporcionar la energía eléctrica para los componentes del sistema de generación de radionucleidos, que incluye las baterías de válvulas y el conjunto de procesamiento en el armario de control. Se puede instalar un inversor de potencia adicional que tenga fusibles adecuados en el armario de carga. También es posible usar una alimentación adicional de 24 voltios proporcionada en la sala del armario de control.
- 15 **[0065]** Con referencia a la Figura 2, un dedo de instrumentación 14 u otro conducto de aerobolas del sistema de tubos de instrumentación 12 penetra una cubierta del recipiente a presión del reactor. El dedo de instrumentación 14 se extiende de la parte superior a la parte inferior sustancialmente sobre toda la longitud axial del núcleo del reactor 10. Los blancos de irradiación 16 y opcionalmente los blancos ficticios 18 se insertan en el dedo de instrumentación 20 14 en un orden lineal para formar una columna de blancos donde cada blanco 16, 18 se encuentra en una posición axial predefinida. El dedo de instrumentación 14 comprende un puerto de entrada de gas 30 en la parte superior del dedo que está acoplado al sistema de accionamiento de blancos 20.
- 25 **[0066]** Alternativamente, también es posible insertar los blancos en el dedo de instrumentación 14 desde un pozo seco en la parte inferior del núcleo del reactor 10, por ejemplo, si el sistema de Sonda de Entrada Transversal al Núcleo (TIP - Traversing Incore Probe) de un reactor de agua hirviendo se utiliza como el sistema de tubos de instrumentación 12. En este caso, se proporcionan medios adicionales para retener los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 en el dedo de instrumentación 14.
- 30 **[0067]** Los blancos de irradiación 16 están hechos de material no fisionable y comprenden un material precursor adecuado para generar radionucleidos que se utilizarán para fines médicos y/u otros fines. Más preferentemente, los blancos de irradiación consisten en el material precursor que se convierte en un radionucleido deseado tras la activación mediante exposición al flujo de neutrones presente en el núcleo de un reactor nuclear comercial en funcionamiento. Materiales precursores útiles son Mo-98, Yb-176 y Lu-176 que se convierten en Mo-99 y Lu-177, 35 respectivamente. Sin embargo, se entiende que la invención no se limita al uso de un material precursor específico.
- 40 **[0068]** Los blancos ficticios 18 están hechos de un material inerte que no se activa sustancialmente bajo las condiciones del núcleo 10 de un reactor nuclear en funcionamiento. Preferentemente, los blancos ficticios pueden estar hechos de materiales inertes baratos y pueden reutilizarse después de un corto tiempo de decaimiento para 40 reducir aún más la cantidad de residuos radiactivos.
- 45 **[0069]** Para su uso en un sistema de medición por aerobolas convencional, los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 tienen una forma redonda, preferentemente una forma esférica o cilíndrica, de modo que los blancos puedan deslizarse suavemente a través y puedan guiarse fácilmente en el sistema de tubos de 45 instrumentación 12 del sistema de medición por aerobolas por gas presurizado, tal como aire o nitrógeno, y/o bajo la acción de la gravedad.
- 50 **[0070]** Según una realización preferida, los blancos ficticios 18 y los blancos de irradiación 16 tienen propiedades magnéticas diferentes. Preferentemente, los blancos ficticios 18 o los blancos de irradiación 16 son magnéticamente atraíbles. Más preferentemente, uno de los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 es ferromagnético, mientras que el otro de los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 es no magnético o paramagnético. Aún más preferentemente, los blancos ficticios 18 están hechos de un material ferromagnético tal como hierro o aleaciones de hierro, incluyendo acero inoxidable ferrítico o ferrita.
- 55 **[0071]** Con la ayuda del sistema de monitoreo del núcleo en línea 26, es posible determinar las secciones 32, 36 del dedo de instrumentación 14 en las que el flujo de neutrones es demasiado bajo para producir radionucleidos, y las secciones 34 en las que el flujo de neutrones está por encima de la demanda de los blancos de irradiación requerida y, por lo tanto, suficiente para producir los radionucleidos deseados.
- 60 **[0072]** Para eliminar cualquier desperdicio de blancos de irradiación caros 16, se proporcionan blancos ficticios 18 y se colocan preferentemente en la sección del extremo inferior 32 del dedo de irradiación 14 que tiene una densidad de flujo de neutrones demasiado baja para la generación de radionucleidos.
- 65 **[0073]** Según la realización mostrada en la Fig. 2, los blancos de irradiación 16 se colocan arriba y se mantienen en su lugar por los blancos ficticios 18 en una sección central 34 del dedo de irradiación 14 donde el flujo de neutrones

es suficiente para convertir completamente los blancos de irradiación en los radionucleidos deseados, según lo determinado por el ICU 24 y/o el sistema de monitoreo del núcleo en línea 26.

5 **[0074]** Según una realización preferida de la invención, una sección superior 36 del dedo de instrumentación 14 se mantiene vacía.

10 **[0075]** En un reactor de agua presurizada comercial, la sección central 34 del dedo de instrumentación útil para la generación de radionucleidos generalmente se extiende sobre aproximadamente 3-4 metros, y las secciones terminales 32, 36 se extienden sobre 0,5 a 1 metro. Estos valores pueden variar según el tipo de reactor y el estado real de funcionamiento del reactor, y serán diferentes para los reactores de agua hirviendo, los reactores de agua pesada y los reactores CANDU, respectivamente.

15 **[0076]** En otra realización (no mostrada), uno o más de los blancos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 pueden estar separados entre sí por uno o más blancos ficticios 18, definiendo así subsecciones de blancos de irradiación. Los blancos de irradiación en las subsecciones de blancos de irradiación preferentemente tienen propiedades de material iguales o diferentes. Más preferentemente, los blancos de irradiación en subsecciones adyacentes difieren con respecto al material precursor utilizado para la generación de radionucleidos. Esta realización permitirá la producción de diferentes radionucleidos en una operación de una sola etapa.

20 **[0077]** El posicionamiento óptimo de los blancos de irradiación 16 mediante blancos ficticios económicos 18 en un sistema de tubos de instrumentación 12 de un reactor nuclear comercial proporciona una producción eficaz y económica de radionucleidos durante el funcionamiento del reactor, y también evita la producción de residuos nucleares debido a la activación incompleta del blanco.

25 **[0078]** El sistema de recogida de blancos de irradiación 22 de la presente invención se muestra esquemáticamente en la Fig. 3.

30 **[0079]** Se conecta un tubo de descarga 38 al dedo de instrumentación 14 a través de conductos de aerobolas del sistema de tubos de instrumentación 12. El tubo de descarga 38 está configurado para recibir los blancos de irradiación 16 extraídos del dedo de instrumentación después de que se completa la activación. El orden lineal de los blancos de irradiación 16 y/o los blancos ficticios 18 se retiene en el tubo de descarga. Preferentemente, el tubo de descarga 38 se ubica fuera del núcleo del reactor 10, pero dentro de áreas accesibles dentro del confinamiento del reactor.

35 **[0080]** El tubo de descarga 38 tiene un puerto de salida 40 que puede acoplarse a al menos un contenedor de almacenamiento 42, 42' para recibir los blancos de irradiación activados 16 del dedo de instrumentación 14. El contenedor de almacenamiento 42, 42' preferentemente tiene un blindaje para minimizar la exposición de un operador a la radiación de los blancos de irradiación activados 16.

40 **[0081]** Se proporciona un elemento de bloqueo 44 en el tubo de descarga 38 para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados al contenedor de almacenamiento. El elemento de bloqueo 44 puede ser un elemento de restricción operado magnética o mecánicamente, preferentemente un pasador que atraviesa el tubo de descarga 38.

45 **[0082]** Con referencia a la Fig. 3, el tubo de descarga 38 comprende una primera sección del tubo de descarga 46, una segunda sección del tubo de descarga 48 y un ápice 50 formado en una unión de la primera y segunda secciones del tubo de descarga 46, 48. El ápice 50 es el punto más alto del tubo de descarga 38. La primera y segunda secciones del tubo de descarga 46, 48 se dirigen hacia abajo desde el ápice 50. El puerto de salida 40 está dispuesto en un extremo libre de la primera sección del tubo de descarga 46, opuesta al ápice, y la segunda sección del tubo de descarga 48 está acoplada al sistema de tubos de instrumentación 12.

50 **[0083]** El puerto de salida 40 comprende un elemento de válvulas 52 para sellar herméticamente el tubo de descarga. Una unión en T 54 se ubica entre el elemento de bloqueo 44 y el puerto de salida 40, donde la unión en T 54 tiene un puerto de entrada de gas 56 para suministrar gas presurizado en el tubo de descarga 38, y también una salida de gas para descargar gas fuera del sistema. Preferiblemente, la unión en T se configura como una válvula de tres vías. El gas presurizado se puede suministrar desde el sistema de accionamiento de blancos 20, o desde un frasco de gas externo, en particular cuando el sistema de recogida se opera como un sistema independiente sin modificación del sistema de medición por aerobolas regular.

60 **[0084]** En la realización mostrada en la Fig. 3, la primera sección del tubo de descarga 46, la segunda sección del tubo de descarga 48 y el ápice 50 tienen la forma de una U inversa. Otros perfiles del tubo de descarga 38 son posibles siempre y cuando el ápice 50 formado entre la primera y la segunda secciones del tubo de descarga 46, 48 tenga un radio lo suficientemente pequeño como para separar eficazmente las columnas de blancos en la primera y segunda secciones de tubo 46, 48 entre sí.

65

- [0085]** Además, como se muestra en la Fig. 3, el elemento de bloqueo 44 está en un primer nivel 58, y la segunda sección del tubo de descarga 48 tiene un punto base 60 opuesto al ápice en un segundo nivel 62. El primer nivel 58 es más alto que el segundo nivel 62. Por consiguiente, una distancia d_1 entre el elemento de bloqueo 44 y el ápice 50 correspondiente a una altura de la columna de blancos en la primera sección del tubo de descarga 46 es inferior a la distancia d_2 entre el punto base 60 de la segunda sección del tubo de descarga 48 y el ápice 50 correspondiente a una altura de la columna de blancos en la segunda sección del tubo de descarga 48. Por lo tanto, los blancos en la segunda sección del tubo de descarga 48 pueden tener una masa mayor que el total de la columna de blancos en la primera sección del tubo de descarga 46. La diferencia de altura ayuda al efecto del ápice 50 y facilita la separación de los blancos sin utilizar ningún otro medio mecánico.
- [0086]** A continuación, se describe con mayor detalle el funcionamiento del sistema de recogida de blancos de irradiación de la invención.
- [0087]** Los blancos de irradiación 16 activados en el dedo de instrumentación 14 durante un período de tiempo suficiente para convertir los blancos en el radionucleido deseado se extraen del dedo de instrumentación 14 hacia el sistema de tubos de instrumentación 12 usando gas presurizado tal como aire o nitrógeno suministrado desde el sistema de accionamiento de blancos 20. El tubo de descarga 38 está acoplado a conductos del sistema de tubos de instrumentación 12 para recibir los blancos de irradiación 16. Se puede utilizar un sistema de compuerta tal como una válvula de tres vías para guiar los blancos de irradiación 16 en el tubo de descarga 38 del sistema de recogida de blancos 22. El orden lineal de los blancos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 se conserva en el tubo de descarga 38.
- [0088]** En este momento, el acceso al puerto de salida 40 del tubo de descarga 38 está bloqueado por el elemento de bloqueo 44 que proporciona un tope para los blancos de irradiación activados 16 y evita que los blancos 16 salgan del tubo de descarga 38.
- [0089]** Los blancos de irradiación activados 16 que entran en el tubo de descarga 38 pasan por el ápice 50 formado en una unión entre la primera y la segunda secciones del tubo de descarga 46, 48. Una cantidad predefinida (16") de los blancos de irradiación activados 16 se ubica cerca del puerto de salida 40 en la primera sección del tubo de descarga 46. La cantidad (16") de los blancos de irradiación 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 corresponde directamente a la longitud de la primera sección del tubo de descarga 46 entre el elemento de bloqueo 44 y el ápice 50. El ápice 50 está ubicado en el punto más alto de la columna de blancos en el tubo de descarga 38.
- [0090]** A continuación, se cierran las válvulas del sistema de accionamiento 20 y se alivia la presión en el sistema de tubos de instrumentación 12 y el tubo de descarga 38.
- [0091]** El puerto de salida 40 del tubo de descarga está acoplado a un contenedor de almacenamiento blindado 42, y el elemento de bloqueo 44 se abre para liberar la cantidad predefinida (16") de los blancos irradiados activados 16 ubicados en un lado del ápice 50 en la primera sección del tubo de descarga 46 y pasar los blancos 16 al contenedor de almacenamiento 42 bajo la acción de la gravedad. La otra cantidad (16") de blancos de irradiación activados 16 ubicada en el otro lado del ápice 50 en la segunda sección del tubo de descarga 48 se retiene en el tubo de descarga 38, o puede fluir de vuelta al sistema de tubos de instrumentación 12, también bajo la acción de la gravedad.
- [0092]** El elemento de válvula 52 en el puerto de salida 40 se cierra para proporcionar un sellado hermético del puerto de salida 40 y el tubo de descarga 38, y el contenedor de almacenamiento blindado 42 se retira a continuación, ya sea manualmente o por medio de un dispositivo de manipulación automática.
- [0093]** En una realización preferida, la cantidad (16") de los blancos de irradiación activados 16 mantenidos en la segunda sección del tubo de descarga 48 por medio del ápice 50 se transfiere activamente desde el tubo de descarga 38 a una posición de retención (no mostrada) en el sistema de tubos de instrumentación 12 antes de retirar el contenedor de almacenamiento 42 del puerto de salida 40. La posición de retención puede estar ubicada dentro de un área de acceso restringido del confinamiento del reactor.
- [0094]** Después de que la porción o cantidad (16") de los blancos de irradiación activados 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 se transfiere al contenedor de almacenamiento 42, el elemento de válvula 52 en el puerto de salida 40 se cierra y el gas presurizado del sistema de accionamiento de blancos 20 es soplado hacia el puerto de entrada de gas 56 en la unión en T 54 cerca del puerto de salida 40. El gas presurizado fuerza a la otra cantidad (16") de los blancos de irradiación activados 16 hacia fuera de la segunda sección del tubo de descarga 48 de vuelta a la posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación 12 o en el dedo de instrumentación 14. A continuación, las válvulas del sistema de accionamiento de blancos 20 se cierran y el flujo de aire presurizado se detiene. El contenedor de almacenamiento 42 se retira del puerto de salida 40 y se transporta a una instalación de embalaje o se envía al sitio de aplicación deseado. Dado que el tubo de descarga 38 está completamente libre de blancos de irradiación activados 16, la exposición a la radiación para el personal operativo se minimiza aún más.
- [0095]** A continuación, las etapas de procedimiento anteriores se pueden repetir para dividir y recoger una

cantidad adicional de blancos de irradiación activados 16 hasta que todos los blancos de irradiación activados 16 se hayan extraído del sistema de tubos de instrumentación 12. El sistema está listo para iniciar un nuevo ciclo de generación de radionucleidos.

- 5 **[0096]** Según la invención, una porción de los blancos de irradiación activados 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 se separa de forma confiable y reproducible de los otros blancos de irradiación activados 16 que se mantienen en el tubo de descarga 38 simplemente bajo la acción de la gravedad sin utilizar elementos mecánicos adicionales y/o contadores de blancos. Dado que la longitud de la columna de blancos en la primera sección del tubo de descarga 46, entre el elemento de bloqueo 44 y el ápice 50, también limita la cantidad de blancos y, por lo tanto, la actividad total recogida en el contenedor de almacenamiento 42, será necesario menos blindaje de los contenedores y se podrán utilizar contenedores más pequeños que requieren menos espacio y son más fáciles de manejar. La configuración más sencilla del sistema de recogida de blancos 42 facilita la integración en las estructuras existentes dentro del confinamiento del reactor.
- 10
- 15 **[0097]** Una realización adicional del sistema de recogida de blancos de irradiación 22 se muestra esquemáticamente en la Fig. 4. Los componentes del sistema de recogida que tienen la misma función que en la realización anterior se indican con los mismos números de referencia.
- [0098]** Con referencia a la Figura 4, el tubo de descarga 38 está configurado para recibir los blancos de irradiación activados 16 y los blancos ficticios 18 extraídos del dedo de instrumentación después de que se completa la activación. El orden lineal de los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 se conserva en el tubo de descarga 38. Los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 tienen diferentes propiedades magnéticas. Preferentemente, los blancos ficticios 18 son ferromagnéticos mientras que los blancos de irradiación 16 son no magnéticos o paramagnéticos, o viceversa.
- 20
- 25 **[0099]** Uno o más imanes 64 están dispuestos en la primera sección del tubo de descarga 46 entre el ápice y el elemento de bloqueo. Preferentemente, el uno o más imanes 64 se seleccionan de entre un imán permanente y un solenoide.
- 30 **[0100]** El elemento de bloqueo 44 se acciona magnéticamente y comprende un pasador 66 que atraviesa la primera sección del tubo de descarga 46 y una bobina electromagnética 68 para operar el pasador 66.
- [0101]** El uno o más imanes 64 rodean la primera sección del tubo de descarga 46. Preferentemente, los imanes 64 están dispuestos de forma móvil a lo largo de un eje longitudinal de la primera sección del tubo de descarga 46.
- 35 **[0102]** El uno o más imanes 64 y/o el elemento de bloqueo 44 son controlados remotamente por el ICU 24 de modo que se logre un procesamiento automático y rápido de los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18.
- [0103]** La unión en T 54 cerca del puerto de salida en la primera sección del tubo de descarga comprende una entrada de gas 56 unida al sistema de accionamiento de blancos 20 para soplar gas presurizado tal como aire o nitrógeno hacia el tubo de descarga 38 y/o sistema de tubos de instrumentación 12 para extraer los blancos de irradiación 16 y/o blancos ficticios 18 de la primera y/o segunda sección del tubo de descarga hacia una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación 12 o el dedo de instrumentación 14.
- 40
- 45 **[0104]** El puerto de salida 40 de la primera sección del tubo de descarga puede acoplarse a uno o más contenedores de almacenamiento 42, 42' y/o un tanque intermedio 70 para recibir selectivamente los blancos de irradiación 16 o blancos ficticios 18 liberados de la primera sección del tubo de descarga 46. Los contenedores de almacenamiento 42, 42' y/o el tanque intermedio 70 pueden ser móviles para que coincidan con el puerto de salida 40, o el puerto de salida 40, que se sostiene en una articulación pivotante 72 para que se pueda mover entre los contenedores de almacenamiento 42, 42' y el tanque intermedio 70. Alternativamente, el puerto de salida 40 puede incluir una compuerta para dirigir selectivamente los blancos de irradiación 16 o los blancos ficticios 18 a los contenedores adecuados 42, 42' y tanque 70.
- 50
- [0105]** La realización del sistema de recogida de blancos que se muestra en la Fig. 4 es útil para dividir los blancos de irradiación activados 16 en el tubo de descarga, tal como se describió anteriormente, y también para separar los blancos de irradiación activados 16 de los blancos ficticios 18 en la primera sección del tubo de descarga 46 debido a sus diferentes propiedades magnéticas. En particular, los blancos ficticios 18 y/o los blancos de irradiación 16 pueden exponerse a un campo magnético para retener los blancos ficticios 18 o los blancos de irradiación 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 y liberar los otros blancos de irradiación 16 o los otros blancos ficticios 18 de la primera sección del tubo de descarga 46.
- 60
- [0106]** Para operar la generación de radionucleidos y el sistema de recogida de blancos, los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 se insertan en el dedo de instrumentación 14 usando el sistema de accionamiento de blancos 20, y los blancos de irradiación 16 se activan mediante exposición al flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear cuando se encuentra en operación de generación de energía para convertir
- 65

sustancialmente el material precursor del blanco de irradiación en el radionucleido deseado.

[0107] Los blancos ficticios 18 y los blancos de irradiación 16 están dispuestos en el dedo de instrumentación 14 en un orden lineal precalculado de modo que los blancos ficticios 18 mantienen los blancos de irradiación 16 en una posición axial predeterminada en el núcleo del reactor. La posición axial óptima de los blancos de irradiación 16 se calcula mediante el ICU 24 y/o el sistema de monitoreo del núcleo en línea 26 y corresponde a una densidad de flujo de neutrones suficiente para convertir completamente los blancos de irradiación 16 en el radionucleido durante un período de tiempo predeterminado. Las posiciones restantes en el dedo de instrumentación 14 están ocupadas por los blancos ficticios 18 que mantienen los blancos de irradiación 16 en su lugar.

[0108] Los blancos de irradiación 16 se colocan preferentemente en la sección central 34 del dedo de instrumentación 14 en el núcleo del reactor 10, y los blancos ficticios 18 se colocan preferentemente en la sección final 32 del dedo de instrumentación 14, es decir, en la parte inferior del núcleo del reactor 10 donde la densidad de flujo de neutrones es insuficiente para activar completamente los blancos de irradiación 16 (ver Fig. 3). Como se muestra en la Fig. 2, el espacio por encima de los blancos de irradiación 16 en la sección superior 36 puede permanecer vacío.

[0109] Los blancos de irradiación 16 se activan en el dedo de instrumentación 14 durante un período de tiempo suficiente para la conversión completa del material precursor de los blancos de irradiación en el radionucleido deseado, según lo determinado por el sistema de monitoreo del núcleo en línea 26 y el sistema de instrumentación y control 24. El tiempo para lograr la conversión completa del material precursor dependerá del tipo y estado del reactor, las condiciones del flujo de neutrones, el tipo de material precursor y varios otros parámetros conocidos por un experto en la materia, y puede variar de varias horas a días, o hasta la saturación de la actividad. Conversión completa significa una tasa de conversión del material precursor que proporciona un contenido de radionucleidos adecuado para la aplicación médica o industrial de los blancos de irradiación 16.

[0110] Después de la activación de los blancos de irradiación 16 y la conversión al radionucleido deseado ser completadas, el sistema de accionamiento de blancos 20 se opera para forzar los blancos ficticios 18 y los blancos de irradiación activados 16 a que salgan del dedo de instrumentación 14 en el tubo de descarga 38 usando gas presurizado tal como nitrógeno o aire. El orden lineal de los blancos ficticios 18 y los blancos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 se conserva en el tubo de descarga 38 de modo que los blancos de irradiación 16 se ubican cerca del puerto de salida del tubo de descarga 38. Los blancos ficticios se encuentran en un extremo distal de la columna de blancos en el tubo de descarga 38 o sistema de tubos de instrumentación 12.

[0111] En este momento, el tubo de descarga 38 es bloqueado por el elemento de bloqueo 44 que proporciona un tope para los blancos 16, 18 y para evitar que los blancos de irradiación activados 16 y los blancos ficticios 18 abandonen el tubo de descarga.

[0112] A continuación, se cierran las válvulas del sistema de accionamiento 20 y se alivia la presión en el sistema de tubos de instrumentación 12.

[0113] Los blancos de irradiación 16 que entran en el tubo de descarga 38 pasan por el ápice 50 formado en la unión entre la primera y la segunda secciones del tubo de descarga 46, 48. Una cantidad predefinida de los blancos de irradiación activados 16 se ubica cerca del puerto de salida 40 en la primera sección del tubo de descarga 46. La cantidad de los blancos de irradiación 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 corresponde directamente a la longitud de la primera sección del tubo de descarga 46 entre el elemento de bloqueo 44 y el ápice 50.

[0114] El puerto de salida 40 del tubo de descarga está acoplado a un contenedor de almacenamiento blindado 42, y el elemento de bloqueo 44 se abre para liberar la cantidad predefinida de los blancos irradiados activados 16 ubicados en un lado del ápice 50 en la primera sección del tubo de descarga 46 y pasar los blancos 16 al contenedor de almacenamiento 42 bajo la acción de la gravedad. La otra cantidad de blancos de irradiación activados 16 y blancos ficticios 18 ubicadas en el otro lado del ápice 50 en la segunda sección del tubo de descarga 48 se mantiene en el tubo de descarga 38, o puede fluir de nuevo hacia el sistema de tubos de instrumentación 12, también bajo la acción de la gravedad.

[0115] A continuación, el elemento de válvula 52 en el puerto de salida se cierra para proporcionar un sellado hermético del puerto de salida 40 y el tubo de descarga 38, y el contenedor de almacenamiento blindado 42 se retira, ya sea manualmente o por medio de un dispositivo de manipulación automática.

[0116] En una realización preferida, la cantidad de los blancos de irradiación activados 16 y blancos ficticios 18 mantenidos en la segunda sección del tubo de descarga 48 por medio del ápice 50 se transfiere desde el tubo de descarga 38 a una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación 12 antes de retirar el contenedor de almacenamiento 52 del puerto de salida, como se describió anteriormente con referencia a la Fig. 3.

[0117] A continuación, las etapas de procedimiento anteriores se pueden repetir para dividir y recoger cantidades adicionales de blancos de irradiación activados 16 del tubo de descarga 38. Cuando los sensores en el

sistema de tubos de instrumentación 12 indican la presencia de blancos ficticios 18 y blancos de irradiación 16 en la primera sección del tubo de descarga 46, como se muestra en la Fig. 4, los blancos ficticios 18 y/o los blancos de irradiación activados 16 se exponen a un campo magnético para retener ya sea los blancos ficticios 18 o los blancos de irradiación activados 16 en la primera sección del tubo de descarga 46 y liberar los otros blancos de irradiación 5
activados 16 o los blancos ficticios 18 de la primera sección del tubo de descarga 46 a través del puerto de salida 40 hacia un contenedor de almacenamiento 42, 42' o tanque intermedio 70.

[0118] Para separar los blancos de irradiación 16 de los blancos ficticios 18 y retirar selectivamente los blancos de irradiación 16 de la primera sección del tubo de descarga 46, los solenoides 64 se mueven a lo largo del eje
10 longitudinal de la primera sección del tubo de descarga 46 y se disponen adyacentes a los blancos ficticios ferromagnéticos 18 de modo que uno o más blancos ficticios 18 próximos al puerto de salida 40 se asocien y expongan al campo magnético de un solenoide 64.

[0119] A continuación, se abre el elemento de bloqueo 44 y los blancos de irradiación no magnéticos 16 se
15 liberan de la primera sección del tubo de descarga 46 bajo la acción de la gravedad y pasan al contenedor de almacenamiento 42, 42' para su posterior procesamiento y/o envío a un sitio de aplicación. Los blancos ficticios magnéticos 18 se mantienen en la primera sección del tubo de descarga 46 por la acción del campo magnético generado por los solenoides 64.

[0120] Después de que los blancos de irradiación 16 son separados de los blancos ficticios 18 y se recogen en el contenedor de almacenamiento 42, 42', el puerto de salida es acoplado al tanque intermedio 70, el campo magnético es desconectado y los blancos ficticios 18 se transfieren al tanque intermedio 70 bajo la acción de la gravedad para su uso posterior después de un breve período de decaimiento. Los blancos ficticios 18 que se mantienen en la segunda
20 sección del tubo de descarga 48 se pueden forzar a salir del tubo de descarga hacia el tanque intermedio 70 usando gas presurizado del sistema de accionamiento de blancos 20.
25

[0121] Alternativamente, algunos o todos los blancos ficticios 18 se pueden conducir de nuevo hacia el dedo de instrumentación 14 cerrando el elemento de válvula 52 en el puerto de salida 40 y soplando gas presurizado desde el sistema de accionamiento de blancos 20 hacia el puerto de entrada de gas 56 en la unión en T 54. Se puede iniciar
30 un nuevo ciclo de generación de radionucleidos insertando blancos de irradiación frescos 16 y/o blancos ficticios 18 en el sistema de tubos de instrumentación 12.

[0122] Según otra realización, los blancos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 pueden estar separados por uno o más blancos ficticios 18, definiendo así subsecciones de blancos de irradiación (no mostradas).
35 Los blancos de irradiación 16 en las subsecciones de blancos de irradiación pueden tener propiedades de material iguales o diferentes.

[0123] También en esta realización, los blancos de irradiación activados 16 y los blancos ficticios 18 se extraen del dedo de instrumentación 14 hacia el tubo de descarga 38 preservando el orden lineal de los blancos ficticios 18 y
40 de los blancos de irradiación 16. La primera sección del tubo de descarga 46 es bloqueada por el elemento de bloqueo 44 para evitar que los blancos de irradiación 16 y los blancos ficticios 18 abandonen el tubo de descarga 38.

[0124] Si uno o más blancos ficticios ferromagnéticos 18 se colocan ahora por delante de los blancos de irradiación 16 cerca del puerto de salida 40, los solenoides 64 se disponen adyacentes a estos blancos ficticios 18. El
45 gas presurizado del sistema de accionamiento de blancos 20 es soplado hacia el puerto de entrada de gas 56 de la unión en T 54 y se utiliza para accionar los blancos de irradiación no magnéticos 16 sobre el ápice 50 de vuelta a la segunda sección del tubo de descarga 48 o una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación 12. Los blancos ficticios magnéticos 18 se retienen en la primera sección del tubo de descarga 46 mediante el campo magnético activado. Después de que las válvulas del sistema de accionamiento de blancos 20 se cierran, el campo
50 magnético se desactiva, el elemento de bloqueo 44 se abre y los blancos ficticios 18 se liberan del tubo de descarga 38 bajo la acción de la gravedad y se transfieren al tanque intermedio 70 acoplado al puerto de salida 40.

[0125] En la siguiente etapa, el elemento de bloqueo 44 se cierra y los blancos de irradiación 16 y opcionalmente los blancos ficticios restantes 18 se extraen del dedo de instrumentación 14 o posición de retención
55 usando gas presurizado del sistema de accionamiento de blancos 20. Los blancos de irradiación activados 16 se colocan ahora cerca del elemento de bloqueo 44 y el puerto de salida 40 y se pueden dividir y/o separar de los blancos ficticios 18 como se describió anteriormente.

[0126] Si es necesario, las etapas de separación y división se pueden repetir hasta que todos los blancos de irradiación 16 de las diversas subsecciones de blancos se recojan selectivamente del sistema de tubos de instrumentación 12 en los múltiples contenedores de almacenamiento 42, 42'.
60

[0127] Se entiende que el procedimiento de separación y recogida de blancos de la invención también será aplicable y viceversa si los blancos ficticios 18 no son magnéticos y los blancos de irradiación 16 son ferromagnéticos.
65

[0128] Los sistemas de generación de radionucleidos y recogida de blancos según la invención también se pueden instalar en una planta de energía nuclear que no tiene un sistema de medición por aerobolas convencional. El sistema de medición por aerobolas descrito anteriormente solo proporciona una base para facilitar la instalación del sistema de generación de radionucleidos, ya que no es necesario instalar tubos y dedos de instrumentación adicionales y similares solo para la generación de radionucleidos. Los posibles tipos de reactores para tal aplicación incluyen reactores de agua hirviendo, reactores de agua pesada y reactores CANDU (CANada Deuterium Uranium).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de recogida de blancos de irradiación (22) que comprende
 - 5 al menos un contenedor de almacenamiento (42, 42') para recibir blancos de irradiación activados (16) de un sistema de tubos de instrumentación (12) de un reactor nuclear; un tubo de descarga (38) que tiene un puerto de salida (40) configurado para acoplarse al contenedor de almacenamiento (42, 42'); y un elemento de bloqueo (44) proporcionado en el tubo de descarga (38) para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados (16) hacia el contenedor de almacenamiento (42, 42');
 - 10 **caracterizado porque** el tubo de descarga (38) comprende una primera sección del tubo de descarga (46), una segunda sección del tubo de descarga (48) y un ápice (50) formado en una unión de la primera y segunda sección del tubo de descarga (46, 48), donde la primera y segunda secciones del tubo de descarga (46, 48) se dirigen hacia abajo desde el ápice (50), donde el puerto de salida (40) está dispuesto en un extremo de la primera sección del tubo de descarga (46) y donde la segunda sección del tubo de descarga (48) está acoplada al sistema de tubos de instrumentación (12).
 2. El sistema de recogida de blancos de irradiación de la reivindicación 1, donde el puerto de salida (40) comprende un elemento de válvula (52) para sellar herméticamente el tubo de descarga (38).
 3. El sistema de recogida de blancos de irradiación de la reivindicación 1 o 2, donde el tubo de descarga (38) comprende una unión en T (54) ubicada entre el elemento de bloqueo (44) y el puerto de salida (40), donde la unión en T (54) está configurada para suministrar y descargar gas presurizado dentro y fuera del tubo de descarga (38).
 4. El sistema de recogida de blancos de irradiación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la primera sección del tubo de descarga (46), la segunda sección del tubo de descarga (48) y el ápice (50) tienen una forma de una U inversa
 5. El sistema de recogida de blancos de irradiación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde el elemento de bloqueo (44) se encuentra en un primer nivel (58), donde la segunda sección del tubo de descarga (48) tiene un punto base (60) opuesto al ápice (50) y el punto base (60) se encuentra en un segundo nivel (62), donde el primer nivel (60) es más alto que el segundo nivel (58).
 6. El sistema de recogida de blancos de irradiación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde el sistema de recogida (22) comprende uno o más imanes (64) dispuestos en la primera sección del tubo de descarga (46) entre el ápice (50) y el elemento de bloqueo (44).
 7. El sistema de recogida de blancos de irradiación de la reivindicación 6, donde el uno o más imanes (64) se seleccionan de entre un imán permanente y un solenoide.
 8. El sistema de recogida de blancos de irradiación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el elemento de bloqueo (44) comprende un elemento de restricción operado magnética o mecánicamente, preferentemente un pasador (66).
 9. Un sistema de generación de radionucleidos que comprende:
 - un sistema de tubos de instrumentación (12) de un reactor nuclear que incluye al menos un dedo de instrumentación (14) que se extiende hacia un núcleo (10) del reactor nuclear, donde el sistema de tubos de instrumentación (12) está configurado para permitir la inserción y remoción de blancos de irradiación (16) en el dedo de instrumentación (14);
 - un sistema de accionamiento de blancos (20) configurado para insertar los blancos de irradiación (16) en el dedo de instrumentación (14) en un orden lineal predeterminado y para retirar los blancos de irradiación (16) del dedo de instrumentación (14);
 - un sistema de monitoreo del núcleo (26) y un conjunto de instrumentación y control (24) enlazados entre sí y configurados para calcular una posición y tiempo de irradiación axial óptimos para los blancos de irradiación (16) basado en el estado real del reactor nuclear tal como lo proporciona el sistema de monitoreo del núcleo (26); y un sistema de recogida de blancos (22) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
 10. El sistema de generación de radionucleidos según la reivindicación 9, donde el sistema de accionamiento de blancos (20) funciona neumáticamente.
 11. El sistema de generación de radionucleidos según la reivindicación 9 o 10, donde el elemento de bloqueo (44) y el uno o más imanes (64) son controlados remotamente por el conjunto de instrumentación y control (26).

12. Un procedimiento para recoger blancos de irradiación activados de un sistema de tubos de instrumentación (12) de un reactor nuclear, donde el procedimiento comprende las etapas de:

- 5 Acoplar el sistema de tubos de instrumentación (12) a un tubo de descarga (38) que tiene un ápice (50), un puerto de salida (40) y un elemento de bloqueo (44) entre el ápice (50) y el puerto de salida (40);
Pasar los blancos de irradiación activados (16) del sistema de tubos de instrumentación al tubo de descarga (38) y bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados (16) hacia fuera del tubo de descarga (38) por medio del elemento de bloqueo (44);
- 10 Separar una cantidad predefinida (16') de los blancos irradiados activados (16) de otra cantidad (16'') de los blancos irradiados activados (16) en el tubo de descarga (38);
Acoplar el puerto de salida (40) a un contenedor de almacenamiento (42, 42') y liberar el elemento de bloqueo (44) para pasar la cantidad predefinida (16') de los blancos irradiados activados (16) bajo la acción de la gravedad al contenedor de almacenamiento (42, 42');
- 15 donde dicha etapa de separación comprende pasar la cantidad predefinida (16') de los blancos de irradiación activados (16) por el ápice (50) y mantener la otra cantidad (16'') de blancos de irradiación activados en el tubo de descarga (38) o el sistema de tubos de instrumentación (12) por medio del ápice (50).

13. El procedimiento de la reivindicación 12, donde la otra cantidad (16'') de los blancos de irradiación activados (16) se transfiere desde el tubo de descarga (38) a una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación (12) antes de retirar el contenedor de almacenamiento (42, 42') del puerto de salida (40).

14. El procedimiento de las reivindicaciones 12 o 13, donde los blancos de irradiación (16) y uno o más blancos ficticios (18) se insertan en el sistema de tubos de instrumentación, y donde los blancos de irradiación (16) y los blancos ficticios (18) tienen propiedades magnéticas diferentes.

15. El procedimiento de la reivindicación 14, donde los blancos ficticios (18) son ferromagnéticos y los blancos de irradiación (16) son no magnéticos o paramagnéticos.

30 16. El procedimiento de la reivindicación 14 o 15, donde los blancos ficticios (18) y/o los blancos de irradiación (16) se exponen a un campo magnético cuando se encuentran en la primera sección del tubo de descarga (48).

17. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, donde los blancos de irradiación (16) se separan de los blancos ficticios (18) mediante la extracción selectiva de uno de los blancos de irradiación (16) y los blancos ficticios (18) del tubo de descarga (38) que comprende las etapas de exponer los blancos de irradiación (16) o los blancos ficticios (18) a un campo magnético, abrir el elemento de bloqueo (44) y liberar los blancos de irradiación (16) o los blancos ficticios (18) del tubo de descarga (38) mientras se mantienen los otros blancos de irradiación (16) o los blancos ficticios (18) en la primera sección del tubo de descarga (46) mediante la acción del campo magnético.

40 18. El procedimiento de la reivindicación 17, donde la etapa de separar los blancos de irradiación (16) de los blancos ficticios (18) comprende además volver a introducir los blancos ficticios (18) o los blancos de irradiación (16) en el tubo de instrumentación (14) o una posición de retención en el sistema de tubos de instrumentación (12) mientras se retienen los otros blancos ficticios (18) o los blancos de irradiación (16) en la primera sección del tubo de
45 descarga (46) mediante el campo magnético.

19. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18 realizado en un sistema de recogida de blancos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

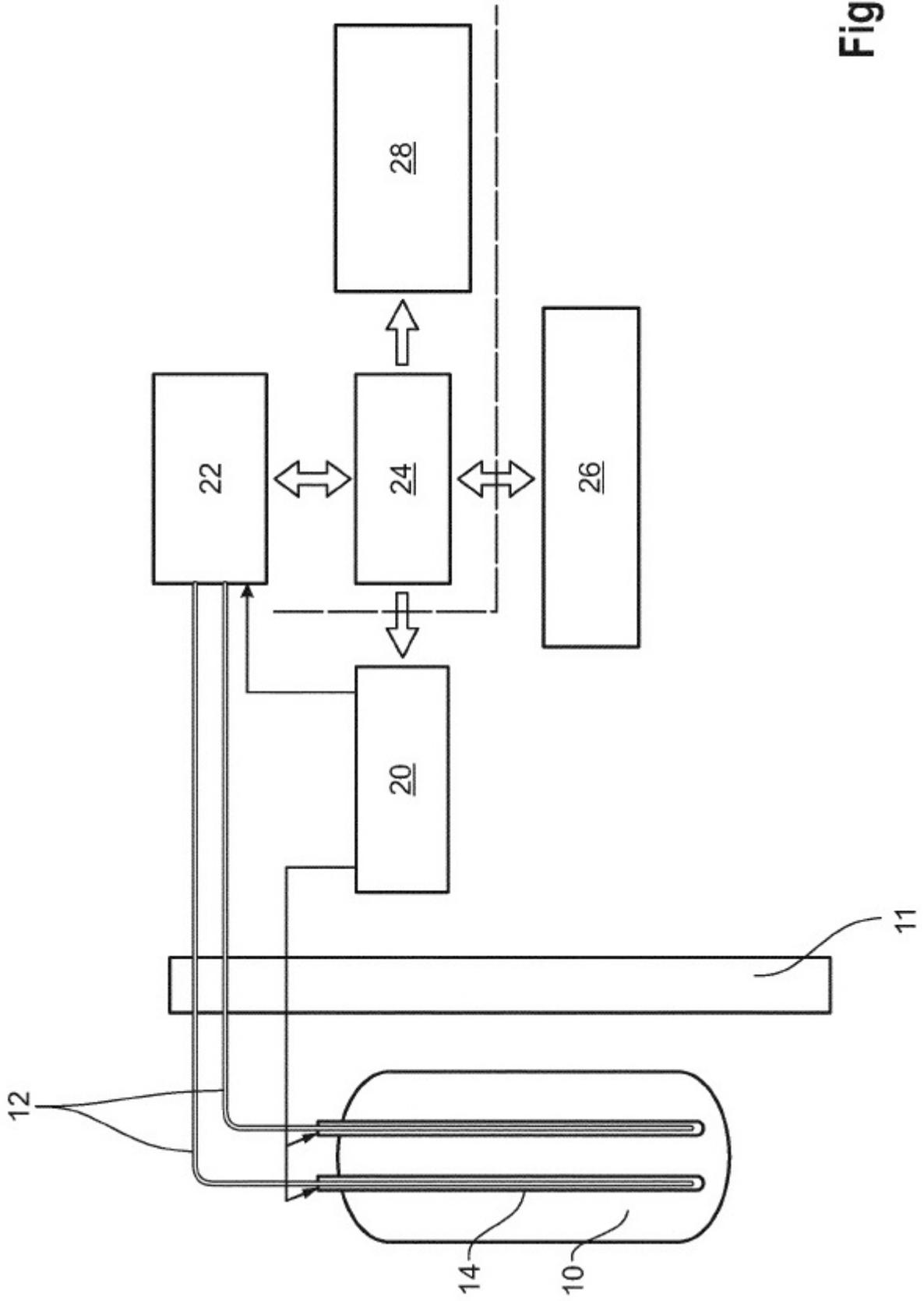


Fig. 1

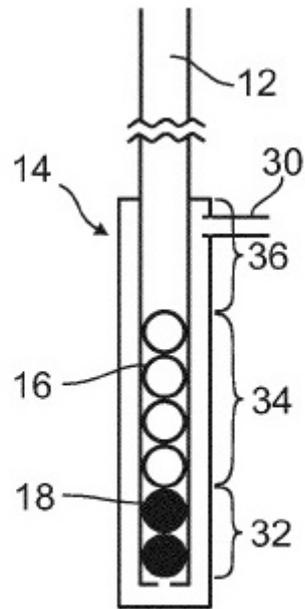


Fig. 2

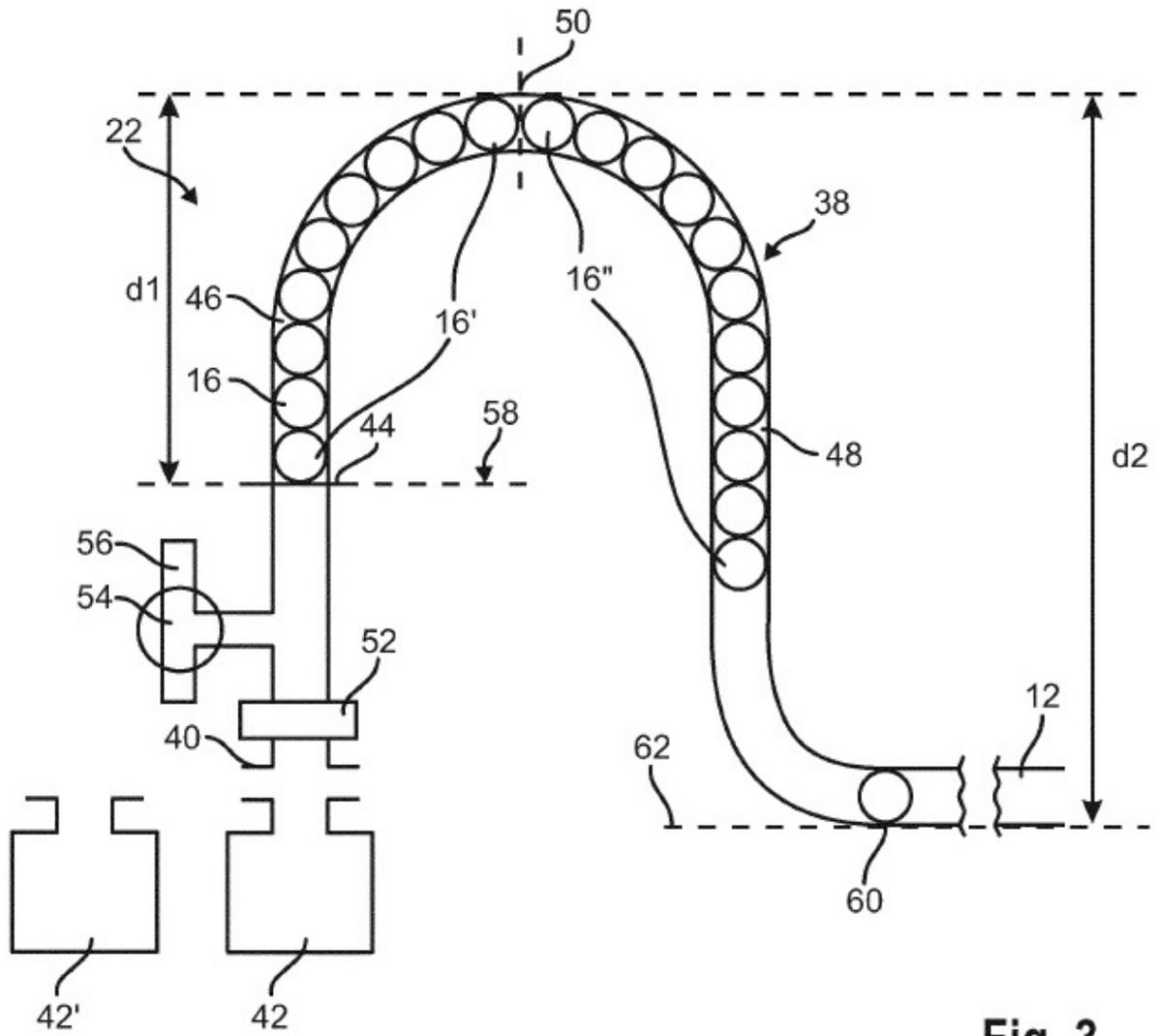


Fig. 3

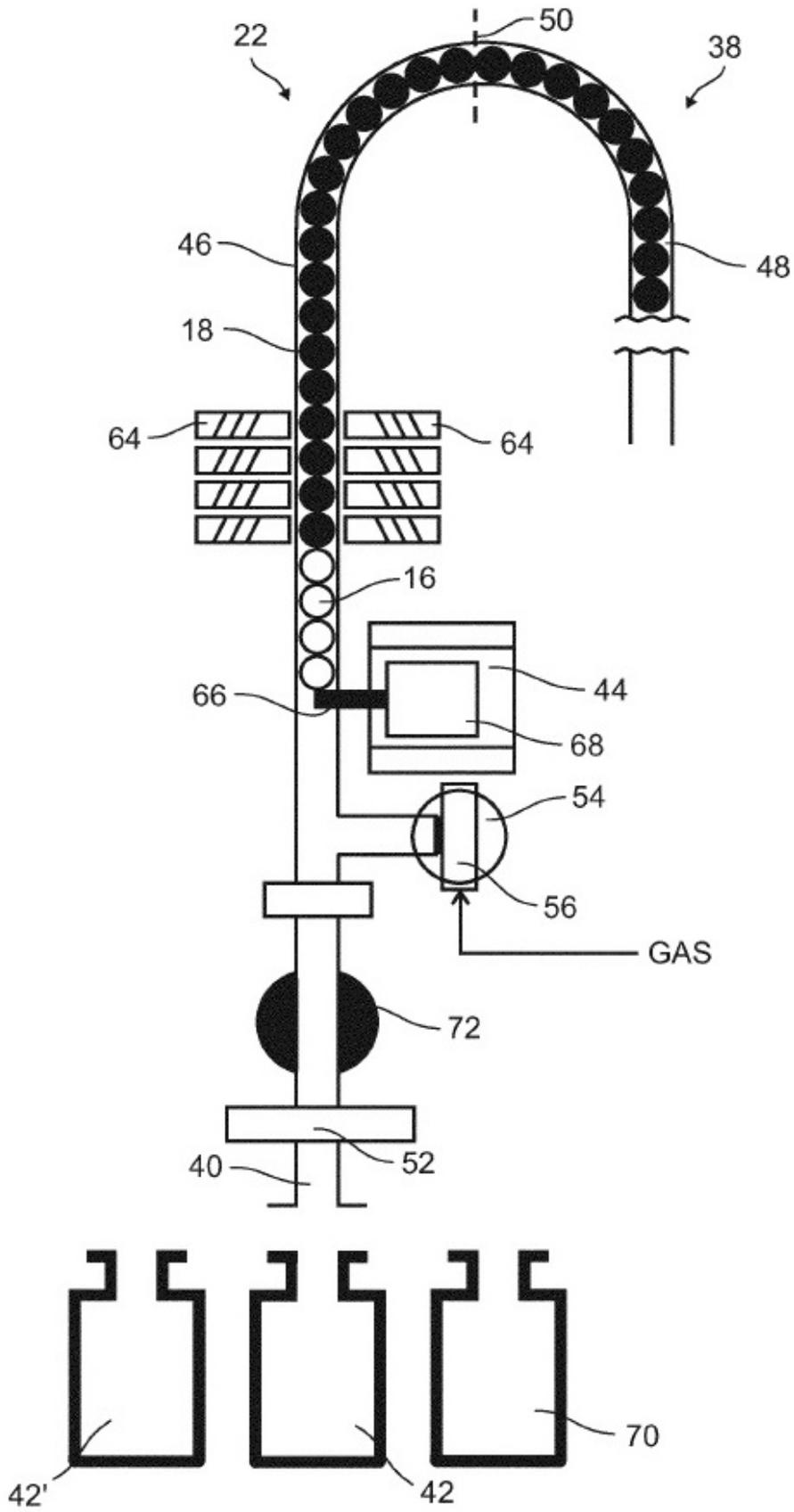


Fig. 4