

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 126**

51 Int. Cl.:

G21G 1/02 (2006.01)

G21C 23/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.01.2016 PCT/EP2016/050893**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16128177**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.01.2016 E 16700970 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3257053**

54 Título: **Sistema de procesamiento de blancos de irradiación**

30 Prioridad:

09.02.2015 WO PCT/EP2015/052646

30.04.2015 WO PCT/EP2015/059525

21.07.2015 WO PCT/EP2015/066670

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

31.05.2019

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:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 715 126 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 de procesamiento de blancos de irradiación

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un sistema de procesamiento de blancos de irradiación y, en particular, a un sistema para insertar y recuperar los blancos de irradiación en y desde un tubo de instrumentación en un núcleo de reactor nuclear.

10

Antecedentes técnicos de la invención

Los nucleidos radiactivos se usan en diversos campos de la tecnología y la ciencia, así como con fines médicos. Estos radionucleidos se producen en reactores o ciclotrones de investigación. Sin embargo, puesto que el número de instalaciones para la producción comercial de radionucleidos ya es limitado y se espera que disminuya, se desea proporcionar sitios de producción alternativos.

15

La densidad del flujo de neutrones en el núcleo de un reactor nuclear comercial se mide, entre otras formas, introduciendo sondas esféricas sólidas en tubos de instrumentación que pasan a través del núcleo de reactor. Por lo tanto, se sugirió que los tubos de instrumentación de los reactores nucleares comerciales se usaran para producir radionucleidos cuando el reactor estuviera en una operación de generación de energía. En particular, pueden usarse uno o más tubos de instrumentación de un sistema de medición de aerobolas de un reactor nuclear comercial, y los componentes existentes del sistema de medición de bolas pueden modificarse y/o complementarse para permitir una producción eficaz de radionucleidos durante la operación del reactor.

20

25

El documento EP 2 093 773 A2 sugiere que los tubos de instrumentación existentes usados convencionalmente para alojar detectores de neutrones pueden usarse para generar radionucleidos durante la operación normal de un reactor nuclear comercial. En particular, los blancos de irradiación esféricos se empujan linealmente en y se retiran de los tubos de instrumentación. Basándose en el perfil del flujo de neutrones axiales del núcleo de reactor, se determinan la posición y el tiempo de exposición óptimos de los blancos en el núcleo de reactor. Se usa un sistema de engranaje motriz para mover y mantener los blancos de irradiación en los tubos de instrumentación.

30

El documento US 2013/0177118 A1 desvela un sistema que permite que los blancos de irradiación se irradien en un reactor nuclear y se depositen en una configuración explotable sin intervención humana directa ni interrupción de las actividades de producción de energía. El sistema incluye unos puntos finales accesibles que almacenan los isótopos producidos deseados para su manipulación y/o envío. Una vía de penetración puede proporcionar acceso a través de una barrera de acceso a la contención del reactor y a un tubo de instrumentación en la vasija del reactor. El sistema comprende además un desviador, un mecanismo de accionamiento, un indexador y un contenedor de recogida que pueden localizarse dentro de un edificio de contención en la central nuclear. Un tubo de contenedor proporciona una vía para que los blancos de irradiación salgan de un desviador y puede incluir uno o más contadores que detectan el número, cantidad o actividad exactos de blancos de irradiación activados que salen a través del tubo de contenedor. Una línea de escape conectada al tubo de contenedor permite que un fluido neumático usado para impulsar los blancos de irradiación salga del sistema de manera segura. El tubo de contenedor puede usarse con múltiples contenedores de almacenamiento según las propiedades del blanco. Pueden insertarse uno o más topes en el tubo de contenedor en las posiciones deseadas para separar una cierta concentración de blancos de irradiación.

35

40

45

El documento US 2013/0177125 A1 se refiere a un sistema para gestionar blancos de irradiación y el acceso de instrumentación a un reactor nuclear, comprendiendo el sistema: una vía de penetración que conecta un punto de origen fuera de una barrera de acceso del reactor nuclear a un tubo de instrumentación que se extiende en el reactor nuclear dentro de la barrera de acceso, en el que la vía de penetración puede transitarse por al menos un blanco de irradiación, en el que la vía de penetración incluye una de al menos una trayectoria de instrumentación y al menos una trayectoria de blanco de irradiación distinta de la trayectoria de instrumentación, y al menos una trayectoria compartida; y un selector configurado para conectar solo una de entre la trayectoria de instrumentación y la trayectoria de blanco de irradiación a la trayectoria compartida con el fin de formar la vía de penetración. El selector incluye un bloque de selección acoplado a al menos un motor y proporciona varias vías diferentes, dependiendo de su posición. Basándose en la posición vertical del bloque de selección, solo una de entre la trayectoria de instrumentación y la trayectoria de blanco de irradiación puede alinearse con, y abrirse en, una vía compartida que se dirige hacia un tubo de instrumentación.

50

55

60

El documento US 2013/0170927 A1 desvela unos aparatos y métodos para producir radioisótopos en tubos de instrumentación de operación de reactores nucleares comerciales. Los blancos de irradiación se insertan y se retiran de los tubos de instrumentación durante la operación y se convierten en radioisótopos. Un contenedor de recogida y/o un tubo de contenedor pueden equiparse con un contador de blancos que cuenta o mide las propiedades de los blancos de irradiación que se mueven en el contenedor de recogida. Los blancos de irradiación pueden incluir además un blanco de seguimiento localizado en una posición conocida entre todos los demás blancos que está

65

fabricado de un material que es diferente de todos los demás blancos y permite el seguimiento o la localización de los blancos de irradiación. Pueden usarse varias combinaciones de horquillas, divisores, plataformas giratorias y clasificadores para crear trayectorias de carga y recogida únicas para los blancos de irradiación.

5 El documento US 2013/0315361 A1 también se refiere a un aparato y unos métodos para producir radioisótopos en múltiples tubos de instrumentación de operación de reactores nucleares comerciales. Los blancos de irradiación se insertan y se retiran de múltiples tubos de instrumentación y se convierten en radioisótopos durante la operación del reactor nuclear. Se proporciona un indexador para dirigir selectivamente los blancos de irradiación a uno de los
10 múltiples tubos de instrumentación dentro del reactor nuclear haciendo accesible una vía de penetración que conduce al tubo de instrumentación individual. El indexador puede permitir selectivamente, además, que los blancos de irradiación de múltiples tubos de instrumentación entren en una vía de penetración única/combinada que conduce a puntos de recogida fuera de una barrera de acceso. Se proporcionan blancos de irradiación de colocación para colocar correctamente otros blancos de irradiación en las posiciones deseadas dentro o cerca del núcleo nuclear. Los blancos de colocación pueden fabricarse de un material inerte de bajo coste o de un material magnético, y
15 pueden mantenerse en el tubo de instrumentación por medio de un enganche magnético. Después de la irradiación, los blancos se envían desde el tubo de instrumentación a un contenedor de recogida, y los blancos de colocación pueden clasificarse fuera del contenedor de recogida debido a sus marcas o propiedades físicas.

20 Los sistemas de medición de aerobolas convencionales son conocidos en la técnica y se desvelan, por ejemplo, en los documentos GB 1 324 380 A y US 3.263.081 A.

Los sistemas de generación de radionucleidos anteriores requieren estructuras para procesar los blancos de irradiación activados que se instalan de manera permanente en las instalaciones de reactores. Sin embargo, la
25 instalación de tales sistemas permanentes de generación de radionucleidos implicará costes elevados. Además, los sistemas pueden requerir que se seleccionen uno o más tubos de instrumentación específicos para la generación de radionucleidos. Estos tubos de instrumentación ya no estarán disponibles para la medición intranuclear del flujo de neutrones u otras condiciones del reactor. Además, el flujo de neutrones en el núcleo de reactor variará dependiendo de la carga de reactor y las condiciones operativas. Por lo tanto, el flujo de neutrones en el tubo de instrumentación específico seleccionado para la generación de radionucleidos puede ser insuficiente, lo que da
30 como resultado elevados tiempos de inactividad, o la generación de radionucleidos puede requerir prolongados tiempos de proceso.

Además, debido a la elevada actividad de los blancos de irradiación activados recuperados de los tubos de instrumentación, y puesto que el espacio dentro de la contención del reactor es limitado, los blancos son difíciles de
35 procesar. En particular, los blancos activados, incluyendo los nucleidos radiactivos, deben cargarse y almacenarse en depósitos provistos de un fuerte blindaje contra la radiación. Sin embargo, las cámaras para el sistema de sonda de calibración intranuclear (TIP) y/o el sistema de medición de aerobolas no tienen ninguna estructura para envasar y transportar esos depósitos pesados. La provisión de bloqueos de agua adicionales en la contención del reactor para el manejo de los blancos activados y los depósitos blindados también sería demasiado costosa.

40

Sumario de la invención

Un objeto de la invención es proporcionar un sistema para la generación de radionucleidos a partir de blancos de irradiación insertados en un tubo de instrumentación de un núcleo de reactor nuclear, tal como el tubo de
45 instrumentación de un sistema de medición de aerobolas o un sistema de sonda de calibración intranuclear (TIP) de un reactor nuclear comercial, o un puerto de visualización de un reactor CANDU, que permite una producción de radionucleidos eficaz y económica durante la operación del reactor.

En particular, un objeto de la invención es proporcionar un sistema para insertar y recuperar blancos de irradiación en y desde un tubo de instrumentación en un núcleo de reactor nuclear que permita un fácil procesamiento de los
50 blancos de irradiación a costes reducidos, y un objeto adicional es proporcionar un sistema para procesar blancos de irradiación que pueda usarse dentro de estructuras existentes en áreas accesibles de la contención del reactor.

Los objetos anteriores se resuelven mediante un sistema de procesamiento de blancos de irradiación de acuerdo con la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas y convenientes de la invención se indican en las
55 reivindicaciones dependientes que pueden combinarse entre sí de manera independiente.

En un primer aspecto, la invención proporciona un sistema de procesamiento de blancos de irradiación para insertar y recuperar blancos de irradiación en y desde un tubo de instrumentación en un núcleo de reactor nuclear, comprendiendo el sistema
60 un sistema de recuperación de blancos que comprende un puerto de salida de blancos configurado para acoplarse a un depósito de almacenamiento de blancos y un sistema de escape;

un sistema de inserción de blancos que comprende un dispositivo de llenado de blancos, una tubería de retención de blancos y un desviador de blancos acoplado al dispositivo de llenado de blancos, la tubería de retención de
65 blancos y el sistema de recuperación de blancos, y que comprende además una junta de suministro de blancos en la tubería de retención de blancos, en el que la junta de suministro de blancos está configurada para conectarse al

tubo de instrumentación; y

un sistema de suministro de gas de transporte que comprende una primera tubería de suministro de gas, una segunda tubería de suministro de gas y una junta de suministro de gas de transporte acoplada a las tuberías de suministro de gas primera y segunda, en el que la primera tubería de suministro de gas está acoplada al puerto de salida del sistema de recuperación de blancos y la segunda tubería de suministro de gas está configurada para acoplarse a una junta de suministro de gas de tubo de instrumentación; y

en el que el sistema de recuperación de blancos, el sistema de inserción de blancos y el sistema de suministro de gas de transporte están montados en un soporte móvil.

De acuerdo con la invención, se usa un sistema móvil para procesar blancos de irradiación en uno o más tubos de instrumentación de un sistema de medición de aerobolas ya existente u otro sistema de medición intranuclear de un reactor nuclear comercial durante la operación de generación de energía, o en tubos nuevos insertados en las aberturas del interior del reactor o cerca de la vasija de presión del reactor, tales como los puertos de visualización de un reactor CANDU. El sistema móvil permite la inserción segura de los blancos de irradiación en, y la recuperación de los blancos de irradiación activados de, diversos tubos de instrumentación usando fuerza neumática y la gravedad. El sistema de procesamiento de blancos móviles comprende interfaces de conexión para acoplar los componentes del sistema a los tubos de instrumentación y un sistema de aire de escape externo, y, opcionalmente, a un suministro de gas externo. El sistema de procesamiento de blancos móviles puede comprender además un mecanismo que permite descargar una cantidad específica de blancos de irradiación en un depósito de almacenamiento blindado contra la radiación con una emisión limitada de aerosoles.

La invención proporciona un sistema simple y rentable para el procesamiento de blancos de irradiación para la generación de radionucleidos. Los componentes esenciales del sistema de procesamiento de blancos se proporcionan en un soporte móvil, y puede conectarse al sistema de medición de aerobolas existente o cualquier otro sistema de medición intranuclear, o a nuevos tubos insertados en las aberturas del interior del reactor o cerca de la vasija de presión del reactor, tales como los puertos de visualización de un reactor CANDU, si, y en el momento en que, se desea la producción de nucleidos radiactivos artificiales. En consecuencia, solo se requieren pequeñas modificaciones de los sistemas de medición intranuclear ya existentes. El sistema de procesamiento de blancos también permite seleccionar y cambiar entre tubos de instrumentación específicos con el fin de una generación de radionucleidos, dependiendo del estado del reactor y las condiciones reales del flujo de neutrones en el núcleo de reactor en el tubo de instrumentación específico. Por lo tanto, la invención permite una actualización de los tubos de instrumentación disponibles para la generación de radionucleidos a bajo coste, sin la necesidad de la instalación permanente de un sistema de generación de radionucleidos. Puesto que el sistema puede almacenarse fuera de la contención del reactor si no se desea la generación de radionucleidos, se requiere menos espacio dentro de la contención. Los sistemas móviles también cumplen más fácilmente los requisitos de seguridad, tales como la estabilidad en eventos sísmicos.

De acuerdo con una realización preferida del sistema de procesamiento de blancos de irradiación, el sistema de recuperación de blancos comprende un tubo de descarga que tiene un elemento de bloqueo para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación en el puerto de salida. Preferentemente, el elemento de bloqueo comprende un pasador de bloqueo.

El tubo de descarga del sistema de recuperación de blancos está configurado para recibir los blancos de irradiación activados desde el tubo de instrumentación que se extiende dentro de y, opcionalmente, a través del núcleo de reactor nuclear. Más preferentemente, el tubo de descarga tiene una sección de tubo en forma de U invertida, que puede usarse para repartir y descargar una cantidad específica de blancos de irradiación. La sección en forma de U invertida del tubo de descarga forma un vértice que divide el tubo de descarga en una primera sección próxima al puerto de salida y una segunda sección que se dirige hacia el tubo de instrumentación.

Preferentemente, el elemento de bloqueo se proporciona en la primera sección de tubo de descarga adyacente al puerto de salida para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados fuera del tubo de descarga.

Los blancos de irradiación activados recuperados del tubo de instrumentación y que han pasado por el tubo de descarga se mantienen en el tubo de descarga por el elemento de bloqueo, y se separan por el vértice en una cantidad predefinida para liberarse del tubo de descarga y una cantidad adicional de blancos activados que se mantienen en el tubo de descarga o en la tubería de retención de blancos. Uno de una serie de depósitos de almacenamiento blindados puede acoplarse al puerto de salida, preferentemente en una junta dispuesta en un extremo libre del puerto de salida. Cuando se abre el elemento de bloqueo, la cantidad predefinida de blancos activados pueden dejar el tubo de descarga impulsados por la gravedad, y recogerse en el depósito de almacenamiento blindado. La cantidad de blancos activados que dejan el tubo de descarga se determina por la longitud de la columna de blancos en la primera sección de tubo de descarga.

Puesto que solo una cantidad predefinida de los blancos activados que tienen una actividad inferior predeterminada se libera del sistema de recuperación de blancos y se almacena en el depósito blindado, pueden usarse depósitos mucho más pequeños con menos blindaje contra la radiación que son fáciles de transportar ya sea manualmente o por medio de estructuras de manipulación existentes dentro de la contención del reactor.

Preferentemente, el tubo de descarga comprende un sensor para determinar la actividad de los blancos. Proporcionar un sensor permite determinar la presencia de blancos de irradiación activados con respecto a los blancos de colocación y, además, permite controlar el tiempo de ejecución y monitorizar la cantidad de blancos activados liberados del tubo de descarga.

5 Aún más preferentemente, el sistema de recuperación de blancos comprende al menos un imán preferentemente dispuesto de manera móvil en el tubo de descarga para separar los blancos magnéticos de los blancos no magnéticos. Más preferentemente, el imán puede usarse para seleccionar y separar los blancos de irradiación activados de los blancos de colocación en el tubo de descarga. Los blancos de colocación se fabrican de un material inerte y pueden usarse para lograr una colocación axial adecuada de los blancos de irradiación en el núcleo de reactor nuclear. Lo más preferentemente, uno de entre los blancos de irradiación y los blancos de colocación es ferromagnético, mientras que el otro de entre los blancos de irradiación y los blancos de colocación es no magnético o paramagnético.

15 El al menos un imán puede seleccionarse de entre un imán permanente y un solenoide. Preferentemente, el al menos un imán puede moverse a lo largo de la primera sección de tubo de descarga con el fin de exponer selectivamente los blancos ferromagnéticos a un campo magnético y retener los blancos ferromagnéticos en el tubo de descarga.

20 El tubo de descarga puede conectarse a un vibrador para liberar los blancos de irradiación bloqueados. Esto facilita un procesamiento seguro de los blancos de irradiación activados y, además, permite la limpieza del tubo de descarga de partículas.

25 El puerto de salida del sistema de recuperación de blancos comprende, preferentemente, una válvula de bola acoplada a la primera tubería de suministro de gas y el sistema de escape. La válvula de bola está configurada para descargar el gas fuera del tubo de descarga y para liberar los blancos de irradiación activados del tubo de descarga a través del puerto de salida hacia el depósito de almacenamiento bajo la acción de la gravedad. Proporcionar la válvula de bola para descargar el gas fuera del tubo de descarga garantiza que no se liberen aerosoles radioactivos en la contención del reactor durante el transporte y la recuperación de blancos del tubo de descarga.

30 Preferentemente, un tubo de gases de escape se conecta a la válvula de bola y el sistema de escape, y comprende una válvula de cierre corriente abajo de la válvula de bola. Más preferentemente, el tubo de gases de escape incluye una junta para acoplar la válvula de bola del puerto de salida al sistema de escape.

35 El sistema de inserción de blancos del sistema de procesamiento de blancos de irradiación de acuerdo con la invención comprende un dispositivo de llenado de blancos, una tubería de retención de blancos, y un desviador de blancos acoplado al dispositivo de llenado de blancos, la tubería de retención de blancos y el sistema de recuperación de blancos.

40 El dispositivo de llenado de blancos está configurado para proporcionar una fuente de blancos de irradiación y, opcionalmente, blancos de colocación que han de insertarse en el tubo de instrumentación. Preferentemente, el dispositivo de llenado de blancos comprende uno de entre un embudo para la inserción manual o un cartucho que incluye una pluralidad de blancos de irradiación y/o blancos de colocación. Más preferentemente, el cartucho está conectado a un suministro de gas que puede abrirse y cerrarse mediante una válvula para insertar los nuevos blancos automáticamente. El cartucho puede conectarse al sistema de suministro de gas neumático mediante una válvula controlada. Esto permite la inserción automática de blancos en el tubo de instrumentación. El cartucho que incluye los blancos de irradiación aún no activados se instala en el sistema de procesamiento antes de recuperar los blancos activados del tubo de instrumentación.

50 El desviador de blancos está preferentemente configurado para seleccionar entre un pasaje desde el dispositivo de llenado de blancos a la tubería de retención, y un pasaje desde la tubería de retención al tubo de descarga.

Preferentemente, la tubería de retención de blancos está adaptada para alojar todos los blancos de irradiación insertados en, o recuperados de, el tubo de instrumentación.

55 Más preferentemente, la tubería de retención está dispuesta en forma de hélice, dirigiéndose el extremo inferior de la hélice, frente al desviador de blancos, hacia el tubo de instrumentación o el núcleo de reactor.

60 Aún más preferentemente, la tubería de retención de blancos comprende una sección de tubo ascendente y un elemento de bloqueo en un extremo superior de la sección de tubo ascendente para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación en el tubo de instrumentación. Esto minimiza el riesgo de dañar el tubo de instrumentación durante el procesamiento del blanco.

65 Aún más preferentemente, la tubería de retención de blancos comprende un sensor para determinar al menos uno de entre la actividad de los blancos, el tiempo de transporte de blancos, la cantidad de blancos y las propiedades magnéticas de los blancos.

El sistema de inserción de blancos comprende además una junta de suministro de blancos en la tubería de retención de blancos, en el que la junta de suministro de blancos está configurada para conectarse al tubo de instrumentación. Preferentemente, la junta de suministro de blancos está dispuesta en un extremo libre de la tubería de retención, adyacente al elemento de bloqueo en el extremo superior de la sección de tubo ascendente de la tubería de retención.

La primera tubería de suministro de gas del sistema de suministro de gas de transporte está acoplada al puerto de salida del sistema de recuperación de blancos, y está configurada para suministrar gas presurizado para transportar los blancos de irradiación activados desde el tubo de descarga a la tubería de retención, y transportar los blancos de irradiación desde la tubería de retención al tubo de instrumentación para la generación de radionucleidos.

La segunda tubería de suministro de gas del sistema de suministro de gas de transporte está configurada para acoplarse a una junta de suministro de gas de tubo de instrumentación, y se usa para proporcionar gas presurizado al tubo de instrumentación para recuperar los blancos de irradiación activados desde el tubo de instrumentación y hacer pasar los blancos de irradiación activados a la tubería de retención y/o el tubo de descarga.

El sistema de suministro de gas de transporte comprende, preferentemente, un cilindro de gas comprimido conectado a la junta de suministro de gas de transporte. Como alternativa, la junta de suministro de gas de transporte puede acoplarse a una fuente externa de gas presurizado, tal como el suministro de gas de un sistema de medición de aerobolas existente.

Las tuberías de suministro de gas primera y segunda comprenden, preferentemente, una válvula de cierre que puede servir para bloquear cualquier suministro de gas al sistema de procesamiento de blancos de irradiación, y que también puede usarse para seleccionar entre las operaciones de inserción de blancos y de recuperación de blancos.

Como alternativa, las tuberías de suministro de gas primera y segunda pueden comprender, cada una de las mismas, una válvula de control direccional, preferentemente una válvula de control direccional de 3/2. Preferentemente, la válvula de control direccional en la primera tubería de suministro de gas conecta la primera tubería de suministro de gas al puerto de salida y un tubo de escape que se dirige al sistema de escape. La válvula de control direccional en la segunda tubería de suministro de gas está configurada, preferentemente, para conectar la segunda tubería de suministro de gas a un conducto de derivación que se dirige al sistema de escape y a la primera tubería de suministro de gas.

El sistema de procesamiento de blancos de irradiación puede comprender además una interfaz a acoplar a una unidad de control de instrumentación y/o un sistema de monitorización de núcleo en línea para monitorizar y controlar la operación de los componentes del sistema.

En un aspecto adicional, la invención se refiere al uso del sistema de procesamiento de blancos de irradiación para actualizar un reactor de energía nuclear comercial existente que tiene al menos un tubo de instrumentación que se extiende dentro y, opcionalmente, a través de un núcleo de reactor para la generación de radionucleidos, o que está localizado cerca del núcleo de reactor donde el flujo de neutrones todavía es suficiente para la generación de radionucleidos. Por lo tanto, la invención proporciona una solución de retroadaptación fácil para la generación de radionucleidos a bajo coste y con modificaciones mínimas de los sistemas de medición existentes de seguridad de eficacia probada ya integrados en reactores de energía nuclear comerciales.

Preferentemente, el sistema de procesamiento de blancos de irradiación se usa para insertar y recuperar blancos de irradiación en y desde un tubo seleccionado de una pluralidad de tubos de instrumentación. Más preferentemente, el sistema de procesamiento de blancos de irradiación se usa para insertar y recuperar blancos de irradiación en y desde un tubo seleccionado de una pluralidad de tubos de instrumentación en una primera etapa de la generación de radionucleidos, y se usa para insertar y recuperar blancos de irradiación en y desde otro tubo de la pluralidad de tubos de instrumentación en una etapa posterior de la generación de radionucleidos.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas y de los dibujos adjuntos en los que elementos similares se representan por números similares. Las realizaciones preferidas se proporcionan solo a modo de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la invención, como se evidencia a partir de las reivindicaciones adjuntas.

En los dibujos:

- la figura 1 muestra un boceto esquemático de una configuración del sistema de generación de radionucleidos;
- la figura 2 muestra un tubo de instrumentación lleno en parte con blancos de irradiación y en parte con blancos de colocación;

- la figura 3 muestra un boceto esquemático de un sistema de procesamiento de blancos de la presente invención;
- la figura 4 muestra un boceto esquemático de un subsistema de recuperación de blancos;
- 5 - la figura 5 muestra un boceto esquemático de una válvula de bola usada en el subsistema de recuperación de blancos;
- la figura 6 muestra un boceto esquemático de un desviador de blancos; y
- 10 - la figura 7 muestra una configuración alternativa del sistema de procesamiento de blancos.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

15 La invención contempla que un reactor nuclear comercial pueda usarse para producir radioisótopos o radionucleidos artificiales, durante la operación del reactor. En particular, los sistemas de medición de aerobolas convencionales u otros sistemas de medición que comprenden tubos de instrumentación que se extienden hacia y/o a través del núcleo de reactor del reactor comercial pueden modificarse y/o complementarse para permitir una producción eficaz y eficiente de radionucleidos, cuando el reactor está en un modo de generación de energía.

20 Algunos de los tubos guía, por ejemplo, de un sistema de medición de aerobolas comercial o un sistema de sonda de calibración intranuclear (TIP) se usan para guiar los blancos de irradiación en un tubo de instrumentación en el núcleo de reactor y para llevar los blancos de irradiación activados fuera del núcleo de reactor. La activación de los blancos se optimiza colocando los blancos de irradiación en áreas predeterminadas del núcleo de reactor que tienen un flujo de neutrones suficiente para convertir un material precursor en los blancos de irradiación completamente dentro del radionucleido deseado.

25 La colocación correcta de los blancos de irradiación puede lograrse por medio de blancos de colocación fabricados de un material inerte y de la secuenciación de los blancos de colocación y los blancos de irradiación con el fin de formar una columna de los blancos en el tubo de instrumentación, estando los blancos de irradiación en una posición axial óptima precalculada en el núcleo de reactor y estando las otras posiciones ocupadas por los blancos de colocación inertes o permaneciendo vacías. Preferentemente, los blancos de irradiación y los blancos inertes tienen propiedades magnéticas diferentes. Los blancos inertes pueden fabricarse de un material magnético estable que no tiene ninguna influencia sobre el material de blanco de irradiación.

30 La figura 1 ilustra la configuración básica de un sistema de generación de radionucleidos dentro de una central nuclear comercial. A diferencia de un reactor de investigación, el fin de un reactor nuclear comercial es la producción de energía eléctrica. Los reactores nucleares comerciales habitualmente tienen una potencia nominal de 100+ megavatios eléctricos.

35 La base del sistema de generación de radionucleidos descrito en las realizaciones a modo de ejemplo se obtiene de un sistema de medición de aerobolas convencional usado para medir la densidad del flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear. Una pluralidad de aerobolas están dispuestas en un orden lineal, formando de este modo una columna de aerobolas en el tubo de instrumentación. Las aerobolas son sondas sustancialmente esféricas o redondas, pero pueden tener otras formas, tales como elipsoides o cilíndricas, siempre que sean capaces de moverse a través de los conductos del sistema de medición. El sistema de medición de aerobolas incluye un sistema de accionamiento neumático configurado para insertar las aerobolas en un tubo de instrumentación que se extiende hacia y atraviesa el núcleo de reactor a través de toda su longitud axial, y para retirar las aerobolas del tubo de instrumentación después de la activación.

40 El sistema de generación de radionucleidos de la presente invención puede construirse como un sistema independiente que está vinculado a un tubo de instrumentación no modificado de un sistema de medición de aerobolas regular. El sistema de procesamiento de blancos de irradiación de la presente invención incluye la mayoría de los componentes del sistema de generación de radionucleidos que se proporcionan en un soporte móvil, y que solo se unen temporalmente al tubo de instrumentación durante la inserción y recuperación del blanco. Por lo tanto, no se requiere una modificación permanente del sistema de medición de aerobolas existente.

45 Haciendo referencia a la figura 1, un reactor nuclear comercial comprende uno o más tubos guía 12 unidos al menos a un tubo de instrumentación 14 que pasa a través de un núcleo 10 del reactor nuclear. El tubo guía 12 está configurado para permitir la inserción y retirada de aerobolas así como de blancos de irradiación 16 y, 50 opcionalmente, blancos de colocación 18 (véase la figura 2) dentro y desde el tubo de instrumentación 14.

55 El sistema de medición de aerobolas del reactor nuclear comercial está adaptado para manejar los blancos de irradiación 16 que tienen una forma redonda, cilíndrica, elíptica o esférica y tienen un diámetro correspondiente al hueco del tubo de instrumentación 12 del sistema de medición de aerobolas. Preferentemente, el diámetro de los blancos 16, 18 está en el intervalo de entre 1 a 3 mm, preferentemente de 1,7 mm aproximadamente.

- Los tubos guía 12 penetran en una barrera de acceso 20 del reactor y se acoplan a uno o más tubos de instrumentación 14. Preferentemente, el tubo de instrumentación 12 penetra en la cubierta de la vasija de presión del reactor nuclear, extendiéndose el tubo de instrumentación 14 desde la parte superior a la parte inferior de prácticamente toda la longitud axial del núcleo de reactor 10. Un extremo del tubo de instrumentación 14 en la parte inferior del núcleo de reactor 10 está cerrado y/o provisto de un tope, de manera que los blancos de irradiación 16 insertados en el tubo de instrumentación 12 forman una columna en la que cada blanco 16 está en una posición axial predefinida en el núcleo de reactor 10.
- Preferentemente, uno o más sensores de humedad (no mostrados) pueden proporcionarse en los tubos guía 12 para detectar cualquier entrada de refrigerante primario o cualquier otro líquido. Se entiende que los tubos de instrumentación 14 están en contacto directo con el refrigerante primario que rodea los elementos combustibles en el núcleo de reactor nuclear. Los sensores de humedad pueden basarse en bujías que se modifican para medir la resistencia eléctrica.
- De acuerdo con una realización preferida, el reactor nuclear comercial es un reactor de agua presurizada. Más preferentemente, los tubos de instrumentación 12 son los de un sistema de medición de aerobolas convencional de un reactor de agua presurizada (PWR), tal como un reactor nuclear EPR™ o PWR Siemens™.
- Sin embargo, los expertos en la materia reconocerán que la invención no se limita al uso de un sistema de medición de aerobolas de un reactor PWR. Por el contrario, también es posible usar los tubos de instrumentación de un sistema de sonda de calibración intranuclear de un reactor de agua en ebullición (BWR), los puertos de visualización de un reactor CANDU y los canales de medición de temperatura y/o flujo de neutrones en un reactor de agua pesada.
- Como se muestra en la figura 1, los tubos guía 12 están conectados al sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 configurados para insertar los blancos de irradiación 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 en el tubo de instrumentación 14 en un orden lineal predeterminado, y para recuperar los blancos de irradiación activados 16 y los blancos de colocación 18 desde el tubo de instrumentación 14, manteniendo de este modo el orden lineal de los blancos.
- El sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 se acciona neumáticamente, lo que permite un procesamiento rápido y seguro de eficacia probada de los blancos de irradiación 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 usando un gas presurizado, tal como nitrógeno o aire.
- El sistema de procesamiento de blancos 22 comprende un sistema de recuperación de blancos configurado para recibir los blancos de irradiación 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 desde el tubo de instrumentación 14 y hacer pasar una cantidad predefinida de blancos de irradiación activados a un depósito de almacenamiento blindado contra la radiación. El sistema de recuperación de blancos se describirá con mayor detalle a continuación, con referencia a la figura 3.
- Con referencia adicional a la figura 1, una unidad de instrumentación y control (ICU) 24 está conectada al sistema de procesamiento de blancos 22, así como un sistema de monitorización de núcleo en línea 26, para controlar la activación de los blancos de irradiación 16. Preferentemente, la ICU 24 también está conectada a un sistema de monitorización de fallos 28 del sistema de medición de aerobolas para informar sobre cualquier error del sistema.
- De acuerdo con una realización preferida, el sistema de monitorización de núcleo 26 y la unidad de instrumentación y control 24 están configurados de tal manera que el proceso 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, el consumo de combustible, la potencia del reactor y/o la carga. Por lo tanto, puede calcularse una posición de irradiación axial y un tiempo de irradiación óptimos para obtener unos resultados óptimos. Sin embargo, no es importante si el cálculo real se realiza en la ICU 24 o mediante el sistema de monitorización de núcleo 26 del sistema de medición de aerobolas.
- La ICU 24 está conectada al software del sistema de monitorización de 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 de acuerdo con el flujo de neutrones real. El sistema de procesamiento de blancos 22 se acciona por la ICU 24. Las señales de inicio/parada para la activación de blancos se intercambian entre ambos sistemas. La ICU 24 está conectada además a los componentes mecánicos del sistema de procesamiento de blancos 22, incluidos los sensores. El sistema de monitorización de núcleo en línea 26 del sistema de medición de aerobolas convencional, tal como el sistema de software de monitorización de núcleo POWERTRAX/S™ disponible en Areva™, puede proporcionar prácticamente todos los datos de entrada relevantes para el cálculo de las condiciones de activación óptimas necesarias para una generación de radionucleidos eficiente.
- Preferentemente, la información proporcionada por el sistema de monitorización de núcleo 26 a la unidad de instrumentación y control 24 incluye al menos uno de los siguientes: flujo de neutrones (a partir de detectores fuera o dentro del núcleo), valores de activación procedentes de un sistema de medición de aerobolas existente, consumo

ES 2 715 126 T3

de combustible, potencia del reactor, carga, posición(es) de la barra, caudal, 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 de irradiación axial y el tiempo de irradiación óptimos. Los parámetros mencionados anteriormente pueden incluir valores en tiempo real y cualquier derivado, como desarrollos durante un período de tiempo predefinido.

La información obtenida a partir del sistema de monitorización de núcleo 26 también pueden usarse en la ICU 24 para calcular otros parámetros, tales como la cantidad de blancos de irradiación 16 en un tubo de instrumentación seleccionado 14 que define la longitud real de la columna de blancos respectiva, y las posiciones de los blancos de irradiación individuales 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 dentro de la columna de blancos. Basándose en los resultados de los cálculos, la ICU 24 y/o un operario accionarán los componentes mecánicos del sistema de procesamiento de blancos 22.

En una realización preferida, la ICU 24 se configura de tal manera que la operación de las válvulas del sistema de procesamiento de blancos 22 esté al menos parcialmente automatizada para lograr una operación segura y fiable del sistema de procesamiento de blancos.

Más preferentemente, la unidad de instrumentación y control 24 puede estar configurada para controlar automáticamente la presión en los tubos guía 12, en particular, después de cada inserción de los blancos de irradiación 16 y/o los blancos de colocación 18 por el sistema de procesamiento de blancos 22.

Preferentemente, la operación del sistema de generación de radionucleidos se monitoriza y controla en una estación de operario a través de una unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento puede instalarse en un armario de control separado en una sala de armario de control (no mostrada). La unidad de procesamiento está equipada con una pantalla y, entre otras cosas, permite controlar parámetros específicos de las válvulas del sistema de procesamiento de blancos 22.

En la estación de operario, puede monitorizarse 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 tubo de instrumentación 14 alcanza el tiempo calculado, un mensaje le indica al operario que comience el proceso de recuperación y recogida con respecto al tubo de instrumentación seleccionado 14.

Después de cada inserción de los blancos de irradiación 16 y los blancos de colocación 18 en el tubo de instrumentación 14, se comprueba y se regula la presión en el tubo de una manera totalmente automatizada. La ICU 24 también recoge otras señales digitales representativas de ciertas condiciones del sistema. Especialmente, las señales de los sensores de humedad permiten una monitorización de fugas, como la entrada de refrigerante primario en el sistema de tubos de instrumentación 12.

Un armario de carga del sistema de medición de aerobolas puede estar adaptado para proporcionar la potencia eléctrica para los componentes del sistema de procesamiento de blancos 22, incluyendo las válvulas y la unidad de procesamiento en el armario de control. Puede instalarse un inversor de potencia adicional que tiene los fusibles adecuados en el armario de carga. También es posible usar un suministro adicional de 24 voltios proporcionado en la sala de armario de control.

Con referencia a la figura 2, un tubo de instrumentación 14 u otro conducto de aerobolas penetra en una cubierta de la vasija de presión del reactor. El tubo de instrumentación 14 se extiende desde la parte superior a la parte inferior en prácticamente toda la longitud axial del núcleo de reactor 10. Los blancos de irradiación 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 se insertan en el tubo de instrumentación 14 en un orden lineal para formar una columna de blancos en la que cada blanco 16, 18 está en una posición axial predefinida. El tubo de instrumentación 14 comprende un puerto de entrada de gas 30 en la parte superior del tubo que está acoplado al sistema de procesamiento de blancos 22.

Como alternativa, también es posible insertar los blancos en el tubo de instrumentación 14 desde un pozo seco en la parte inferior del núcleo de reactor 10, por ejemplo, si el sistema TIP de un reactor de agua en ebullición está conectado al sistema de procesamiento de blancos 22. En este caso, se proporcionan medios adicionales para retener los blancos de irradiación 16 y los blancos de colocación 18 en el tubo de instrumentación 14.

Los blancos de irradiación 16 están fabricados de material no fisionable y comprenden un material precursor adecuado para la generación de radionucleidos que van a usarse con fines médicos y/u otros fines. Más preferentemente, los blancos de irradiación consisten en el material precursor que se convierte en el radionucleido deseado tras activarse por exposición al flujo de neutrones presente en el núcleo de un reactor nuclear comercial operativo. Materiales precursores útiles son Mo-98, Yb-176 y Lu-176 que se convierten en Mo-99 y Lu-177, respectivamente. Se entiende, sin embargo, que la invención no está limitada al uso de un material precursor específico.

Los blancos de colocación 18 se fabrican de un material inerte que no se activa sustancialmente en las condiciones

del núcleo 10 de un reactor nuclear operativo. Preferentemente, los blancos de colocación pueden fabricarse de materiales inertes baratos y pueden tener propiedades magnéticas diferentes a las de los blancos de irradiación. Preferentemente, los blancos de colocación 18 pueden reutilizarse después de un breve tiempo de desintegración, de manera que la cantidad de residuos radiactivos se reduzca aún más.

5 Para su uso en un sistema de medición de aerobolas convencional, los blancos de irradiación 16 y los blancos de colocación 18 tienen una forma redonda, preferentemente una forma esférica o cilíndrica, de manera que los blancos pueden deslizarse suavemente a través de y pueden guiarse fácilmente en los tubos guía 12 del sistema de medición de aerobolas por un gas presurizado, tal como aire o nitrógeno, y/o bajo la acción de la gravedad.

10 De acuerdo con una realización preferida, los blancos de colocación 18 y los blancos de irradiación 16 tienen diferentes propiedades magnéticas. Preferentemente, o bien los blancos de colocación 18 o los blancos de irradiación 16 pueden atraerse magnéticamente. Más preferentemente, uno de entre los blancos de irradiación 16 y los blancos de colocación 18 es ferromagnético mientras que el otro de entre los blancos de irradiación 16 y los blancos de colocación 18 es no magnético o paramagnético. Aún más preferentemente, los blancos de colocación 18 se fabrican de un material ferromagnético, tal como hierro o aleaciones de hierro, incluyendo acero inoxidable ferrítico, o ferrita.

20 Con la ayuda del sistema de monitorización de núcleo en línea 26 es posible determinar las secciones 32, 36 del tubo de instrumentación 14 en las que el flujo de neutrones es demasiado bajo para producir radionucleidos, y las secciones 34, donde el flujo de neutrones está por encima de la demanda de blancos de irradiación requeridos y, por lo tanto, es suficiente para producir los radionucleidos deseados.

25 Con el fin de eliminar cualquier residuo de los costosos blancos de irradiación 16, se proporcionan unos blancos de colocación 18 y se colocan, preferentemente, en la sección de extremo inferior 32 del tubo de irradiación 14 que tiene una densidad de flujo de neutrones demasiado baja para generar radionucleidos.

30 De acuerdo con la realización mostrada en la figura 2, los blancos de irradiación 16 están colocados arriba y se mantienen en su lugar por los blancos de colocación 18 en una sección central 34 del tubo 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 la ICU 24 y/o el sistema de monitorización de núcleo en línea 26.

35 De acuerdo con una realización preferida de la invención, una sección superior 36 del tubo de instrumentación 14 se mantiene vacía.

40 En un reactor de agua presurizada comercial, la sección 34 del tubo de instrumentación útil para la generación de radionucleidos se extiende, en general, a lo largo de aproximadamente 3-4 metros, y las secciones de extremo 32, 36 se extienden a lo largo de 0,5 a 1 metro. Dependiendo de la carga de combustible nuclear, la sección útil 34 para la activación de los blancos de irradiación 14 puede variar en la posición del núcleo. Estos valores pueden variar de acuerdo con el tipo de reactor y el estado de operación real del reactor, y serán diferentes para los reactores de agua en ebullición, los reactores de agua pesada y los reactores CANDU, respectivamente.

45 En otra realización (no mostrada), uno o más de los blancos de irradiación 16 en el tubo de instrumentación 14 pueden separarse unos de otros por uno o más blancos de colocación 18, definiendo de este modo unas subsecciones del blanco de irradiación. Los blancos de irradiación 16 en las subsecciones de blancos de irradiación tienen, preferentemente, las mismas o diferentes propiedades de material. Más preferentemente, los blancos de irradiación 16 en subsecciones adyacentes difieren con respecto al material precursor usado para la generación de radionucleidos. Esta realización permitirá la producción de diferentes radionucleidos en una operación de una sola etapa.

50 La colocación óptima de los blancos de irradiación 16 por medio de los económicos blancos de colocación 18 en un tubo de instrumentación 14 de un reactor nuclear comercial proporciona una producción eficaz y económica de radionucleidos durante la operación del reactor, y también evita la producción de residuos nucleares, debido a la incompleta activación del blanco.

55 El sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 de la presente invención se muestra esquemáticamente en la figura 3.

60 Específicamente, el sistema de procesamiento de blancos 22 comprende un sistema de recuperación de blancos 38 que tiene un puerto de salida de blancos 40 configurado para acoplarse a un depósito de almacenamiento de blancos 42 y un sistema de escape 44 de la central nuclear, un sistema de inserción de blancos 46 configurado para insertar los blancos de irradiación 16 en el tubo de instrumentación 14 y para guiar los blancos de irradiación activados 16 desde el tubo de instrumentación 14 hasta el sistema de recuperación de blancos 38, y un sistema de suministro de gas de transporte 48 configurado para acoplarse a una fuente 50 de gas presurizado y para impulsar los blancos 16, 18 dentro del sistema de procesamiento de blancos 22 dentro y fuera del tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10.

ES 2 715 126 T3

5 El sistema de recuperación de blancos 38, el sistema de inserción de blancos 46 y el sistema de suministro de gas de transporte 48 están montados sobre un soporte móvil 52. El soporte móvil 52 puede ser cualquier sistema móvil que sea capaz de moverse dentro de un área accesible dentro del confinamiento del reactor nuclear. Preferentemente, el soporte móvil 52 comprende un carrito de mano, o un carrito motorizado o accionado eléctricamente.

10 El puerto de salida 40 del sistema de recuperación de blancos 38 está unido a un tubo de descarga 54 que tiene un elemento de bloqueo 56 para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados 16 en el puerto de salida 40. El elemento de bloqueo 56 puede ser un elemento de restricción accionado magnética o mecánicamente, preferentemente un pasador que atraviesa el tubo de descarga 54.

15 El tubo de descarga 54 está configurado para recibir los blancos de irradiación 16 impulsados fuera del tubo de instrumentación después de que se haya completado la activación. El orden lineal de los blancos de irradiación 16 y/o los blancos de colocación 18 se mantiene en el tubo de descarga 54.

20 El puerto de salida 40 está localizado en un extremo libre del tubo de descarga 54 adyacente al elemento de bloqueo 56 y tiene una junta de puerto de salida 58 para el acoplamiento a uno de una serie de depósitos de almacenamiento 42. El depósito de almacenamiento 42 está configurado para recibir los blancos de irradiación activados 16 recuperados del tubo de instrumentación 14. El depósito de almacenamiento 42 tiene, preferentemente, un blindaje para minimizar la exposición de un operario a la radiación proveniente de los blancos de irradiación activados 16.

25 Una válvula de bola 60 está dispuesta en el puerto de salida 40 del sistema de recuperación de blancos 38. La válvula de bola 60 está configurada para descargar el gas fuera del tubo de descarga 54, y para liberar los blancos de irradiación activados 16 del tubo de descarga 54 a través del puerto de salida 40 en el depósito de almacenamiento 42 por la acción de la gravedad. Un tubo de gases de escape 62 está conectado a la válvula de bola 60 y está provisto de una junta de tubo de gases de escape 64 para acoplarse al sistema de escape externo 44 de la central nuclear. El tubo de gases de escape 62 comprende además una válvula de cierre 66 corriente abajo de la válvula de bola 60.

30 El tubo de gases de escape 62 también puede comprender una derivación 68 que puede estar equipada con una válvula de cierre adicional 70. El conducto de derivación sirve para proporcionar una compensación de presión cuando los blancos de irradiación 16 se impulsan en el tubo de instrumentación 14. En este caso, la válvula de cierre 70 está abierta, y la válvula de bola 60 y la válvula de cierre 66 están cerradas.

35 El tubo de descarga 54 tiene una forma de U invertida que forma un vértice 72 que divide el tubo de descarga 54 en una primera sección 74 próxima al puerto de salida 40 y una segunda sección 76 conectada al sistema de inserción de blancos 46 y el tubo de instrumentación 14.

40 El elemento de bloqueo 56 se proporciona en la primera sección de tubo de descarga 74 cerca del puerto de salida 40 para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación activados 16 fuera del tubo de descarga 54.

45 Un sensor 78 para determinar la actividad de los blancos u otros parámetros de blancos se proporciona en la primera sección de tubo de descarga 74 adyacente al elemento de bloqueo 56. El sensor 78 puede tener un colimador y se usa para determinar la presencia de los blancos de irradiación activados 16 frente a los blancos de colocación no activados 18. Además, el sensor 78 puede usarse para el control de calidad de activación suficiente de los blancos de irradiación 16 y para el control de tiempo de ejecución de los blancos activados 16 desde el tubo de instrumentación 14 al elemento de bloqueo 56 con el fin de indicar los requisitos de mantenimiento. El sensor 78 también puede usarse para detectar la cantidad de blancos irradiados activados a repartir en consecuencia en las juntas de transporte. Preferentemente, el sensor 78 puede hacer que la válvula de bola 60 se cierre después de que se detecte una cantidad suficiente de actividad en los blancos irradiados 16 con el fin de evitar una inserción adicional de blancos activados en el depósito de almacenamiento 42.

55 Al menos un imán 80 está dispuesto de manera móvil en la primera sección de tubo de descarga 74 para separar los blancos magnéticos de los blancos no magnéticos. Más preferentemente, el imán 80 puede usarse para seleccionar y separar los blancos de irradiación activados 16 de los blancos de colocación 18 en el tubo de descarga 54. El al menos un imán 80 puede seleccionarse entre un imán permanente y un solenoide. Preferentemente, el al menos un imán 80 puede moverse a lo largo de la primera sección de tubo de descarga 74 con el fin de exponer selectivamente los blancos ferromagnéticos a un campo magnético y retener los blancos ferromagnéticos en el tubo de descarga 54.

60 El tubo de descarga 54 puede conectarse a un vibrador 82 para liberar los blancos de irradiación bloqueados 16 y/o para eliminar la materia particulada, tal como el polvo abrasivo. Preferentemente, el vibrador 82 se acopla al tubo de descarga 54 cerca del vértice 72.

65 La segunda sección de tubo de descarga 76 conecta el sistema de recuperación de blancos 38 al sistema de

ES 2 715 126 T3

inserción de blancos 46. El sistema de inserción de blancos 46 comprende un dispositivo de llenado de blancos 84, una tubería de retención de blancos 86 y un desviador de blancos 88.

5 El desviador de blancos 88 se acopla al sistema de recuperación de blancos 38 a través de la segunda sección de tubo de descarga 76. El dispositivo de llenado de blancos 84 está configurado para proporcionar una fuente de blancos de irradiación 16 y/o blancos de colocación 18 que van a insertarse en el tubo de instrumentación 14, y también se acopla al desviador de blancos 88. El dispositivo de llenado de blancos 84 puede comprender un embudo equipado con un vibrador o agitador y que contiene blancos de irradiación o blancos de colocación, o un cartucho que contiene una columna de blancos preestablecida (no mostrada).

10 La tubería de retención de blancos 86 está adaptada para alojar todos los blancos de irradiación 16 insertados en, o recuperados de, el tubo de instrumentación 14. En un extremo del mismo, la tubería de retención de blancos 86 comprende una sección de tubo ascendente 90 y un elemento de bloqueo 92 en un extremo superior de la sección de tubo ascendente 90 para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación 16 en el tubo de instrumentación 14. En un extremo opuesto a la sección de tubo ascendente 90, la tubería de retención de blancos 86 está conectada al desviador de blancos 88.

15 El desviador de blancos 88 está configurado como un conmutador para seleccionar entre un paso desde el dispositivo de llenado de blancos 84 a la tubería de retención 86, y un paso desde la tubería de retención 86 al tubo de descarga 54.

20 Pueden proporcionarse uno o más sensores 94 en la tubería de retención de blancos 86 y, preferentemente, en la sección de tubo ascendente 90, para determinar al menos uno de entre la actividad de los blancos, el tiempo de transporte de blancos, la cantidad de blancos y las propiedades magnéticas de los blancos.

25 Preferentemente, el uno o más sensores 94 se proporcionan para monitorizar la presencia y el tiempo de ejecución de los blancos de irradiación 16 y, opcionalmente, los blancos de colocación 18 que pasan a través de los tubos guía 12, y que entran y salen del tubo de instrumentación 14. 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 de colocación 18 pasan por los sensores 94 para medir el tiempo de transporte y la conversión completa a nucleidos radiactivos. Aún más preferentemente, los sensores 94 se usan para monitorizar que todos los blancos de irradiación 16 hayan abandonado el tubo de instrumentación 14 durante el proceso de retirada, mientras que los blancos pasan por los sensores 94. Además, o como alternativa, el sensor 94 puede ser un sensor de actividad usado para detectar la dosis de radiación de los blancos de irradiación 16 y/o los blancos de colocación 18.

30 Se proporciona una junta de suministro de blancos 96 en el extremo de la tubería de retención de blancos 86 opuesto al desviador de blancos 88, cerca del elemento de bloqueo 92 en la sección de tubo ascendente 90. La junta de suministro de blancos 96 está configurada para acoplarse a una abertura 98 del tubo guía 12 que se dirige al tubo de instrumentación 14. La abertura 98 del tubo guía 12 se forma en el extremo de un tubo guía del sistema de medición de aerobolas que está adaptado para recibir y guiar las aerobolas, así como los blancos de irradiación 16, al tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10. Puede usarse un tubo de conexión 100 para proporcionar un paso entre la junta de suministro de blancos 96 y la abertura de tubo guía 98 del sistema de medición de aerobolas.

35 El sistema de suministro de gas de transporte 48 comprende una primera tubería de suministro de gas 102, una segunda tubería de suministro de gas 104 y una junta de suministro de gas de transporte 106 acoplada a la primera y la segunda tubería de suministro de gas 102, 104.

40 La primera tubería de suministro de gas 102 del sistema de suministro de gas de transporte 48 está acoplada al puerto de salida 40 del sistema de recuperación de blancos 38, y está configurada para suministrar gas presurizado para transportar los blancos de irradiación activados 16 desde el tubo de descarga 54 a la tubería de retención 86, y para transportar los blancos de irradiación 16 desde la tubería de retención 86 al tubo de instrumentación 14 para la generación de radionucleidos. La primera tubería de suministro de gas 102 se conecta al puerto de salida 40 corriente arriba de la válvula de bola 60, adyacente al elemento de bloqueo 56 del tubo de descarga 54.

45 La segunda tubería de suministro de gas 104 del sistema de suministro de gas de transporte 48 tiene una junta 108 configurada para acoplarse a una batería de válvulas 110 del sistema de medición de aerobolas, y se usa para proporcionar gas presurizado al puerto de entrada de gas 30 del tubo de instrumentación 14 para soplar los blancos de irradiación activados 16 fuera del tubo de instrumentación 14 y hacer pasar los blancos de irradiación activados 16 a la tubería de retención 86 y/o al tubo de descarga 54.

50 La junta de suministro de gas de transporte 106 está configurada para conectarse a la fuente 50 de gas presurizado, tal como un cilindro de gas comprimido o un suministro de gas presurizado externo de la central nuclear, tal como el suministro de gas de un sistema de medición de aerobolas existente.

55 Las válvulas de cierre 112, 114, que se proporcionan en las tuberías de suministro de gas primera y segunda 102,

104, sirven para bloquear cualquier suministro de gas al sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22, y también pueden usarse para conmutar entre las operaciones de inserción de blancos y de recuperación de blancos.

5 El sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 comprende además una interfaz electrónica 116 que está acoplada a la unidad de instrumentación y control 24 y/o el sistema de monitorización de núcleo 26 para monitorizar y controlar la operación de los componentes del sistema.

10 La figura 4 ilustra el sistema de recuperación de blancos 38 en mayor detalle. El tubo de descarga 54 tiene la forma de una U invertida y comprende la primera sección de tubo de descarga 74, la segunda sección de tubo de descarga 76 y el vértice 72 formado en una conjunción de las secciones de tubo de descarga primera y segunda 74, 76. El vértice 72 es el punto más alto del tubo de descarga 54. Las secciones de tubo de descarga primera y segunda 74, 76 se dirigen hacia abajo desde el vértice 72. Son posibles otros perfiles del tubo de descarga 54 siempre que el vértice 72 formado entre las secciones de tubo de descarga primera y segunda 74, 76 tenga un radio que sea lo suficientemente pequeño como para separar una de otra de manera eficaz las columnas de blancos en las secciones de tubo de descarga primera y segunda 74, 76.

20 Una distancia d_1 entre el elemento de bloqueo 56 y el vértice 72 corresponde a una altura de la columna de blancos en la primera sección de tubo de descarga 74. La segunda sección de tubo de descarga 76 se comunica con la tubería de retención 86 formada como una hélice, de manera que los blancos en la segunda sección de tubo de descarga 76 pueden tener, por lo tanto, una masa mayor que el total de la columna de blancos en la primera sección de tubo de descarga 74. La diferencia de masa ayuda al efecto del vértice 72 y facilita la separación de los blancos bajo la acción de la gravedad sin usar ningún otro medio mecánico.

25 Un puerto de entrada de gas 120 se localiza corriente abajo del elemento de bloqueo 56 en el puerto de salida 40, estando el puerto de entrada de gas 120 acoplado a la primera tubería de suministro de gas 102 para suministrar gas presurizado al tubo de descarga 54. El gas presurizado puede suministrarse desde un cilindro de gas montado de manera que el sistema de procesamiento de blancos 22 pueda operarse como un sistema independiente sin una modificación sustancial del sistema de medición de aerobolas regular.

30 El puerto de salida 40 está dispuesto en un extremo libre de la primera sección de tubo de descarga 74, opuesto al vértice 72, y la segunda sección de tubo de descarga 76 está acoplada al desviador 88 que proporciona un paso hacia la tubería de retención 86 y el tubo de instrumentación 14.

35 El puerto de salida 40 comprende la válvula de bola 60 para facilitar la liberación de los blancos de irradiación activados 16 en el depósito de almacenamiento 42 y la eliminación de la generación de aerosoles. El tubo de gases de escape 62 conecta la válvula de bola 60 al sistema de escape externo 44 de la central nuclear. La válvula de cierre 66 está dispuesta en el tubo de gases de escape 62, de manera que el sistema de recuperación de blancos 22 puede separarse del sistema de escape 64, si se desea.

40 Como se muestra en la figura 5a, la válvula de bola 60 está configurada para proporcionar una posición abierta en la que los blancos de irradiación activados 16 puedan fluir a través de la válvula de bola 60 bajo la acción de la gravedad en el depósito de almacenamiento 42 conectado al puerto de salida 40. Además, la válvula de bola 60 proporciona un paso abierto al sistema de escape 44 a través del tubo de gases de escape 62. La figura 5b muestra la válvula de bola 60 en una posición cerrada que se usa cuando los blancos de irradiación 16 se transportan desde el tubo de descarga 54 de vuelta a la tubería de retención 86, o desde la tubería de retención 86 al tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10. En este caso, la válvula de cierre 66 se cierra para separar el sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 del sistema de escape 44. La válvula de bola 60 en posición cerrada también permite la purga del sistema 22 con gas presurizado, preferentemente nitrógeno, para trabajos de mantenimiento. En este caso, la válvula de cierre 66 se abre, y el gas de purga se ventila en el sistema de escape 44.

55 La figura 6 es una sección transversal del desviador de blancos 88 usado en el sistema de inserción de blancos 46. El desviador de blancos 88 comprende una carcasa cilíndrica 122 que tiene unas cubiertas 124, 126 en los extremos opuestos de la carcasa cilíndrica 122. Un émbolo móvil 128 está dispuesto dentro de la carcasa 122, y se opera por el vástago de émbolo 130 que se extiende a través de la cubierta 124 y se acopla en un rebaje 132 en el émbolo 128. El vástago de émbolo 130 se fija a la cubierta 124 por una pestaña. El vástago de émbolo 130 puede operarse por accionamiento eléctrico, mecánico o neumático.

60 El émbolo 128 se empuja contra un resorte 136 alojado en un rebaje 138 dispuesto en la cubierta 126. Por lo tanto, el émbolo 128 puede moverse entre dos posiciones accionando el vástago de émbolo 130, apoyándose el émbolo 128 en la cubierta 124 en la primera posición, y apoyándose en la cubierta 126 en la segunda posición.

65 El émbolo 128 está provisto de dos orificios radiales 140, 142 que se extienden a través del émbolo 128. La carcasa 122 tiene dos aberturas 144, 146 en su área lateral que son adyacentes entre sí y que pueden ponerse en alineación con los orificios radiales 140, 142 en el émbolo 128, alternativamente, cuando el émbolo 128 está en la primera posición o en la segunda posición. Frente a las dos aberturas 144, 146 en la carcasa, se proporciona una única

ES 2 715 126 T3

abertura 148 que se alinea con uno de los orificios radiales 140 en el émbolo 128 cuando el émbolo 128 está en la primera posición, y se alinea con el otro orificio 142 cuando el émbolo 128 está en la segunda posición.

5 Por lo tanto, el movimiento del émbolo 128 entre la primera y la segunda posición proporciona una conmutación entre dos pasos diferentes. Cuando se usa en el sistema de inserción de blancos 46, la única apertura 148 se conecta a la tubería de retención de blancos 86. Una de las aberturas 146 opuestas a la única apertura se conecta al dispositivo de llenado de blancos, y la otra apertura 144 se conecta al tubo de descarga.

10 Unos anillos de sellado 150 están dispuestos entre las cubiertas 124, 126 y la carcasa 122, y entre la pestaña 134 y la cubierta 124 para proporcionar un sellado hermético de la carcasa 122. Se proporciona un par de fuelles 152 para sellar aún más el vástago de émbolo 130 apretado a presión contra la carcasa 122. El huelgo entre el émbolo 128 y la carcasa 122 está adaptado para actuar como un reductor que disminuye la presión dentro de la carcasa 122 y evita el aumento de presión en el paso bloqueado. Una apertura de ventilación 154 dispuesta en la cubierta 126 también se usa para reducir la presión dentro de la carcasa 122. La apertura de ventilación 154 puede conectarse al sistema de escape (no mostrado).

20 La figura 7 muestra una configuración alternativa del sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 de la figura 3, en la que las válvulas de cierre 66 y 112 se sustituyen por una válvula de control direccional de 3/2 156, y las válvulas de cierre 70 y 114 se sustituyen por una válvula direccional de 3/2 158.

La fuente de gas 50 es una batería de válvula de un sistema de medición de aerobolas existente, y la junta de suministro de gas de transporte 106 está configurada para conectarse a la batería de válvula.

25 La válvula de control direccional 156 conecta la primera tubería de suministro de gas 102 al puerto de salida 40 y al tubo de escape 62 que se dirige al sistema de escape externo 44. La válvula de control direccional 158 conecta la segunda tubería de suministro de gas 104 a la primera tubería de suministro de gas 102 y al conducto de derivación 68 que se dirige al sistema de escape 44.

30 El dispositivo de llenado de blancos 84 está configurado como un cartucho lleno de blancos de irradiación 16 y/o blancos de colocación 18, que está conectado a la fuente de gas 50 a través de la línea de suministro de gas 160 que incluye la válvula 162. Para comenzar un nuevo ciclo de generación de radionucleidos, el cartucho que incluye los blancos de irradiación y/o los blancos de colocación puede montarse en el sistema antes de recuperar los blancos de irradiación activados del tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10, y la válvula 162 se abre con el fin de impulsar neumáticamente los blancos de irradiación 16 y/o los blancos de colocación 18 desde el dispositivo de llenado 84 al tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10.

A continuación, se describe con mayor detalle la operación del sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 de la invención.

40 El proceso de generación de radionucleidos se inicia moviendo el sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 desde una instalación de almacenamiento al punto de acceso deseado dentro del confinamiento del reactor.

45 El puerto de salida de blancos 40 se acopla al sistema de escape externo 44 a través de la válvula de bola 60 y el tubo de gases de escape 62. Un tubo de una pluralidad de tubos de instrumentación 14 se selecciona para la generación de radionucleidos dependiendo del estado del reactor y las condiciones del flujo de neutrones en el tubo de instrumentación seleccionado 14. La junta de suministro de blancos 96 se acopla a la apertura 98 del tubo guía 12 que se dirige al tubo de instrumentación seleccionado 14.

50 Además, la junta de suministro de gas de transporte 106 se conecta a una fuente 50 de gas presurizado, tal como un cilindro de gas, y la segunda tubería de suministro de gas 104 se conecta al puerto de entrada de gas 30 del tubo de instrumentación 14 a través de la junta 108 y la batería de válvulas 110 del sistema de medición de aerobolas.

55 Los blancos de irradiación 16 y/o los blancos de colocación 18 del dispositivo de llenado de blancos 84 se insertan en el tubo de instrumentación 14 pasando los blancos a la tubería de retención 86 bajo la acción de la gravedad o el gas presurizado de la fuente de gas 50. El desviador de blancos 88 está en una posición para proporcionar un paso abierto entre el dispositivo de llenado 84 y la tubería de retención 86. Los blancos 16, 18 se sacan de la tubería de retención 86 y se insertan en el tubo de instrumentación 14 soplando gas presurizado a través de la primera tubería de suministro de gas 102 y el tubo de descarga 54. En esta etapa, se abre la válvula de cierre 112 en la primera tubería de suministro de gas 102 y se cierra la válvula de cierre 114 en la segunda tubería de suministro de gas 104. Además, la válvula de bola 60 y la válvula de cierre 66 en el tubo de gases de escape están en una posición cerrada. La válvula de cierre 70 en el conducto de derivación 68 está abierta para permitir la compensación de presión en el tubo guía 12.

65 Los blancos de irradiación 16 se activan por exposición a un flujo de neutrones en el núcleo de reactor nuclear 10 cuando el reactor está en una operación de generación de energía para convertir el material precursor del blanco de

irradiación 16 en el radionucleido deseado.

Los blancos de colocación 18 y los blancos de irradiación 16 están dispuestos en el tubo de instrumentación 14 en un orden lineal precalculado, de tal manera que los blancos de colocación 18 mantienen los blancos de irradiación 16 en una posición axial predeterminada en el núcleo de reactor 10. La posición axial óptima de los blancos de irradiación 16 se calcula mediante la ICU 24 y/o el sistema de monitorización de núcleo en línea 26 y corresponde a una densidad de flujo de neutrones suficiente para convertir por completo los blancos de irradiación 16 en el radionucleido durante un período de tiempo predeterminado. Las posiciones restantes en el tubo de instrumentación 14 están ocupadas por los blancos de colocación 18 que mantienen los blancos de irradiación 16 en su lugar.

Los blancos de irradiación 16 se colocan, preferentemente, en una sección central 34 del tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10, y los blancos de colocación 18 se colocan, preferentemente, en una sección de extremo 32 del tubo de instrumentación 14, es decir, en la parte inferior del núcleo de reactor 10 donde la densidad del flujo de neutrones es insuficiente para activar por completo los blancos de irradiación 16 (véase la figura 2). Como se muestra en la figura 2, el espacio sobre los blancos de irradiación 16 en la sección superior 36 puede permanecer vacío.

Los blancos de irradiación 16 se activan en el tubo de instrumentación 14 durante un período de tiempo suficiente para completar la conversión del material precursor de los blancos de irradiación al radionucleido deseado, según lo determinado por el sistema de monitorización de 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 el estado del reactor, las condiciones del flujo de neutrones, el tipo de material precursor y otros parámetros diferentes conocidos por los expertos en la materia, y puede oscilar de varias horas a días, o hasta la saturación de la actividad. La conversión completa significa una tasa de conversión del material precursor que proporciona un contenido de radionucleido adecuado para la aplicación médica o industrial de los blancos de irradiación 16.

Después de completar la activación de los blancos de irradiación 16 y la conversión al radionucleido deseado, el sistema de procesamiento de blancos 22 se opera de nuevo para forzar los blancos de colocación 18 y los blancos de irradiación activados 16 fuera del tubo de instrumentación 14 en la tubería de retención 86 y, además, en el tubo de descarga 54. El gas presurizado, tal como nitrógeno o aire, se suministra al puerto de entrada de gas 30 del tubo de instrumentación 14 haciendo pasar el gas presurizado a través de la segunda tubería de suministro de gas 104 y la junta 108 hacia el puerto de entrada de gas 30 del tubo de instrumentación 14. En esta etapa, el desviador de blancos 88 está en una posición para proporcionar un paso abierto entre el tubo de descarga 54 y la tubería de retención 86. La válvula de cierre 112 en la primera tubería de suministro de gas 102 está cerrada, y la válvula de cierre 114 en la segunda tubería de suministro de gas 104 está abierta. La válvula de bola 60 aún está en posición cerrada, y la válvula de cierre 66 en el tubo de gases de escape 62 está abierta para permitir que todos los aerosoles salgan del sistema de procesamiento de blancos de irradiación 22 y entren en el sistema de escape 44.

Un depósito de almacenamiento 42 con un blindaje contra la radiación adecuado se acopla al puerto de salida 40, preferentemente antes de recuperar los blancos de irradiación activados 16 del tubo de instrumentación 14.

El orden lineal de los blancos de colocación 18 y los blancos de irradiación 16 en el tubo de instrumentación 14 se mantiene en el tubo de descarga 54, de manera que los blancos de irradiación 16 se localizan cerca del puerto de salida 40 del tubo de descarga 54. Los blancos de colocación 18 están en un extremo distal de la columna de blancos en el tubo de descarga 54 y/o la tubería de retención 86.

En este momento, el tubo de descarga 54 se bloquea por el elemento de bloqueo 56 que proporciona un tope para los blancos 16, 18 y evita que los blancos de irradiación activados 16 y los blancos de colocación 18 salgan del tubo de descarga 54.

A continuación, la válvula de cierre 114 en la segunda tubería de suministro de gas 104 se cierra y la presión en el sistema de procesamiento de blancos de irradiación 20 se libera en el sistema de escape 44.

Los blancos de irradiación 16 que entran en el tubo de descarga 54 se hacen pasar sobre el vértice 72 formado en la conjunción entre las secciones de tubo de descarga primera y segunda 74, 76. Una cantidad predefinida de blancos de irradiación activados 16 se localiza en la primera sección de tubo de descarga 74, cerca del puerto de salida 40. La cantidad de blancos de irradiación 16 en la primera sección de tubo de descarga 74 corresponde directamente a la longitud de la primera sección de tubo de descarga 74 entre el elemento de bloqueo 56 y el vértice 72.

A continuación, la válvula de bola 60 y el elemento de bloqueo 56 se abren con el fin de liberar la cantidad predefinida de blancos de irradiación activados 16 localizados en un lado del vértice 72 en la primera sección de tubo de descarga 74 y hacer pasar los blancos 16 al depósito de almacenamiento blindado 42 acoplado al puerto de salida 40, bajo la acción de la gravedad. La válvula de cierre 66 en el tubo de gases de escape 62 todavía está abierta, de manera que se emiten aerosoles en el sistema de escape 44. La válvula de cierre 70 en el conducto de derivación 68 y la válvula de cierre 114 en la segunda tubería de suministro de gas 104 están cerradas.

ES 2 715 126 T3

- La otra cantidad de blancos de irradiación activados 16 y blancos de colocación 18 no pueden pasar el vértice y se mantienen en el tubo de descarga 54 o pueden fluir de vuelta a la tubería de retención 86, bajo la acción de la gravedad. La válvula de bola 60 y el elemento de bloqueo 56 están cerrados, y los blancos 16, 18 se conducen de vuelta a la tubería de retención 86 pasando el gas presurizado a través de la primera tubería de suministro de gas 102 y el tubo de descarga 54. En esta etapa, la válvula de cierre 112 en la primera tubería de suministro de gas 102 está abierta, y la válvula de bola 60 está en posición cerrada. El desviador de blancos 88 aún se encuentra en una posición para proporcionar un paso abierto entre el tubo de descarga 54 y la tubería de retención 86. El elemento de bloqueo 92 en el extremo de la tubería de retención 86 está cerrado para evitar que los blancos de irradiación activados 16 vuelvan a entrar al tubo de instrumentación 14 en el núcleo de reactor 10.
- Para retirar el depósito 42, la válvula de bola 60 en el puerto de salida 40 permanece cerrada para proporcionar un sellado hermético a presión del puerto de salida 40 del tubo de descarga 54, y el depósito de almacenamiento blindado 42 se retira o bien manualmente o por medio de un dispositivo de manejo automatizado.
- A continuación, se acopla un depósito de almacenamiento vacío 42 al puerto de salida 40, y se repiten las etapas del proceso anterior, comenzando por forzar los blancos 16, 18 fuera de la tubería de retención 86 suministrando gas presurizado al puerto de entrada de gas 30, para dividir en partes y recoger cantidades adicionales de blancos de irradiación activados 16 de la tubería de retención 86.
- Cuando los sensores 78, 94 en la tubería de retención 86 o el tubo de descarga 54 indican la presencia de blancos de colocación 18 y blancos de irradiación activados 16 en la primera sección de tubo de descarga 74, los blancos de colocación 18 y/o los blancos de irradiación activados 16 están expuestos a un campo magnético para retener o bien los blancos de colocación 18 o los blancos de irradiación activados 16 en la primera sección de tubo de descarga 74 y liberar el otro de los blancos de irradiación activados 16 o los blancos de colocación 18 de la primera sección de tubo de descarga a través del puerto de salida 40 en el depósito de almacenamiento 42 o un depósito de almacenamiento intermedio adaptado para recibir los blancos de colocación (no mostrado).
- Para separar los blancos de irradiación 16 de los blancos de colocación 18 y retirar selectivamente los blancos de irradiación 16 de la primera sección de tubo de descarga 74, los imanes 80 se mueven a lo largo del eje longitudinal de la primera sección de tubo de descarga 74 y se disponen adyacentes a los blancos de colocación ferromagnéticos 18, de manera que uno o más blancos de colocación 18 próximos al puerto de salida 40 se asocian y se exponen al campo magnético del imán 80.
- A continuación, se abre el elemento de bloqueo 56, y los blancos de irradiación no magnéticos 16 se liberan de la primera sección de tubo de descarga 74 bajo la acción de la gravedad y se hacen pasar al depósito de almacenamiento 42 para su posterior procesamiento y/o envío a un sitio de aplicación. Los blancos de colocación magnéticos 18 se mantienen en la primera sección de tubo de descarga 74 por la acción del campo magnético generado por los imanes 64.
- Después de que los blancos de irradiación 16 se separen de los blancos de colocación 18 y se recojan en el depósito de almacenamiento 42, el puerto de salida 40 se acopla al depósito de almacenamiento intermedio, el campo magnético se apaga y los blancos de colocación 18 se transfieren al depósito intermedio bajo la acción de la gravedad para su uso posterior después de un corto período de desintegración. Los blancos de colocación 18 mantenidos en la segunda sección de tubo de descarga 76 y/o la tubería de retención 86 pueden forzarse fuera del tubo de descarga 54 en el depósito de almacenamiento intermedio usando gas presurizado suministrado a través de la segunda tubería de suministro de gas 104.
- Como alternativa, algunos o todos los blancos de colocación 18 pueden conducirse de vuelta a la tubería de retención 86 o el tubo de instrumentación 14 cerrando la válvula de bola 60 en el puerto de salida 40 y soplando gas presurizado a través de la primera tubería de suministro de gas 102 hacia el puerto de entrada de gas 56 en el puerto de salida.
- Este procedimiento también puede usarse si los blancos magnéticos se colocan corriente arriba de los blancos no magnéticos, y se mantienen por los imanes 80 en la primera sección de tubo de descarga 102 cerca del elemento de bloqueo 56. Los blancos no magnéticos localizados corriente abajo de los blancos magnéticos se conducen, a continuación, sobre el vértice 72 de vuelta a la tubería de retención 86 por medio de gas presurizado mientras que los blancos magnéticos permanecen en la primera sección de tubo de descarga 102.
- A continuación, puede iniciarse un nuevo ciclo de generación de radionucleidos insertando blancos de irradiación 16 y/o blancos de colocación 18 nuevos en el tubo de instrumentación 14.
- En una realización preferida, el tubo de instrumentación 14 usado para la generación de radionucleidos se cambia por el acoplamiento de la segunda tubería de suministro de gas 104 y la junta de suministro de blancos 96 a otro de los múltiples tubos de instrumentación 14 que se extienden en el núcleo de reactor, y se realiza una segunda etapa de la generación de radionucleidos usando el otro tubo de instrumentación 14. El tubo de instrumentación 14 usado para la primera etapa de la generación de radionucleidos puede usarse a continuación para la medición del

flujo de neutrones. Por lo tanto, puede obtenerse una información más fiable sobre el estado del reactor y las condiciones del flujo de neutrones.

5 Se entiende que el proceso anterior de división en partes y recogida de blancos también podrá aplicarse viceversa si los blancos de colocación 18 no son magnéticos y los blancos de irradiación 16 son ferromagnéticos.

10 El método de generación de radionucleidos y el sistema de procesamiento de blancos 22 de acuerdo con la invención también pueden usarse en una central nuclear que no tenga un sistema de medición de aerobolas convencional, pero que use otra instrumentación para las mediciones intranucleares. El sistema de procesamiento de blancos de la presente invención no requiere la instalación de tubos de instrumentación adicionales, tubos guía y similares solo para la generación de radionucleidos, sino que se proporciona como un sistema independiente que puede conectarse a las instalaciones de medición intranucleares existentes. Los tipos de reactores posibles para una aplicación como esta incluyen reactores de agua presurizada, reactores de agua en ebullición, reactores de agua pesada y reactores CANDU (CANada-Deuterio-Uranio).

15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de procesamiento de blancos de irradiación (22) para insertar y recuperar blancos de irradiación (16) en y desde un tubo de instrumentación (14) en un núcleo de reactor nuclear (10), comprendiendo el sistema un sistema de recuperación de blancos (38) que comprende un puerto de salida de blancos (40) configurado para acoplarse a un depósito de almacenamiento de blancos (42) y un sistema de escape (44); un sistema de inserción de blancos (46) que comprende un dispositivo de llenado de blancos (84), una tubería de retención de blancos (86) y un desviador de blancos (88) acoplado al dispositivo de llenado de blancos (84), la tubería de retención de blancos (86) y el sistema de recuperación de blancos (38), y que comprende además una junta de suministro de blancos (96) en la tubería de retención de blancos (86), en el que la junta de suministro de blancos está configurada para conectarse al tubo de instrumentación (14); y un sistema de suministro de gas de transporte (48) que comprende una primera tubería de suministro de gas (102), una segunda tubería de suministro de gas (104) y una junta de suministro de gas de transporte (106) acoplada a las tuberías de suministro de gas primera y segunda (102, 104), en el que la primera tubería de suministro de gas (102) está acoplada al puerto de salida (40) del sistema de recuperación de blancos (38) y la segunda tubería de suministro de gas (104) está configurada para acoplarse a una junta (108) para suministrar gas al tubo de instrumentación (14); y en el que el sistema de recuperación de blancos (38), el sistema de inserción de blancos (46) y el sistema de suministro de gas de transporte (48) están montados en un soporte móvil (52).
2. El sistema de procesamiento de blancos de la reivindicación 1, en el que el sistema de recuperación de blancos (38) comprende un tubo de descarga (54) que tiene un elemento de bloqueo (56) para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación (16) en el puerto de salida (40).
3. El sistema de procesamiento de blancos de la reivindicación 2, en el que el tubo de descarga (54) está formado como una U invertida.
4. El sistema de procesamiento de blancos de las reivindicaciones 2 o 3, en el que el tubo de descarga (54) comprende un sensor (78) para determinar la actividad de los blancos.
5. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el sistema de recuperación de blancos (38) comprende un imán (80) dispuesto de manera móvil en el tubo de descarga (54) para separar blancos magnéticos de blancos no magnéticos.
6. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el tubo de descarga (54) está conectado a un vibrador (82) para liberar los blancos de irradiación bloqueados (116).
7. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el puerto de salida (40) comprende una válvula de bola (60) acoplada a la primera tubería de suministro de gas (102) y al sistema de escape (44).
8. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el sistema de inserción de blancos (46) comprende una tubería de retención de blancos (86) adaptada para alojar todos los blancos de irradiación recuperados del tubo de instrumentación (14).
9. El sistema de procesamiento de blancos de la reivindicación 8, en el que la tubería de retención de blancos (86) comprende una sección de tubo ascendente (90) y un elemento de bloqueo (92) en un extremo superior de la sección de tubo ascendente (90) para bloquear el movimiento de los blancos de irradiación (16) en el tubo de instrumentación (14).
10. El sistema de procesamiento de blancos de la reivindicación 8 o 9, en el que la tubería de retención de blancos (86) comprende un sensor (94) para determinar al menos uno de entre la actividad de los blancos, el tiempo de transporte de blancos, la cantidad de blancos y las propiedades magnéticas de los blancos.
11. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el sistema de suministro de gas de transporte (48) comprende un cilindro de gas comprimido conectado a la junta de suministro de gas de transporte (106).
12. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que las tuberías de suministro de gas primera y segunda comprenden una válvula de cierre (112, 114).
13. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que un tubo de gases de escape (62) está conectado a la válvula de bola (60) y al sistema de escape (44), y comprende una válvula de cierre (66) corriente abajo de la válvula de bola (60).
14. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que tanto la

ES 2 715 126 T3

primera como la segunda tubería de suministro de gas comprenden una válvula de control direccional, preferentemente una válvula de control direccional de 3/2.

5 15. El sistema de procesamiento de blancos de la reivindicación 14, en el que la válvula de control direccional en la primera tubería de suministro de gas (102) conecta la primera tubería de suministro de gas al puerto de salida (40) y un tubo de escape (62) que se dirige al sistema de escape (44).

10 16. El sistema de procesamiento de blancos de las reivindicaciones 14 o 15, en el que la válvula de control direccional en la segunda tubería de suministro de gas (104) conecta la segunda tubería de suministro de gas (104) a un conducto de derivación (68) que se dirige al sistema de escape (44) y la primera tubería de suministro de gas (102).

15 17. El sistema de procesamiento de blancos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, que comprende además una unidad de instrumentación y control (24) para monitorizar y controlar la operación de los componentes de sistema.

20 18. Uso del sistema de procesamiento de blancos de irradiación (22) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 para actualizar un reactor que tiene unos tubos de instrumentación existentes (14) para la generación de radionucleidos, o que tiene unas aberturas adecuadas en o cerca del núcleo de reactor para insertar los tubos de recepción de blancos.

19. Uso de la reivindicación 18, en el que las aberturas son puertos de visualización de un reactor CANDU.

25 20. Uso del sistema de procesamiento de blancos de irradiación (22) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 para insertar y recuperar blancos de irradiación (16) en y desde un tubo predeterminado de una pluralidad de tubos de instrumentación (14).

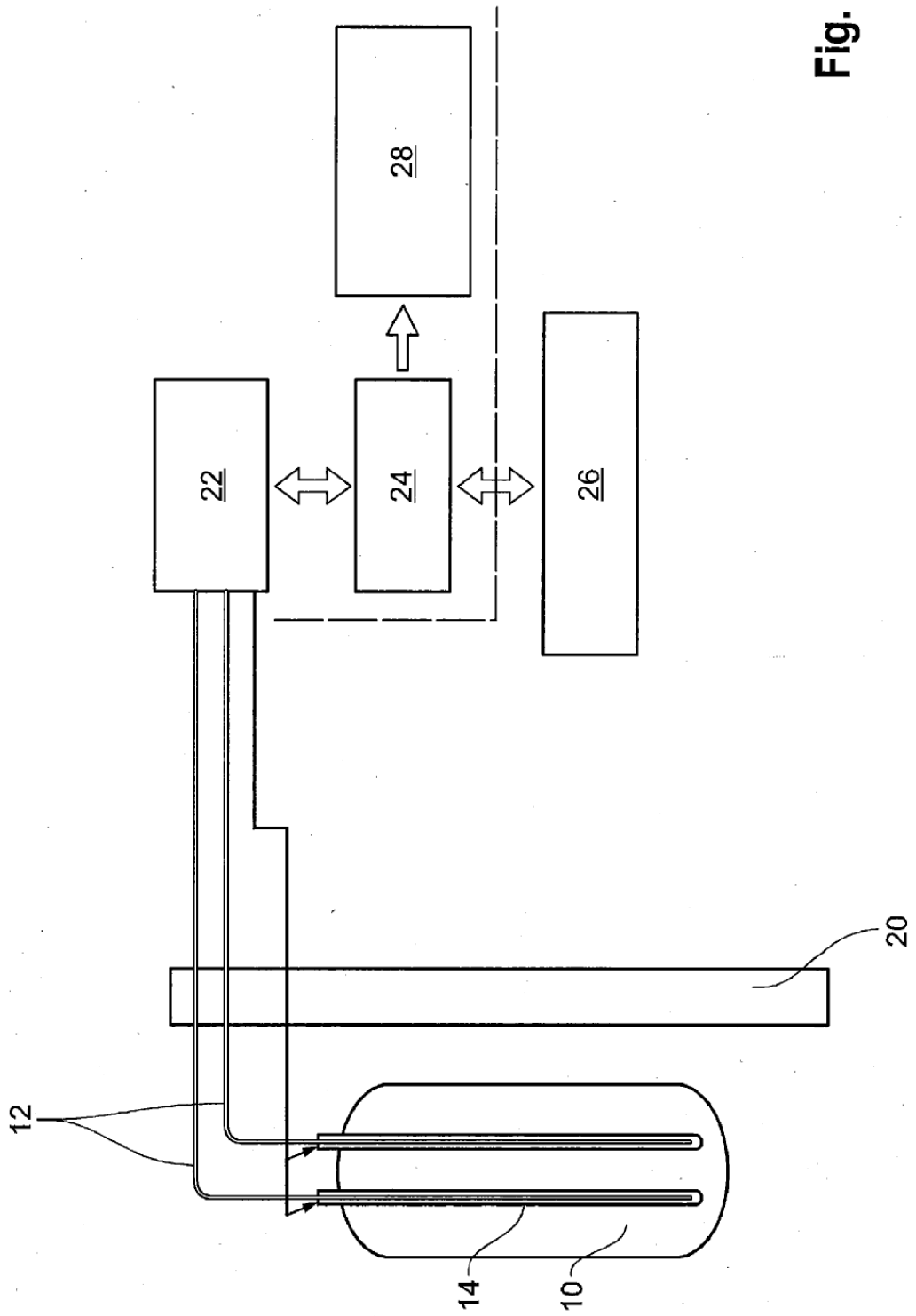


Fig. 1

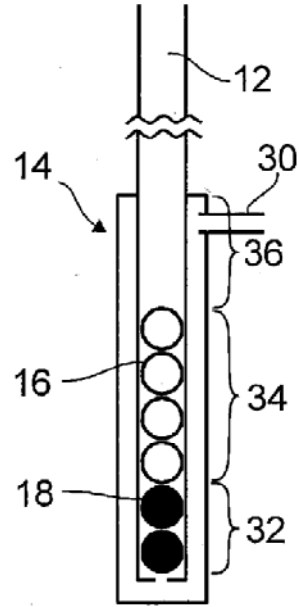


Fig. 2

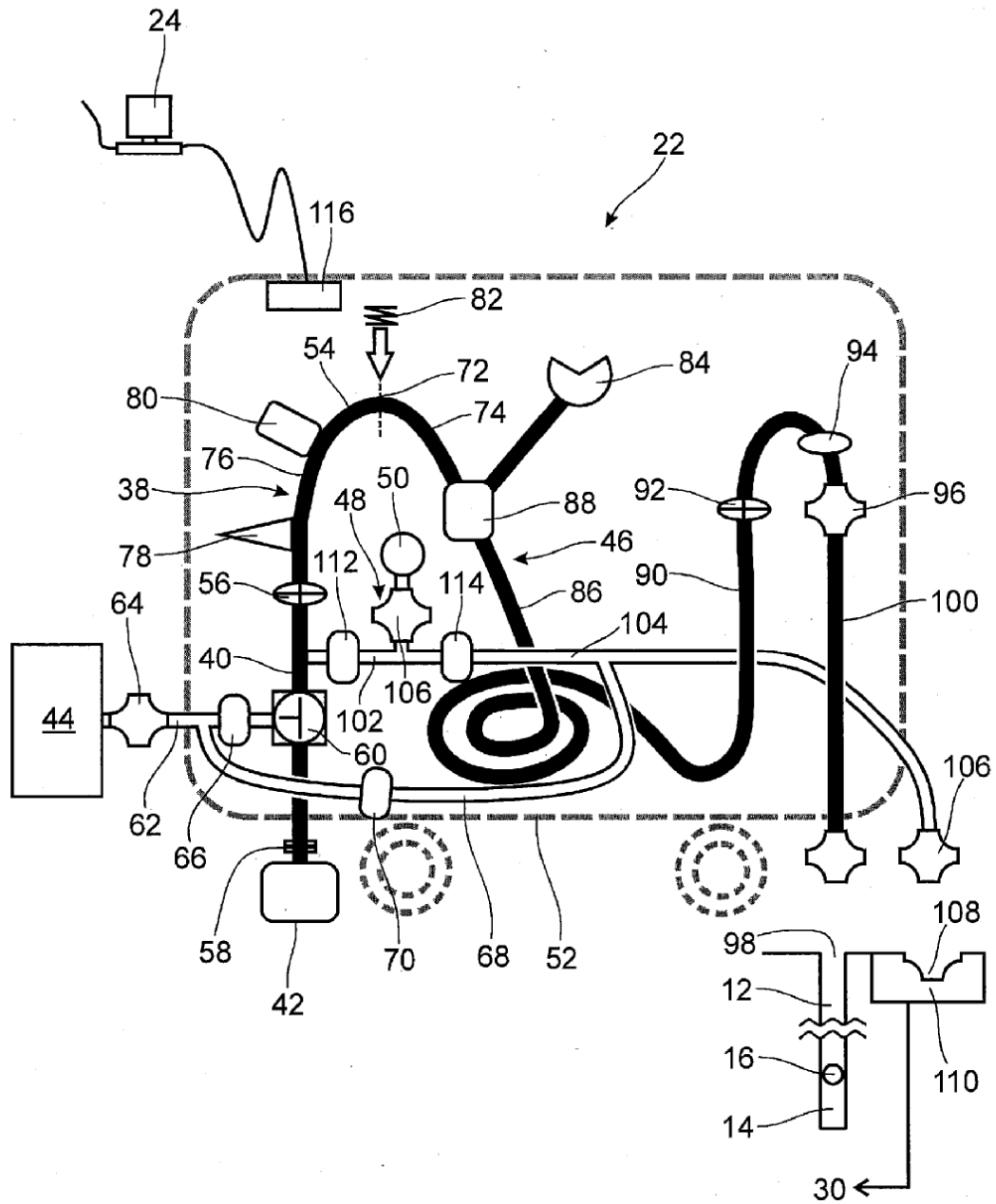


Fig. 3

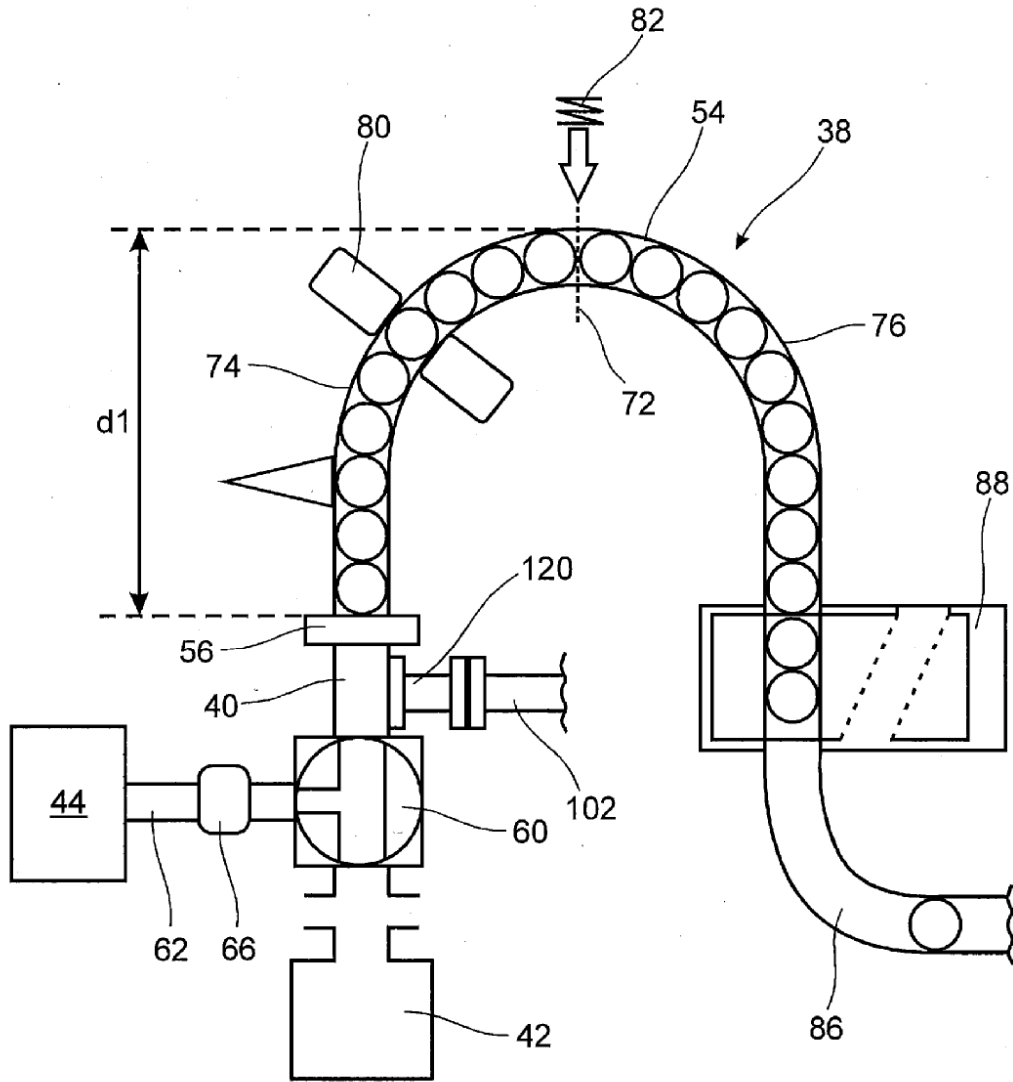


Fig. 4

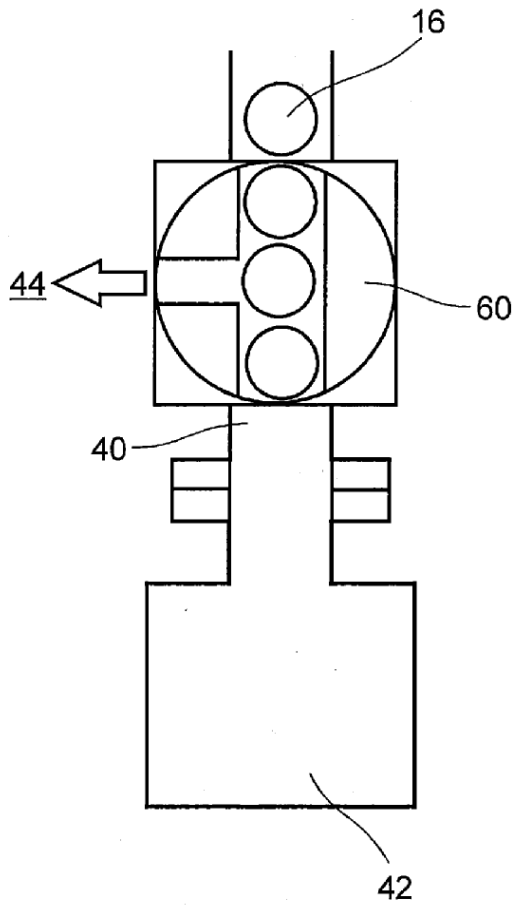


Fig. 5a

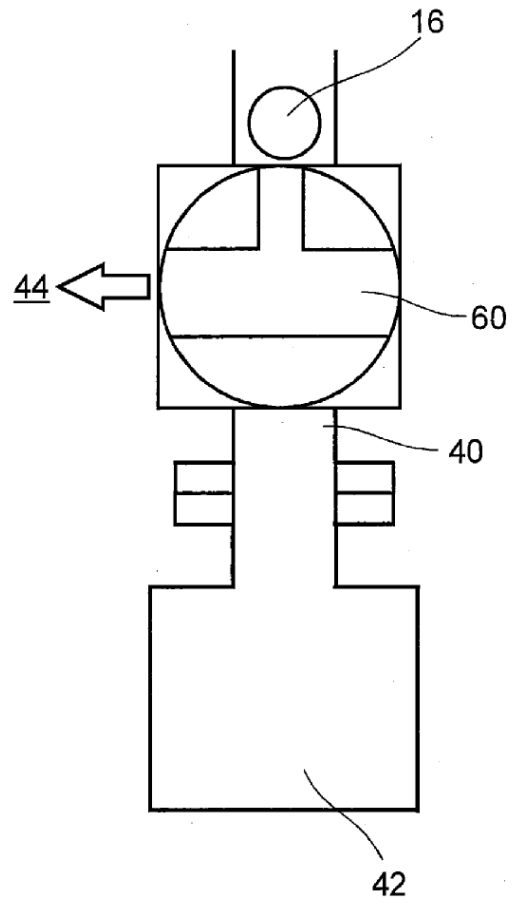


Fig. 5b

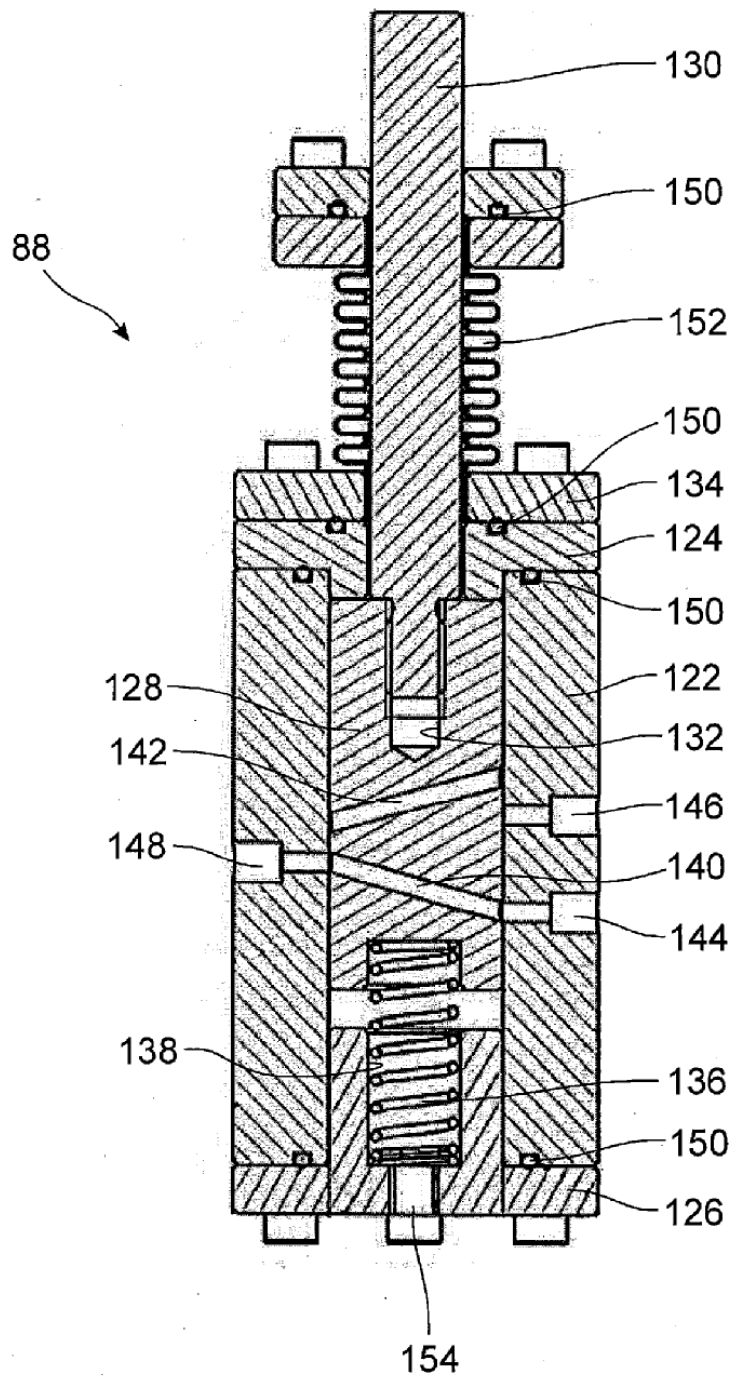


Fig. 6

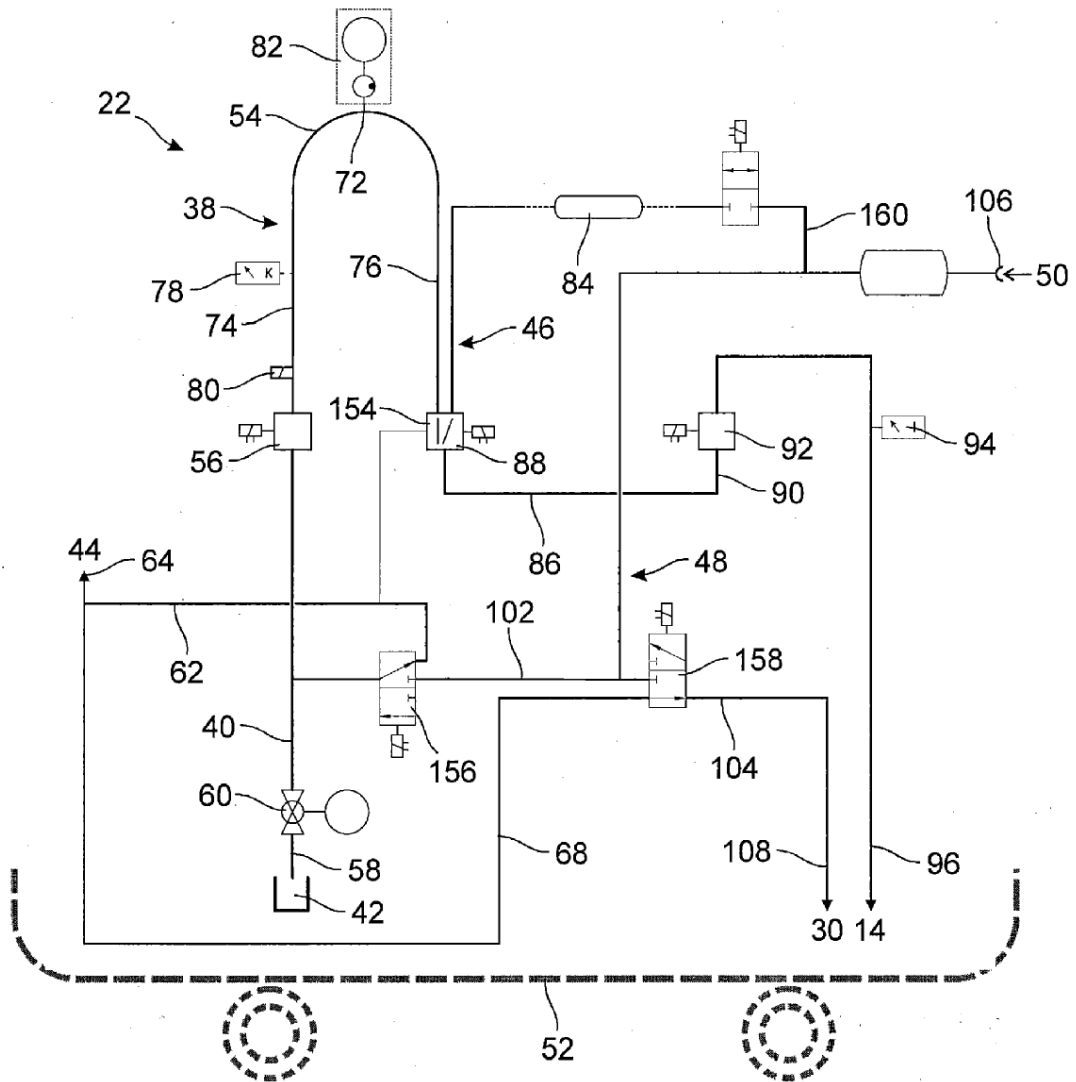


Fig. 7