

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 326**

51 Int. Cl.:

G21G 1/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2015 PCT/EP2015/059525**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2016 WO16173664**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2015 E 15720329 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 3289591**

54 Título: **SISTEMA DE GENERACIÓN DE RADIONÚCLIDOS Y MÉTODO DE PRODUCCIÓN DE RADIONÚCLIDOS**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2020

73 Titular/es:

**FRAMATOME GMBH (100.0%)
Paul-Gossen-Strasse 100
91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**RICHTER, THOMAS FABIAN;
SYKORA, ALEXANDER y
WISTUBA, LOTHAR**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 741 326 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 generación de radionúclidos y método de producción de radionúclidos

5 Campo de la invención

La presente invención se dirige a un sistema de generación de radionúclidos y a un método para producir radionúclidos a partir de objetivos de irradiación en un núcleo de reactor nuclear comercial.

10 Antecedentes técnicos de la invención

Los radionúclidos se usan en diversos campos de la tecnología y la ciencia, así como también para fines médicos. Normalmente, los radionúclidos se producen en reactores de investigación o ciclotrones. Sin embargo, dado que el número de instalaciones para la producción comercial de radionúclidos ya está limitado y se espera que disminuya, se desea proporcionar sitios de producción alternativos.

El documento EP 1 667 166 A2 se refiere a un método para producir isótopos en un reactor de energía de agua ligera, de manera que uno o más objetivos dentro del reactor pueden irradiarse bajo un flujo de neutrones para producir uno o más isótopos. Los objetivos pueden ensamblarse en una porción de tubo de una barra de combustible en uno o más haces de combustible que se cargarán en un núcleo del reactor en una interrupción dada. Las operaciones de energía en el reactor irradian los haces de combustible para generar isótopos deseados, tales como uno o más radioisótopos en una actividad específica deseada o isótopos estables en una concentración deseada.

La densidad de flujo de neutrones en el núcleo de un reactor nuclear comercial se mide, entre otras cosas, introduciendo sondas esféricas sólidas en tubos de instrumentación que pasan a través del núcleo del reactor. Por lo tanto, se sugirió que los tubos de instrumentación de reactores nucleares comerciales se usaran para producir radionúclidos.

Por ejemplo, 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 radionúclidos durante el funcionamiento normal de un reactor nuclear comercial. En particular, los objetivos de irradiación esféricos se empujan y extraen linealmente de los tubos de instrumentación. Sobre la base del perfil de flujo de neutrones axiales del núcleo del reactor, se determinan la posición óptima y el tiempo de exposición de los objetivos en el núcleo del reactor. Se usa un sistema de engranajes de transmisión para mover y mantener los objetivos de irradiación en los tubos de instrumentación.

El documento US 2013/0315361 A1 también se refiere a un aparato y métodos para producir radioisótopos en múltiples tubos de instrumentación de reactores nucleares comerciales durante el funcionamiento. Los objetivos de irradiación se insertan y extraen de múltiples tubos de instrumentación y se convierten en radioisótopos durante el funcionamiento del reactor nuclear. Se proporcionan objetivos de irradiación de posicionamiento para posicionar correctamente otros objetivos de irradiación en las posiciones deseadas dentro de o cerca del núcleo nuclear. Los objetivos de posicionamiento pueden fabricarse de un material inerte de bajo costo o de un material magnético, y pueden mantenerse en el tubo de instrumentación por medio de un cierre magnético. Después de la irradiación, los objetivos se suministran desde el tubo de instrumentación a una cuba de recolección, y los objetivos de posicionamiento pueden clasificarse desde el barril de recolección debido a sus marcas o propiedades físicas.

El documento WO 2014/107218 A2 describe un ensamblaje de retención que incluye una estructura de restricción, tal como una horquilla, para bloquear de manera selectiva el movimiento de los objetivos de irradiación a través de una trayectoria y hacia/fuera de los tubos de instrumentación. Se proporcionan objetivos de posicionamiento para sostener los objetivos de irradiación. Los objetivos de posicionamiento pueden ser ferromagnéticos. Se usa un detector de posicionamiento para hacer funcionar la horquilla de restricción en función de la presencia de miembros magnéticos, tales como los objetivos de posicionamiento.

El documento CA 2 792 593 A2 describe un aparato y métodos para producir radioisótopos en tubos de instrumentación de reactores nucleares comerciales durante el funcionamiento. Los objetivos de irradiación se insertan y extraen de los tubos de instrumentación durante el funcionamiento y se convierten en radioisótopos. Los objetivos de irradiación pueden incluir además un objetivo de seguimiento localizado en una posición conocida entre todos los demás objetivos que se fabrica de un material que es diferente de todos los demás objetivos y permite el seguimiento o localización de los objetivos de irradiación. Por ejemplo, el primer y último objetivo de irradiación pueden fabricarse de un material ferromagnético que puede rastrearse con un sensor magnético, o puede fabricarse de un material que se convierte en un producto isotópico diferente que puede detectarse con un sensor de radiación.

Las sondas esféricas convencionales para su uso en un sistema de medición por bolas en el núcleo de un reactor nuclear comercial se conducen dentro y fuera de los tubos de instrumentación mediante el uso de gas presurizado. Por lo tanto, los objetivos de irradiación diseñados para su uso en los tubos de instrumentación deben ser capaces de

soportar altas cargas mecánicas. Además, los objetivos se producen generalmente a partir de material primario que tiene una alta pureza de isótopos. La preparación de los objetivos de irradiación es por lo tanto muy costosa.

5 Sin embargo, la densidad de flujo de neutrones en el núcleo de un reactor nuclear comercial no es homogénea y puede ser insuficiente para convertir los objetivos de irradiación en el radionúclido deseado en varias posiciones axiales de los tubos de instrumentación. En general, la densidad del flujo de neutrones es mayor en la sección central del núcleo que en las áreas en la parte superior o inferior del mismo. Además, los elementos separadores entre las barras de combustible también pueden bloquear el flujo de neutrones en posiciones axiales específicas en el núcleo. En consecuencia, se requiere un posicionamiento selectivo de los objetivos para evitar el desecho de material primario
10 costoso debido a una activación insuficiente.

Si los objetivos de irradiación costosos se posicionan en la parte superior o inferior del núcleo del reactor nuclear, el material primario no se convertirá completamente en el radionúclido deseado. Los objetivos de irradiación activados de forma incompleta no pueden usarse en aplicaciones industriales o médicas y, por lo tanto, tendrán que clasificarse y desecharse o almacenarse de acuerdo con su vida media hasta que sea posible su reutilización. La clasificación de los objetivos de irradiación activados de manera incompleta aumentará los riesgos de seguridad y puede hacerse solo en celdas calientes. Además, el tiempo requerido para separar los objetivos de irradiación completamente convertidos de los objetivos activados de manera incompleta provoca un agotamiento de los radionúclidos en los objetivos convertidos debido a la desintegración radioactiva. Además, el desecho de los objetivos de irradiación activados de manera incompleta aumenta la cantidad de desechos nucleares y, por lo tanto, los costos de producción de los radionúclidos deseados.
15
20

Resumen de la invención

25 Es un objeto de la invención proporcionar un método para producir radionúclidos a partir de objetivos de irradiación insertados en un tubo de instrumentación de un núcleo de reactor nuclear, tal como el tubo de instrumentación de un sistema de medición por bolas o un sistema de Sonda Transversal en el Núcleo (TIP) de un reactor nuclear comercial que permite una producción efectiva y económica de radionúclidos durante el funcionamiento del reactor.

30 De acuerdo con otro objeto, se logrará un posicionamiento óptimo de los objetivos de irradiación en el núcleo del reactor nuclear y una rápida recuperación de los objetivos de irradiación activados de los tubos de instrumentación para convertir completamente los objetivos de irradiación costosos y evitar la producción de desechos nucleares debido a la activación incompleta de un objetivo.

35 Los objetos anteriores se resuelven mediante un método de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas y convenientes de la invención se indican en las reivindicaciones dependientes que pueden combinarse entre sí independientemente.

La invención proporciona un método para producir radionúclidos a partir de objetivos de irradiación en un núcleo de reactor nuclear que comprende las etapas de:
40 proporcionar al menos un sistema de tubos de instrumentación que incluye un dedo de instrumentación que pasa a través de un núcleo del reactor nuclear;
insertar al menos un objetivo de irradiación y al menos un objetivo simulado en el dedo de instrumentación y activar el objetivo de irradiación exponiendo el objetivo de irradiación al flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear para formar un radionúclido;
45 recuperar el objetivo simulado y el objetivo de irradiación del dedo de instrumentación y separar el objetivo simulado del objetivo de irradiación;
en donde el objetivo simulado y el objetivo de irradiación se disponen en el dedo de instrumentación en un orden lineal de manera que el objetivo simulado mantiene el objetivo de irradiación en una posición axial predeterminada en el núcleo del reactor, correspondiendo dicha posición axial a una densidad de flujo de neutrones precalculada suficiente para convertir el objetivo de irradiación en el radionúclido,
50 en donde el objetivo simulado y el objetivo de irradiación tienen diferentes propiedades magnéticas, y
en donde la etapa de separar el objetivo simulado del objetivo de irradiación incluye exponer el objetivo simulado y/o el objetivo de irradiación a un campo magnético para retener el objetivo simulado o el objetivo de irradiación en el sistema de tubos de instrumentación y liberar el otro del objetivo de irradiación o el objetivo simulado del sistema de tubos de instrumentación.
55

En un aspecto adicional, la invención proporciona un sistema de generación de radionúclidos que comprende:
60 un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear que incluye al menos un dedo de instrumentación que pasa a través de un núcleo del reactor nuclear en donde el sistema de tubos de instrumentación se configura para permitir la inserción y extracción de objetivos de irradiación y objetivos simulados en el dedo de instrumentación, y en donde los objetivos simulados y los objetivos de irradiación tienen diferentes propiedades magnéticas;
un sistema de control del objetivo configurado para insertar los objetivos de irradiación y los objetivos simulados en el dedo de instrumentación en un orden lineal predeterminado y para extraer los objetivos de irradiación y los objetivos simulados del dedo de instrumentación;
65

un sistema de monitoreo del núcleo y una unidad de control e instrumentación conectadas entre sí y configuradas para calcular una posición axial y tiempo de irradiación óptimos para los objetivos de irradiación en función del estado real del reactor nuclear según lo proporciona el sistema de monitoreo del núcleo;

un sistema de extracción de objetivos configurado para recuperar los objetivos de irradiación y los objetivos simulados del sistema de tubos de instrumentación y separar los objetivos de irradiación de los objetivos simulados, el sistema de extracción de objetivos que incluye medios para exponer los objetivos simulados y/o los objetivos de irradiación a un campo magnético para retener los objetivos simulados o los objetivos de irradiación en el sistema de tubos de instrumentación y liberar el otro de los objetivos de irradiación o los objetivos simulados del sistema de tubos de instrumentación.

La invención contempla que un reactor nuclear comercial cuyo propósito principal es la generación de energía eléctrica puede usarse para producir radionúclidos. En particular, los sistemas de medición de bola existentes o planificados u otros sistemas de tubos de instrumentación de tales reactores comerciales pueden modificarse y/o complementarse para permitir una producción efectiva y eficiente de radionúclidos.

De acuerdo con la invención, al menos algunos de los tubos de instrumentación, por ejemplo, de un sistema de medición por bolas o un sistema de Sonda Transversal en el Núcleo (TIP) se usan para guiar los objetivos de irradiación en el núcleo del reactor y para dirigir los objetivos de irradiación fuera del núcleo del reactor después de la activación completa del material primario del objetivo de irradiación. La activación de los objetivos se optimiza posicionando los objetivos de irradiación en áreas predeterminadas del núcleo del reactor que tiene un flujo de neutrones suficiente para convertir el material original completamente en el radionúclido deseado. El posicionamiento correcto de los objetivos de irradiación se logra por medio de objetivos simulados fabricados de un material inerte y secuenciando los objetivos simulados y los objetivos de irradiación en el sistema de tubos de instrumentación para formar una columna de los objetivos en el dedo de instrumentación en donde los objetivos de irradiación están en una posición axial óptima precalculada en el núcleo del reactor y las otras posiciones se ocupan por los objetivos simulados inertes.

La invención sugiere además separar los objetivos de irradiación activados de los objetivos simulados por medio de diferentes propiedades magnéticas, por ejemplo, mediante el uso de una cantidad de imanes posicionados en una sección de descarga del sistema de tubos de instrumentación, con el propósito de retener uno de los objetivos simulados o los objetivos de irradiación dentro del sistema de tubos y suministrar el otro de los objetivos simulados o los objetivos de irradiación a un contenedor de almacenamiento.

Separar los objetivos por medio de diferentes propiedades magnéticas permite un rápido procesamiento remoto de los objetivos de irradiación activados y también puede evitar el uso de sistemas mecánicos adicionales tales como contadores, indexadores y pasarelas para determinar la posición exacta de los objetivos simulados y los objetivos de irradiación.

Los objetivos simulados pueden fabricarse con materiales inertes de bajo costo y pueden reutilizarse después de un breve tiempo de degradación para reducir aún más la cantidad de desechos radiactivos.

En consecuencia, el posicionamiento óptimo de los objetivos de irradiación por medio de objetivos simulados de bajo costo en un sistema de tubos de instrumentación de un reactor nuclear comercial en combinación con la separación de los objetivos de irradiación activados de los objetivos simulados debido a diferentes propiedades magnéticas proporciona una producción efectiva y económica de radionúclidos durante el funcionamiento del reactor, y también evita la producción de desechos nucleares debido a la activación incompleta del objetivo.

De acuerdo con una realización preferida, el sistema de tubos de instrumentación se deriva de un sistema de medición por bolas convencional de un reactor de agua a presión, tal como un reactor nuclear EPR™ o Siemens™ PWR.

Como se conoce por un experto en la técnica, el propósito principal de un sistema de medición por bolas es medir la densidad de flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear. El sistema de medición por bolas comprende un sistema de tubos de instrumentación e incluye un sistema de control que se hace funcionar neumáticamente configurado para insertar sondas esféricas, denominadas "bolas aerodinámicas", en el dedo de instrumentación del sistema de tubos, que pasa a través del núcleo del reactor en toda la longitud axial del núcleo, y para retirar las bolas aerodinámicas del dedo de instrumentación después de la activación de las sondas y guiarlas a través del sistema de tubos de instrumentación hasta una sala de detección, preservando de esta manera el orden lineal de las sondas.

El experto en la técnica, sin embargo, reconocerá que la invención no se limita al uso de un sistema de medición por bolas de un reactor PWR. En su lugar, también es posible usar los tubos de instrumentación del sistema de Sonda Transversal en el Núcleo (TIP) de un reactor de agua en ebullición (BWR) o los puertos de visión de un reactor CANDU.

De acuerdo con la invención, los objetivos simulados y los objetivos de irradiación tienen diferentes propiedades magnéticas. Preferentemente, los objetivos simulados o los objetivos de irradiación son atraíbles magnéticamente. Con mayor preferencia, los objetivos simulados se fabrican de un material ferromagnético tal como ferrita, hierro o aleaciones de hierro, incluyendo acero inoxidable ferrítico.

Con la máxima preferencia, los objetivos de irradiación y los objetivos simulados tienen una forma redonda, preferentemente una forma esférica, de modo que los objetivos son capaces de rodar y pueden procesarse fácilmente en el sistema de tubos de instrumentación mediante el uso de gas presurizado como aire o nitrógeno.

5 Los objetivos de irradiación y los objetivos simulados se insertan en el dedo de instrumentación del sistema de tubos de instrumentación en el núcleo del reactor nuclear. Preferentemente, el sistema de tubos de instrumentación comprende un tubo de descarga que se conecta al dedo de instrumentación y que se localiza fuera del núcleo del reactor nuclear. Con mayor preferencia, el tubo de descarga tiene una salida acoplada a un contenedor de almacenamiento para recibir uno de los objetivos de irradiación u objetivos simulados retirados del sistema de tubos de instrumentación a través del tubo de descarga.

10 El sistema de control del objetivo se configura para insertar los objetivos de irradiación y los objetivos simulados a través del sistema de tubos de instrumentación en el dedo de instrumentación en un orden lineal predeterminado y para extraer los objetivos de irradiación y los objetivos simulados del dedo de instrumentación.

15 De acuerdo con una realización preferida, el sistema de control del objetivo se hace funcionar neumáticamente, lo que permite un procesamiento rápido de los objetivos de irradiación y los objetivos simulados mediante el uso de gas presurizado, tal como nitrógeno o aire.

20 Con mayor preferencia, el sistema de control del objetivo comprende una o más baterías de válvula que se hacen funcionar neumáticamente para el control separado de la inserción y el transporte de los objetivos de irradiación y los objetivos simulados en el sistema de tubos de instrumentación. En función de esta separación de controles, el sistema de medición por bolas regular para determinar el flujo de neutrones en el núcleo y el sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la invención pueden manejarse por separado. El sistema de control e instrumentación se configura de manera que el funcionamiento de las válvulas del sistema de control del objetivo se automatiza, al menos parcialmente, para lograr un funcionamiento seguro y confiable del sistema de control del objetivo.

25 El sistema de control del objetivo puede comprender además un dispositivo de compuertas para descargar los objetivos de irradiación y/o los objetivos simulados en un contenedor de almacenamiento.

30 De acuerdo con una realización preferida de la invención, el sistema de control del objetivo comprende sensores para monitorizar la presencia y el tiempo de ejecución de los objetivos de irradiación y los objetivos simulados que pasan a través del sistema de tubos de instrumentación, en particular dentro y fuera del dedo de instrumentación.

35 Con mayor preferencia, los sensores del sistema de control del objetivo responden a una variación del flujo magnético a medida que los objetivos de irradiación y/o los objetivos simulados pasan por los sensores. Además, o como una alternativa, pueden usarse sensores de actividad que detectan la radiación de los objetivos de irradiación y/o los objetivos simulados.

40 De acuerdo con una realización preferida, el sistema de monitoreo del núcleo y la unidad de control e instrumentación se configuran de manera que el proceso de irradiación para convertir el objetivo de irradiación en radionúclido se optimice considerando el estado real del reactor, especialmente el flujo real de neutrones, combustión de combustible, potencia del reactor y/o carga. Por lo tanto, puede calcularse una posición de irradiación axial y un tiempo de irradiación óptimos para obtener resultados óptimos. Sin embargo, no es importante si el cálculo real se realiza en la unidad de control e instrumentación o por el sistema de monitoreo del núcleo adaptado del sistema de medición por bolas. En consecuencia, ambas alternativas son objeto de la invención.

45 Preferentemente, la información proporcionada por el sistema de monitoreo del núcleo a la unidad de control e instrumentación incluye al menos uno de los siguientes: flujo de neutrones (de detectores fuera del núcleo o dentro del núcleo), valores de activación de un sistema de medición por bolas existente, combustión, potencia del reactor, carga, posición(es) de la barra, régimen de flujo, temperatura de entrada, presión y sincronización de tiempo. Cuanta más información sobre el reactor se considere como datos de entrada, más precisos serán los resultados del cálculo de la posición óptima de irradiación axial y el tiempo de irradiación. Los parámetros antes mencionados pueden incluir valores en tiempo real y cualquier derivado, tal como la evolución a lo largo del tiempo.

50 La instrumentación y la unidad de control pueden configurarse ventajosamente para controlar automáticamente la presión en el sistema de tubos de instrumentación, en particular después de cada inserción de objetivos de irradiación y/u objetivos simulados por el sistema de control del objetivo.

60 El sistema de extracción de objetivos incluye preferentemente al menos un imán, con mayor preferencia, al menos un imán seleccionado de al menos uno de un imán permanente o un solenoide, dispuesto en el sistema de tubos de instrumentación como un medio para exponer los objetivos a un campo magnético.

De acuerdo con una realización preferida, el sistema de tubos de instrumentación comprende el tubo de descarga conectado al dedo de instrumentación, y el imán o solenoide se dispone en el tubo de descarga. Con la máxima preferencia, el al menos un imán es móvil a lo largo de un eje longitudinal del tubo de descarga.

5 Aún con mayor preferencia, el sistema de extracción de objetivos comprende un cierre magnético dispuesto en el tubo de descarga para bloquear el flujo de los objetivos de irradiación y/o los objetivos simulados que salen del tubo de descarga a un contenedor de almacenamiento. Preferentemente, el cierre magnético se dispone cerca de la salida del tubo de descarga, corriente abajo del al menos un imán con respecto a la dirección de flujo de los objetivos de irradiación fuera del tubo de descarga. Con mayor preferencia, el cierre magnético comprende un medio de retención,
10 tal como un pasador que atraviesa el tubo de descarga, de modo que los objetivos se retienen en el tubo de descarga hasta que se activa al menos un imán.

Con la máxima preferencia, el al menos un imán y/o el bloqueo magnético se controlan a distancia por la unidad de control e instrumentación de modo que se logre un procesamiento automático y rápido de los objetivos de irradiación.

15 En el método de la presente invención, los objetivos de irradiación se colocan preferentemente en la sección central del dedo de instrumentación en el núcleo del reactor nuclear, y los objetivos simulados se colocan preferentemente en al menos una sección de extremo del dedo de instrumentación, es decir, en la parte superior y/o inferior del núcleo del reactor donde la densidad de flujo de neutrones es insuficiente para activar completamente los objetivos de irradiación.
20

La posición exacta de los objetivos de irradiación en el dedo de instrumentación se determina por el sistema de monitoreo del núcleo y/o la unidad de control e instrumentación. Como regla general, la sección central del dedo de instrumentación útil para la generación de radionúclidos se extiende a lo largo de unos 3 a 4 metros, y las porciones de extremo se extienden a lo largo de 0,5 a 1 metro en un reactor de agua a presión comercial. Estos valores pueden variar de acuerdo con el tipo de reactor y el estado de funcionamiento real del reactor, y serán diferentes para los reactores de agua en ebullición y los reactores CANDU, respectivamente.
25

En una realización preferida, el sistema de tubos de instrumentación penetra en la cubierta del recipiente a presión del reactor nuclear, y los objetivos de irradiación y los objetivos simulados se insertan en el dedo de instrumentación desde la parte superior del núcleo del reactor a través de la cubierta del recipiente a presión. Preferentemente, los objetivos simulados se disponen en la sección de extremo inferior de los dedos de instrumentación, y los objetivos de irradiación se disponen por encima de los objetivos simulados. Con la máxima preferencia, el espacio sobre los objetivos de irradiación permanecerá vacío.
30

De acuerdo con otra realización, los objetivos de irradiación en el dedo de instrumentación pueden separarse por uno o más objetivos simulados, definiendo de esta manera las subsecciones del objetivo de irradiación. Los objetivos de irradiación en las subsecciones del objetivo de irradiación preferentemente tienen las mismas o diferentes propiedades de material. Con mayor preferencia, los objetivos de irradiación en subsecciones adyacentes difieren con respecto al material primario usado como precursor para la generación de radionúclidos. Por lo tanto, es posible producir diferentes radionúclidos en un funcionamiento de una sola etapa.
35

Alternativamente, también es posible insertar los objetivos de irradiación y los objetivos simulados en el dedo de instrumentación desde un pozo seco en la parte inferior del núcleo del reactor, por ejemplo, si el sistema TIP de un reactor de agua en ebullición se usa como sistema de tubos de instrumentación. En este caso, se proporcionan medios adicionales para retener los objetivos de irradiación y los objetivos simulados en el dedo de instrumentación.
40

Los objetivos de irradiación se activan en el dedo de instrumentación durante un período de tiempo suficiente para la conversión completa del material primario de los objetivos de irradiación en el radionúclido deseado, según lo determine el sistema de monitoreo en línea del núcleo y el sistema de control e instrumentación. El tiempo para lograr la conversión completa del material primario dependerá del tipo y estado del reactor, las condiciones del flujo de neutrones, el tipo de material primario y varios otros parámetros conocidos por los expertos en la técnica, y puede variar de varias horas a días, preferentemente 1 a 10 días. La conversión completa significa una tasa de conversión del material primario que proporciona un contenido de radionúclido adecuado para la aplicación médica o industrial de los objetivos de irradiación.
45

Después de la activación, los objetivos de irradiación y los objetivos simulados se transfieren preferentemente de los dedos de instrumentación al tubo de descarga, con mayor preferencia mediante el uso gas presurizado, preservando el orden lineal de los objetivos simulados y los objetivos de irradiación. El bloqueo magnético bloquea el tubo de descarga para evitar que los objetivos de irradiación y los objetivos simulados salgan del sistema de tubos de instrumentación.
50

Para separar los objetivos de irradiación de los objetivos simulados y extraer selectivamente los objetivos de irradiación del sistema de tubos de instrumentación, los objetivos de irradiación y los objetivos simulados se exponen a un campo magnético, preferentemente activando de forma remota uno o más imanes dispuestos en el tubo de descarga adyacente a los objetivos magnéticos.
55

5 Luego se abre el bloqueo magnético, y los objetivos no magnéticos, preferentemente los objetivos de irradiación no magnéticos, se liberan del tubo de descarga bajo la acción de la gravedad y se pasan a un contenedor de almacenamiento, mientras que los objetivos magnéticos simulados se retienen en el tubo de descarga mediante la acción del campo magnético.

10 En una realización adicional, si uno o más objetivos magnéticos, tal como los objetivos simulados, se colocan por delante de los objetivos no magnéticos, tal como los objetivos de irradiación, cerca de una salida del tubo de descarga, se usa gas presurizado para conducir los objetivos de irradiación no magnéticos de regreso hacia el dedo de instrumentación o una sección de retención en el sistema de tubos de instrumentación, mientras que los objetivos magnéticos simulados se retienen en el tubo de descarga por medio del campo magnético activado. El cierre magnético puede abrirse y los objetivos simulados pueden liberarse del tubo de descarga apagando el campo magnético.

15 El método de la invención también será aplicable viceversa si los objetivos simulados no son magnéticos y los objetivos de irradiación son ferromagnéticos.

20 La invención proporciona así un método rápido y efectivo para activar completamente los objetivos de irradiación en los dedos de instrumentación durante el funcionamiento normal del reactor, y separar los objetivos de irradiación activados de los objetivos simulados inertes por medio de sus diferentes propiedades magnéticas.

Breve descripción de los dibujos

25 Otras características y ventajas de la invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas y de los dibujos acompañantes, en donde los elementos similares se representan con números similares. Las realizaciones preferidas se proporcionan solo a modo de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la invención que es evidente a partir de las reivindicaciones adjuntas.

En las figuras:

- 30 – La Figura 1 muestra una representación esquemática de una configuración del sistema de generación de radionúclidos (MAS) de acuerdo con la invención;
- La Figura 2 muestra un diagrama esquemático que proporciona información sobre la cantidad de dedos de instrumentación, su equipo con detectores de medición de bola y su distribución dentro del núcleo del reactor nuclear;
- 35 – La Figura 3 muestra un dedo de instrumentación lleno parcialmente con objetivos de irradiación y parcialmente con objetivos simulados; y
- La Figura 4 muestra una representación esquemática de un sistema de extracción y un tubo de descarga de la presente invención.

40 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La Figura 1 ilustra la configuración básica de un sistema de generación de radionúclidos dentro de una planta de energía nuclear comercial, en particular una planta de energía con un reactor nuclear EPR™ o Siemens DWR.

45 A diferencia de un reactor de investigación, el propósito de un reactor nuclear comercial es la producción de energía eléctrica. Los reactores nucleares comerciales típicamente tienen una potencia nominal de 100 megavatios eléctricos.

50 La base del sistema de generación de radionúclidos descrito en las realizaciones de ejemplo se deriva de un sistema de medición por bolas comercial, cuyo propósito principal es medir la densidad de flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear mediante el uso de una pluralidad de sondas esféricas, llamadas bolas aerodinámicas, dispuestas en un orden lineal formando de esta manera una columna de bolas aerodinámicas. El sistema de medición por bolas incluye un sistema de control neumático configurado para insertar las bolas aerodinámicas en un dedo de instrumentación que se extiende hacia y pasando el núcleo a través de toda su longitud axial, y para extraer las bolas aerodinámicas del dedo de instrumentación después de la activación.

55 Para una referencia más fácil, en lo sucesivo, el sistema de generación de radionúclidos basado en un sistema de medición por bolas comercial también se denominará MAS (Sistema Médico de Aerobolas).

60 A continuación, se describirán más detalladamente los componentes principales del MAS, que se proporcionan además de los del sistema de medición por bolas comercial, o que se complementan o modifican.

65 La Figura 1 muestra un reactor nuclear comercial que comprende un sistema de tubos de instrumentación 12 que incluye al menos un dedo de instrumentación 14 que pasa a través de un núcleo 10 del reactor nuclear. El sistema de tubos de instrumentación 12 se configura para permitir la inserción y extracción de los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 (véase la Figura 3) en el dedo de instrumentación 14.

De acuerdo con la presente invención, el sistema de medición por bolas comercial del reactor de agua presurizada se adapta para manejar también objetivos de irradiación 16 y objetivos simulados 18 que tienen una forma redonda o esférica y que tienen un diámetro correspondiente a la holgura del dedo de instrumentación del sistema de medición por bolas. Preferentemente, el diámetro de los objetivos 16, 18 está en el intervalo de entre 1 a 3 mm, preferentemente alrededor de 1,7 mm.

El sistema de tubos de instrumentación 12 penetra en el confinamiento del reactor 11 y la cubierta del recipiente a presión del reactor nuclear, con el dedo de instrumentación 14 que se extiende desde la parte superior hasta la parte inferior del núcleo del reactor 10 sobre sustancialmente toda la longitud axial del núcleo del reactor 10. Un extremo del dedo de instrumentación 14 en la parte inferior del núcleo del reactor 10 se cierra y/o está provisto de un tope para que los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 insertados en el dedo de instrumentación formen una columna en donde cada objetivo 16, 18 está en una posición axial predefinida.

Puede proporcionarse un componente de separación (no mostrado) para dividir los tubos del sistema de tubos de instrumentación 12 en un puente de cable por encima de la cubierta del recipiente a presión del reactor, a través del cual los tubos salen del confinamiento del reactor 11, y/o en un tablero de conexión.

Preferentemente, se proporcionan varios sensores de humedad en el sistema de tubos de instrumentación 12 para detectar cualquier entrada de refrigerante primario (o cualquier otro líquido) en el MAS. Se entiende que los dedos de instrumentación 14 usados para el MAS están en contacto directo con el agua de refrigeración primaria que rodea el núcleo del reactor nuclear. Los sensores de humedad pueden basarse en bujías modificadas para medir la resistencia eléctrica.

Preferentemente, se proporcionan otros sensores para monitorear la presencia y el tiempo de ejecución de los objetivos 16, 18 que pasan a través del sistema de tubos de instrumentación. Estos sensores se disponen preferentemente en los tubos que penetran en el núcleo del reactor 10. El principio de medición puede basarse en la detección de una variación del flujo magnético cuando los objetivos de irradiación 16 y/o los objetivos simulados 18 pasan por los sensores para medir el tiempo de transporte y la indicación de integridad. Preferentemente, los sensores se usan para monitorear que todos los objetivos de irradiación 16 hayan dejado el dedo de instrumentación 14 durante el proceso de extracción mientras que los objetivos pasan por los sensores. Además, o como una alternativa, pueden usarse sensores de actividad que detectan la radiación de los objetivos de irradiación 16 y/o los objetivos simulados 18.

El sistema de tubos de instrumentación 12 comprende además un tubo de descarga 34 que se conecta al dedo de instrumentación 14 y que se localiza fuera del núcleo del reactor nuclear 10. Los objetivos de irradiación 16 o los objetivos simulados 18 se extraen del sistema de tubos de instrumentación 12 a través del tubo de descarga 34.

El sistema de tubos de instrumentación 12 se conecta a un sistema de control del objetivo 20 configurado para insertar los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 en el dedo de instrumentación 14 en un orden lineal predeterminado y para conducir los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 fuera del dedo de instrumentación 14.

Preferentemente, el sistema de control del objetivo 20 funciona de manera neumática permitiendo un procesamiento rápido de los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 mediante el uso gas presurizado tal como nitrógeno o aire.

Preferentemente, el sistema de control del objetivo 20 comprende una batería de válvula (no mostrada) que se usa como un sistema neumático adicional para el control separado de los objetivos 16, 18 en el sistema de tubos de irradiación 12. La batería de la válvula puede implementarse como un subsistema adicional además de las baterías de válvulas del sistema de medición por bolas convencional, o se instala un sistema de control del objetivo separado.

El sistema de control del objetivo 20 comprende preferentemente un dispositivo de llenado de objetivo (no mostrado) para insertar los objetivos 16, 18 en el dedo de instrumentación 14. Puede usarse un sistema de compuertas (no mostrado) que incluye varios dispositivos (electro) -mecánicos para llenar los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 en el sistema de tubos de instrumentación 12 para el transporte al núcleo del reactor 10 y también para guiar los objetivos 16, 18 al tubo de descarga 34 y a los recipientes de almacenamiento 36 (Figura 4).

El sistema de control del objetivo 20 coopera con un sistema de extracción de objetivos 22 configurado para recuperar los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 del sistema de tubos de instrumentación 12 y separar los objetivos de irradiación 16 de los objetivos simulados 18. En particular, el sistema de extracción de objetivos 22 incluye medios 24 para exponer los objetivos simulados 18 y/o los objetivos de irradiación 16 a un campo magnético para retener los objetivos simulados 18 o los objetivos de irradiación 16 en el sistema de tubos de instrumentación 12 y liberar el otro uno de los objetivos de irradiación 16 o los objetivos simulados 18 del sistema de tubos de instrumentación 12 (ver Figura 4).

Una unidad de control e instrumentación (ICU) 26 se vincula al sistema de control del objetivo 20 y al sistema de extracción de objetivos 22, así como también a un sistema de monitoreo del núcleo en línea 28 para controlar la activación de los objetivos de irradiación 16, y un sistema de monitoreo de fallas 30. La ICU 26 y/o el sistema de monitoreo en línea del núcleo 28 se configuran para calcular la posición y el tiempo óptimos de irradiación axial para los objetivos de irradiación 16 en función del estado real del reactor nuclear según lo proporciona el sistema de monitoreo en línea del núcleo 28.

La ICU 26 se conecta a través de una interfaz con el programa informático del sistema de monitoreo en línea 28 adaptado. La ICU 26 se conecta además a los componentes mecánicos del MAS, incluidos los sensores. Para una generación eficiente de radionúclidos, se determinan las condiciones óptimas de irradiación y el tiempo para los objetivos de irradiación. Prácticamente todos los datos de entrada relevantes para este cálculo están disponibles en el sistema de monitoreo del núcleo en línea 28 del sistema de medición por bolas convencional, por ejemplo, el sistema del programa informático de monitoreo del núcleo POWERTRAX/S™ comercializado por Areva.

La ICU 26, que se vincula al sistema de monitoreo del núcleo 28, puede calcular el tiempo óptimo de irradiación y la posición de irradiación axial, así como también otros parámetros, como la cantidad de objetivos de irradiación 16 en un dedo de instrumentación 14 que define la longitud real del objetivo respectivo la columna y las posiciones de los objetivos de irradiación individuales 16 y los objetivos simulados 18 dentro de la columna objetivo. En base a los resultados de estos cálculos, la ICU 26 y/o un operador hacen funcionar los componentes mecánicos del MAS en consecuencia. La ICU 26 también se conecta a un sistema de monitoreo de fallas actualizado 30 del sistema de medición por bolas para informar cualquier error en el MAS.

El cálculo en línea del tiempo de irradiación óptimo y la posición de irradiación axial de los objetivos de irradiación no se basa simplemente en el supuesto de un flujo de neutrones constante estimado, sino que tiene en cuenta el estado real del reactor, especialmente al menos uno de los siguientes parámetros: flujo de neutrones, valores de activación de un sistema de medición por bolas existente, combustión, potencia del reactor, carga, posiciones de la barra, régimen de flujo, temperatura de entrada, presión y sincronización de tiempo. No solo pueden considerarse los valores en tiempo real de estos parámetros, sino también su desarrollo en el tiempo.

La Figura 2 representa esquemáticamente un diagrama que proporciona información sobre el equipo del núcleo 10 del reactor con los dedos de instrumentación MAS 14, los subsistemas convencionales de medición por bolas y los detectores de neutrones y su distribución dentro del núcleo 10 del reactor nuclear. De acuerdo con el ejemplo que se muestra en la Figura 2, se toman cuatro posiciones de los sistemas convencionales de medición por bolas y del detector de neutrones para su uso en el MAS.

La Figura 3 muestra una ilustración simplificada de un dedo de instrumentación 14 que se usa para el MAS. Como se describió anteriormente, el dedo de instrumentación 14 se extiende desde la parte superior hasta la parte inferior del núcleo del reactor 10 en sustancialmente toda la longitud axial del núcleo del reactor 10. Los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 se insertan en el dedo de instrumentación en un orden lineal para formar una columna en donde cada objetivo 16, 18 se encuentre en una posición axial predefinida.

Con la ayuda del sistema de monitoreo en línea 28 es posible determinar las secciones 38, 44 del dedo de instrumentación 14 en las que el flujo de neutrones es demasiado bajo para producir radionúclidos, y las secciones 40 donde el flujo de neutrones está por encima de la demanda requerida de irradiación y por lo tanto es adecuado para producir los radionúclidos deseados.

Un sensor de humedad 42 se dispone en el dedo de instrumentación 10. Alternativamente o, además, los sensores de humedad pueden disponerse en componentes del sistema de tubos de instrumentación 12 fuera del recipiente de presión del reactor.

Para eliminar cualquier desecho de objetivos de irradiación 16 costosos, se proporcionan objetivos simulados 18 y se colocan en la sección del extremo inferior 38 del dedo de irradiación 14 que tiene una densidad de flujo de neutrones demasiado baja para la generación de radionúclidos. Los objetivos simulados 18 se fabrican de un material inerte que no se activa sustancialmente en las condiciones del núcleo 10 de un reactor nuclear durante el funcionamiento.

Los objetivos de irradiación 16 comprenden un material primario adecuado para generar radionúclidos que van a usarse para fines médicos y/u otros. Con mayor preferencia, los objetivos de irradiación consisten en el material primario que se convierte en un radionúclido deseado al activarse mediante la exposición al flujo de neutrones presente en el núcleo de un reactor nuclear comercial durante el funcionamiento. Los materiales primarios útiles son Mo98 y Yb176 que se convierten a Mo99 y Lu177, respectivamente. Sin embargo, se entiende que la invención no se limita al uso de un material primario específico.

Como se muestra en la Figura 3, los objetivos de irradiación 16 se colocan encima y se mantienen en su lugar por los objetivos simulados 18 en las secciones 40 del dedo de irradiación 14 donde el flujo de neutrones es suficiente para convertir completamente los objetivos de irradiación en los radionúclidos deseados, según lo determinado por la ICU 26 y/o el sistema de monitoreo del núcleo en línea 28.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, una sección superior 44 del dedo de instrumentación 14 se mantiene vacía.

En una realización adicional (no mostrada), uno o más de los objetivos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 pueden separarse entre sí por uno o más objetivos simulados 18, definiendo de esta manera las subsecciones del objetivo de irradiación. Los objetivos de irradiación en las subsecciones del objetivo de irradiación preferentemente tienen las mismas o diferentes propiedades de material. Con mayor preferencia, los objetivos de irradiación en las subsecciones adyacentes difieren con respecto al material primario usado como precursor para la generación de radionúclidos.

De acuerdo con la invención, los objetivos simulados 18 y los objetivos de irradiación 16 tienen diferentes propiedades magnéticas. Preferentemente, los objetivos simulados o los objetivos de irradiación son atraíbles magnéticamente. Con mayor preferencia, los objetivos simulados 18 se fabrican de un material ferromagnético tal como hierro o aleaciones de hierro, que incluye acero inoxidable ferrítico, o ferrita.

Para su uso en un sistema de medición por bolas convencional, los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 tienen una forma redonda, preferentemente una forma esférica, de modo que los objetivos son móviles y pueden procesarse fácilmente en los tubos de instrumentación del sistema de medición por bolas mediante aire presurizado y/o gravedad.

El sistema de extracción de objetivos 22 se muestra esquemáticamente en la Figura 4. Los medios 24 para exponer los objetivos de irradiación 16 y/o los objetivos simulados 18 a un campo magnético incluyen preferentemente uno o más imanes permanentes o solenoides 46 asociados al sistema de tubos de irradiación 12.

Un tubo de descarga 34 se conecta al dedo de instrumentación 14 a través del sistema de tubos de instrumentación 12 (Figura 1) y se configura para recibir los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 expulsados fuera del dedo de instrumentación después de que se completa la activación. El tubo de descarga 34 se localiza fuera del núcleo 10 del reactor. Uno o más solenoides 46 rodean el tubo de descarga 34. Preferentemente, los solenoides 46 se disponen de manera móvil a lo largo de un eje longitudinal del tubo de descarga 34.

El tubo de descarga 34 está provisto además de un cierre magnético 48 para bloquear el flujo de los objetivos de irradiación 16 y/o los objetivos simulados 18 fuera del tubo de descarga. En la realización mostrada en la Figura 4, el bloqueo magnético 48 comprende un pasador 50 que atraviesa el tubo de descarga 34, de modo que los objetivos 16, 18 se retienen en el tubo de descarga 34 hasta que se activan las bobinas electromagnéticas 46.

Uno o más imanes o solenoides 46 y/o el cierre magnético 48 se controlan de manera remota por la ICU 26, de modo que se logra un procesamiento automático y rápido de los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18.

El tubo de descarga 34 comprende además una entrada de gas 52 unida al sistema de control del objetivo 20 para soplar gas presurizado, tal como aire o nitrógeno, al sistema de tubos de instrumentación 12 y expulsar los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 fuera del dedo de instrumentación 14 hacia el tubo de descarga 34.

Además, el tubo de descarga 35 comprende una salida 54 acoplada a uno o más contenedores de almacenamiento 36, 36' y/o un tanque de almacenamiento intermedio 56 para recibir selectivamente los objetivos de irradiación 16 o los objetivos simulados 18 liberados desde el tubo de descarga 34. Los recipientes de almacenamiento 36, 36' y/o el tanque de almacenamiento intermedio 56 pueden ser móviles para coincidir con la salida 54. Alternativamente, la salida puede incluir una compuerta 58 para dirigir selectivamente los objetivos de irradiación 16 o los objetivos simulados 18 hacia el contenedor apropiado 36, 36' y el tanque 56.

Para hacer funcionar el sistema de generación de radionúclidos o MAS de la presente invención, los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 se insertan en el dedo de instrumentación 14 mediante el uso del sistema de control del objetivo 20, y los objetivos de irradiación 16 se activan mediante exposición al flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear cuando está durante el funcionamiento de generación de energía para formar un radionúclido.

Preferentemente, los objetivos simulados 18 se fabrican de un material ferromagnético, y los objetivos de irradiación 16 son sustancialmente no magnéticos o paramagnéticos.

Los objetivos simulados 18 y los objetivos de irradiación 16 se disponen en el dedo de instrumentación 14 en un orden lineal precalculado de manera que los objetivos simulados 18 mantienen los objetivos de irradiación 16 en una posición axial predeterminada en el núcleo del reactor. La posición axial óptima de los objetivos de irradiación 16 se calcula mediante la ICU 26 y/o el sistema de monitoreo en línea del núcleo 28 y corresponde a una densidad de flujo de neutrones suficiente para convertir completamente los objetivos de irradiación 16 al radionúclido durante un período de tiempo predeterminado. Las posiciones restantes en el dedo de instrumentación 14 son ocupadas por los objetivos simulados 18 que mantienen los objetivos de irradiación 16 en su lugar.

- Después de la activación de los objetivos de irradiación 16 y la conversión al radionúclido deseado, los objetivos simulados 18 y los objetivos de irradiación activados 16 se recuperan del dedo de instrumentación 14, y los objetivos simulados 18 se separan de los objetivos de irradiación activados 16 mediante el uso del sistema de extracción de objetivos 22. Los objetivos simulados 18 y/o los objetivos de irradiación activados 16 se exponen a un campo magnético para retener los objetivos simulados 18 o los objetivos de irradiación activados 16 en el sistema de tubos de instrumentación 12 y liberan el otro de los objetivos de irradiación activados 16 o los objetivos simulados 18 del sistema de tubos de instrumentación 12.
- El funcionamiento del MAS puede monitorearse y controlarse preferentemente en una estación de operador a través de una unidad de proceso. La unidad de proceso se instala en un gabinete de control separado en una sala de gabinete de control (no se muestra). La unidad de proceso está equipada con una pantalla y, entre otras cosas, permite controlar parámetros específicos de las baterías de válvulas del MAS.
- En la estación del operador, puede monitorearse el estado de los objetivos de irradiación 16 durante la irradiación y el tiempo de irradiación restante. Cuando se alcanza el tiempo de irradiación calculado de un conjunto de objetivos 16, 18 en un dedo de instrumentación 14, un mensaje se muestra al operador para que inicie el proceso de extracción con respecto a este dedo de instrumentación 14. El funcionamiento de las diversas válvulas del sistema de control del objetivo 20 está parcialmente automatizado, de modo que las acciones repetitivas se realizan de manera más segura y confiable.
- Después de cada inserción de los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 en el sistema de tubos de instrumentación 12, la presión en el sistema de tubos se verifica y se regula de manera totalmente automatizada. La ICU 26 también recopila otras señales digitales representativas de ciertas condiciones del sistema. Especialmente, las señales de los sensores de humedad permiten un monitoreo de fugas, es decir, para detectar si algún refrigerante primario ha ingresado al sistema de tubos del MAS.
- La energía eléctrica para los componentes del MAS, incluidas las baterías de válvulas y la unidad de proceso del gabinete del MAS, es proporcionada por un gabinete de carga del sistema de medición por bolas. Con este fin, se instala un inversor de potencia adicional con los fusibles adecuados en el gabinete de carga. También es posible usar un suministro adicional de 24 volts incorporado en la sala del gabinete de control.
- Los objetivos de irradiación 16 se colocan preferentemente en la sección central 40 del dedo de instrumentación 14 en el núcleo del reactor 10, y los objetivos simulados 18 se colocan preferentemente en la sección final 38 y/o la sección superior 44 del dedo de instrumentación 14, es decir, en la parte superior y/o inferior del núcleo del reactor 10, donde la densidad del flujo de neutrones es insuficiente para activar completamente los objetivos de irradiación 16 (ver Figura 3).
- La posición exacta de los objetivos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 se calcula previamente por la ICU 26 y/o el sistema de monitoreo en línea del núcleo 28.
- Los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 se insertan preferentemente en el dedo de instrumentación 14 desde la parte superior del núcleo del reactor 10 a través de la cubierta del recipiente a presión. Preferentemente, los objetivos simulados 18 se disponen en la porción inferior del dedo de instrumentación 14, y los objetivos de irradiación 16 se disponen por encima de los objetivos simulados 18. Como se muestra en la Figura 3, el espacio sobre los objetivos de irradiación 16 en la sección superior 44 puede permanecer vacío.
- Una vez que se completa la activación, los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 se transfieren fuera del dedo de instrumentación 14 al tubo de descarga 34 mediante el uso de gas presurizado tal como nitrógeno o aire proporcionado por el sistema de control del objetivo 20 (ver Figura 4). El orden lineal de los objetivos simulados 18 y los objetivos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 se conserva en el tubo de descarga 34, de modo que los objetivos de irradiación 16 están cerca de la salida 54 del tubo de descarga 34. El tubo de descarga 34 se bloquea por el bloqueo magnético 48 que proporciona un tope para los objetivos 16, 18 y para evitar que los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 salgan del sistema de tubos 12.
- Las válvulas del sistema de control 20 se cierran entonces y se libera la presión en el sistema de tubos de instrumentación 12.
- Para separar los objetivos de irradiación 16 de los objetivos simulados 18 y extraer selectivamente los objetivos de irradiación 16 del tubo de descarga 34, los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 se exponen a un campo magnético creado activando los solenoides 46 dispuestos en el tubo de descarga. Con mayor preferencia, los solenoides 46 se mueven a lo largo del eje longitudinal del tubo de descarga 34 y se disponen adyacentes a los objetivos simulados ferromagnéticos 18, de modo que cada objetivo simulado 18 se asocia y se expone al campo magnético de un solenoide 46.
- El cierre magnético 48 se abre luego, y los objetivos de irradiación no magnéticos 16 se liberan del tubo de descarga 34 bajo la acción de la gravedad y se pasan al contenedor de almacenamiento 36 para su posterior procesamiento y

transporte al sitio de aplicación, mientras que los objetivos simulados magnéticos 18 se mantienen en el tubo de descarga 34 por la acción del campo magnético generado por los solenoides 46.

5 Los solenoides 26 dispuestos en el tubo de descarga 34 también pueden usarse para ralentizar los objetivos 16, 18 cuando se expulsan del dedo de instrumentación 14 para evitar que se dañen los objetivos. Alternativamente, es posible detener los objetivos 16, 18 en el tubo de descarga mediante el uso los solenoides 46 solamente, sin activar el bloqueo magnético 48.

10 Después de que los objetivos de irradiación 16 se separan de los objetivos simulados 18 y se recogen en el contenedor de almacenamiento 36, la salida se acopla al tanque de almacenamiento intermedio 56, el campo magnético se apaga y los objetivos simulados 18 se transfieren al tanque de almacenamiento intermedio 56 bajo la acción de la gravedad para su uso posterior después de un corto período de degradación.

15 Alternativamente, algunos o todos los objetivos simulados 18 pueden conducirse de regreso al dedo de instrumentación 14 mediante el uso de gas presurizado desde el sistema de control del objetivo 20, y los nuevos objetivos de irradiación 16 pueden insertarse en el sistema de tubos de instrumentación.

20 De acuerdo con otra realización, los objetivos de irradiación 16 en el dedo de instrumentación 14 pueden separarse por uno o más objetivos simulados 18, definiendo de esta manera las subsecciones del objetivo de irradiación. Los objetivos de irradiación 16 en las subsecciones del objetivo de irradiación pueden tener las mismas o diferentes propiedades del material.

25 También en esta realización, los objetivos de irradiación activados 16 y los objetivos simulados 18 se expulsan fuera del dedo de instrumentación 14 hacia el tubo de descarga 34 conservando el orden lineal de los objetivos simulados 18 y los objetivos de irradiación 16. El tubo de descarga 34 se bloquea por el cierre magnético 48 para evitar que los objetivos de irradiación y los objetivos simulados salgan del sistema de tubos 12.

30 Si uno o más objetivos simulados ferromagnéticos 18 se posicionan ahora por delante de los objetivos de irradiación 16 próximos a la salida 54, los solenoides 46 se disponen adyacentes a estos objetivos simulados 18. El gas presurizado del sistema de control de destino 20 se usa para conducir los objetivos de irradiación no magnéticos 16 de regreso hacia el dedo de instrumentación 14 o una sección de retención en el sistema de tubos de instrumentación 12 mientras que los objetivos simulados magnéticos 18 se retienen en el tubo de descarga 34 por medio del campo magnético activado. Luego, el campo magnético se apaga, el cierre magnético 48 se abre, y los objetivos simulados 18 se liberan del tubo de descarga 34 bajo la acción de la gravedad y se transfieren al tanque de almacenamiento intermedio 56 acoplado a la salida 54.

40 En la siguiente etapa, el cierre magnético 48 se cierra y los objetivos de irradiación 16 y los restantes objetivos simulados 18 se expulsan fuera del dedo de instrumentación 14 o la sección de retención mediante el uso gas presurizado del sistema de control del objetivo 20. Los objetivos de irradiación activados 16 se colocan ahora cerca del cierre magnético 48 y la salida del tubo de descarga 54 y pueden separarse de los objetivos simulados 18 como se describió anteriormente.

45 Si es necesario, las etapas de separación pueden repetirse hasta que todos los objetivos de irradiación se recolecten selectivamente del sistema de tubos en los respectivos contenedores de almacenamiento 36, 36'.

El método de la invención también será aplicable viceversa si los objetivos simulados 18 no son magnéticos y los objetivos de irradiación 16 son ferromagnéticos.

50 El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la invención también puede instalarse en una planta de energía nuclear que no tenga un sistema de medición por bolas convencional. El sistema de medición de la bola como se describió anteriormente solo proporciona una base para facilitar la instalación del sistema de generación de radionúclidos, ya que no es necesario instalar tubos de instrumentación, dedos y similares adicionales solo para el MAS. Los posibles tipos de reactores para una aplicación de este tipo incluyen reactores de agua en ebullición y reactores CANDU (CANada Deuterium Uranium).

55

REIVINDICACIONES

1. Método para producir radionúclidos a partir de objetivos de irradiación en un reactor nuclear que comprende las etapas de:
 - 5 proporcionar al menos un sistema de tubos de instrumentación (12) que incluye un dedo de instrumentación (14) que pasa a través de un núcleo (10) del reactor nuclear;
 - insertar al menos un objetivo de irradiación (16) y al menos un objetivo simulado (18) en el dedo de instrumentación (14) y activar el objetivo de irradiación (16) exponiendo el objetivo de irradiación (16) al flujo de neutrones en el núcleo del reactor nuclear (10) para formar un radionúclido;
 - 10 recuperar el objetivo simulado (18) y el objetivo de irradiación activado (16) del dedo de instrumentación (14) y separar el objetivo simulado (18) del objetivo de irradiación activado (16);
 - en donde el objetivo simulado (18) y el objetivo de irradiación (16) se disponen en el dedo de instrumentación (14) en un orden lineal de manera que el objetivo simulado (18) mantiene el objetivo de irradiación (16) en una posición axial predeterminada en el núcleo del reactor (10), dicha posición axial corresponde a una densidad de flujo de neutrones precalculada suficiente para convertir el objetivo de irradiación (16) en radionúclido,
 - 15 en donde el objetivo simulado (18) y el objetivo de irradiación (16) tienen diferentes propiedades magnéticas, y en donde la etapa de separar el objetivo simulado (18) del objetivo de irradiación activado (16) incluye exponer el objetivo simulado (18) y/o el objetivo de irradiación activado (16) a un campo magnético para retener el objetivo simulado (18) o el objetivo de irradiación activado (16) en el sistema de tubos de instrumentación (12) y liberar el otro objetivo de irradiación activado (16) o el objetivo simulado (18) del sistema de tubos de instrumentación (12).
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dedo de instrumentación (14) tiene una sección central (40) y una sección de extremo (38), y en donde los objetivos de irradiación (16) se posicionan en la sección central (40) y los objetivos simulados (18) se colocan la sección de extremo (38).
- 25 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la sección de extremo (38) del dedo de instrumentación (14) está en una parte inferior del núcleo del reactor (10).
- 30 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el dedo de instrumentación tiene una sección superior (44) localizada encima de los objetivos de irradiación (16), y en donde la sección superior (44) se deja vacía.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde uno o más objetivos de irradiación (16) en el dedo de instrumentación (14) se separan entre sí por uno o más objetivos simulados (18) que definen de esta manera subsecciones del objetivo de irradiación.
- 35 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde los objetivos de irradiación (16) en las subsecciones del objetivo de irradiación se fabrican de un material primario diferente.
- 40 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende una o más de las siguientes características:
 - a) los objetivos simulados (18) son ferromagnéticos, y los objetivos de irradiación (16) son no magnéticos o paramagnéticos;
 - b) los objetivos simulados (18) y los objetivos de irradiación (16) se insertan y extraen del sistema de tubos de instrumentación (12) por medio de gas presurizado;
 - 45 c) el sistema de tubos de instrumentación (12) comprende un tubo de descarga (34), y el campo magnético se genera activando al menos un imán (24) dispuesto en el tubo de descarga (34);
 - d) los objetivos simulados (18) y/o los objetivos de irradiación (16) se retienen en el sistema de tubos de instrumentación (12) por medio de un cierre magnético (48);
 - 50 e) la etapa de activación de los objetivos de irradiación (16) comprende calcular un tiempo de irradiación y una posición de irradiación axial teniendo en cuenta el estado real del reactor, incluido el flujo de neutrones actual, la combustión del combustible, la potencia y/o la carga del reactor;
 - f) el estado real del reactor se determina mediante el uso de información que comprende al menos uno de los siguientes: flujo de neutrones desde detectores fuera del núcleo o en el núcleo, valores de activación de un sistema de medición por bolas existente, combustión, potencia del reactor, carga, posiciones de la barra, régimen de flujo, temperatura de entrada, sincronización de presión y tiempo;
 - 55 g) la etapa de recuperar los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) comprende transferir los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) fuera del dedo de instrumentación (14) a un tubo de descarga (34) mediante el uso de gas presurizado y preservar el orden lineal de los objetivos simulados (18) y los objetivos de irradiación (16);
 - 60 h) la etapa de separar los objetivos de irradiación (16) de los objetivos simulados (18) comprende extraer selectivamente los objetivos de irradiación (16) del sistema de tubos de instrumentación (12) exponiendo los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) a un campo magnético, abrir el bloqueo magnético (38) y liberar uno de los objetivos de irradiación (16) o los objetivos simulados (18) del tubo de descarga (34) mientras mantiene el otro de los objetivos de irradiación (16) o los objetivos simulados (18) en el tubo de descarga (34) por la acción del campo magnético; o
 - 65

- 5 i) la etapa de separar los objetivos de irradiación (16) de los objetivos simulados (18) comprende conducir uno de los objetivos simulados (18) o los objetivos de irradiación (16) de regreso hacia el dedo de instrumentación (14) o una sección de retención en el sistema de tubos de irradiación (12) mientras retiene el otro de los objetivos simulados (18) o los objetivos de irradiación (16) en el tubo de descarga por medio del campo magnético.
8. Un sistema de generación de radionúclidos que comprende:
 un sistema de tubos de instrumentación (12) de un reactor nuclear que incluye al menos un dedo de instrumentación (14) que pasa a través de un núcleo (10) del reactor nuclear en donde el sistema de tubos de instrumentación (12) se configura para permitir la inserción y extracción de objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) en el dedo de instrumentación (14), y en donde los objetivos simulados (18) y los objetivos de irradiación (16) tienen diferentes propiedades magnéticas;
 un sistema de control del objetivo (20) configurado para insertar los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) en el dedo de instrumentación (14) en un orden lineal predeterminado y para extraer los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) del dedo de instrumentación (14);
 un sistema de monitoreo del núcleo (28) y una unidad de control e instrumentación (26) conectadas entre sí y configuradas para calcular la posición y el tiempo óptimos de irradiación axial para los objetivos de irradiación (16) en base al estado real del reactor nuclear como lo proporciona el sistema de monitoreo del núcleo (28);
 un sistema de extracción de objetivos (22) configurado para recuperar los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) del sistema de tubos de instrumentación (12) y separar los objetivos de irradiación (16) de los objetivos simulados (18), el sistema de extracción de objetivos (22) que incluye los medios (24) para exponer los objetivos simulados (18) y/o los objetivos de irradiación (16) a un campo magnético para retener los objetivos simulados (18) o los objetivos de irradiación (16) en el sistema de tubos de instrumentación (12) y liberar el otro de los objetivos de irradiación (16) o los objetivos simulados (18) desde sistema de tubos de instrumentación (12).
9. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende una o más de las siguientes características:
 a) el sistema de tubos de instrumentación (12) se deriva de un sistema de medición por bolas de un reactor de agua presurizada;
 b) los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) tienen una forma redonda;
 c) el sistema de control del objetivo (20) se hace funcionar neumáticamente; o
 d) el sistema de control del objetivo (20) comprende una batería de válvula para el control separado del transporte de los objetivos de irradiación (16) y los objetivos simulados (18) en el sistema de tubos de instrumentación (12).
10. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con las reivindicaciones 8 o 9, en donde los medios (24) para exponer los objetivos simulados (18) y/o los objetivos de irradiación (16) a un campo magnético comprenden uno o más imanes dispuestos en el sistema de tubos de instrumentación (12).
11. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 10, en donde uno o más imanes se seleccionan de un imán permanente y un solenoide.
12. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde el sistema de tubos de instrumentación (12) incluye un tubo de descarga (34) conectado al dedo de instrumentación (14) configurado para recibir los objetivos de irradiación 16 y los objetivos simulados 18 extraídos del dedo de instrumentación (14).
13. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 12, en donde los medios (24) para exponer los objetivos simulados (18) y/o los objetivos de irradiación (16) a un campo magnético se disponen en el tubo de descarga (34).
14. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el tubo de descarga (34) está provisto de un cierre magnético (48) para bloquear los objetivos de irradiación (16) y/o los objetivos simulados (18) que salen del tubo de descarga (34).
15. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 14, en donde el cierre magnético (48) comprende un medio de retención (50) para retener los objetivos (16, 18) en el tubo de descarga (34).
16. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, en donde los medios de campo magnético (24) y/o el cierre magnético (48) se controlan de manera remota mediante la unidad de control e instrumentación (26).
17. El sistema de generación de radionúclidos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 16, adaptado para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

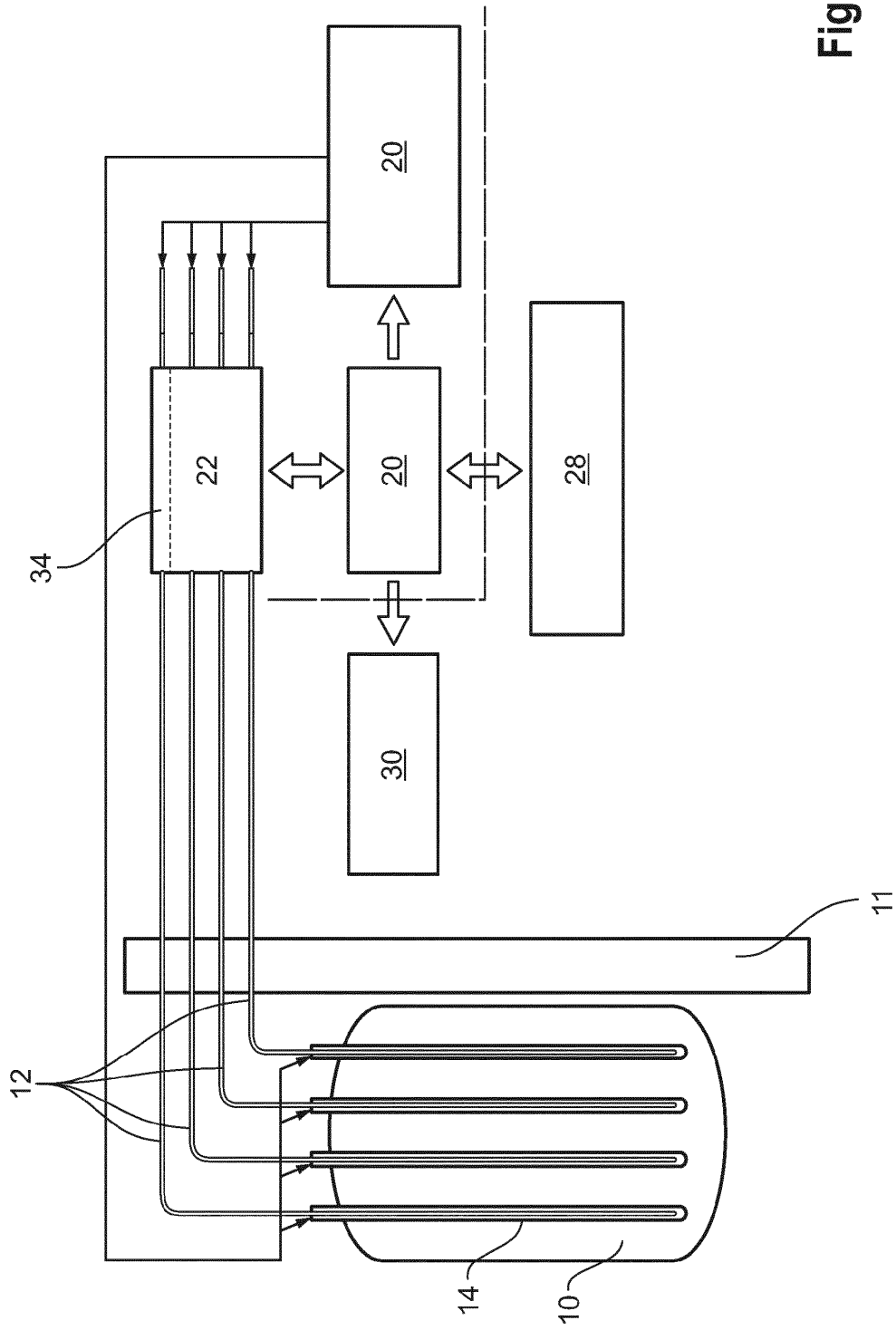


Fig. 1

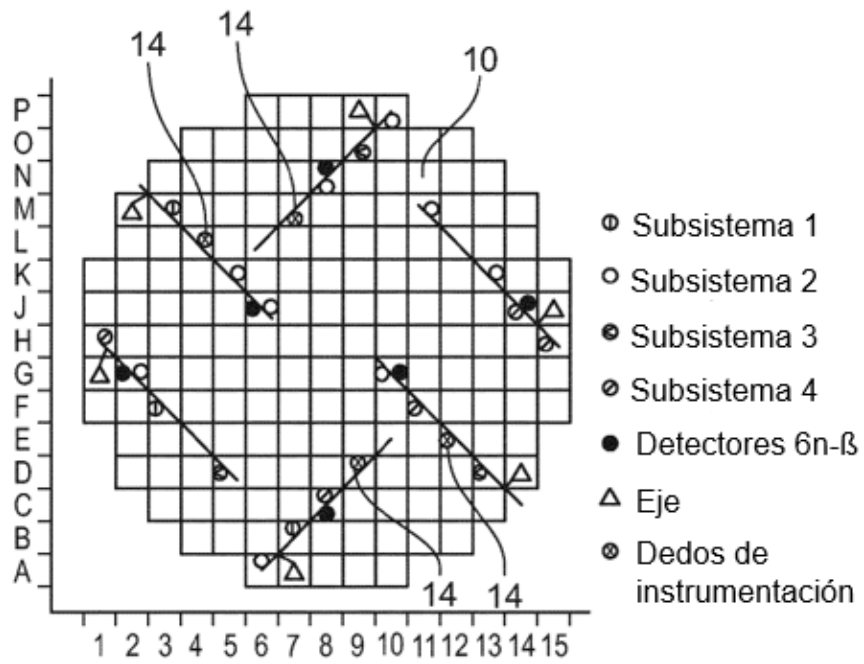


Fig. 2

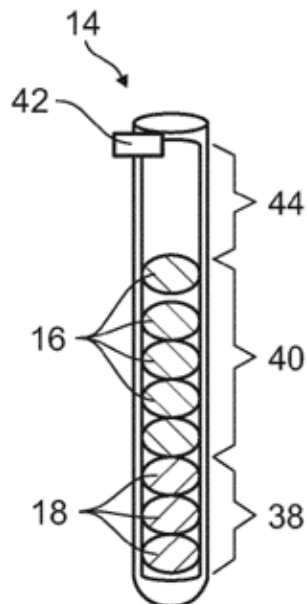


Fig. 3

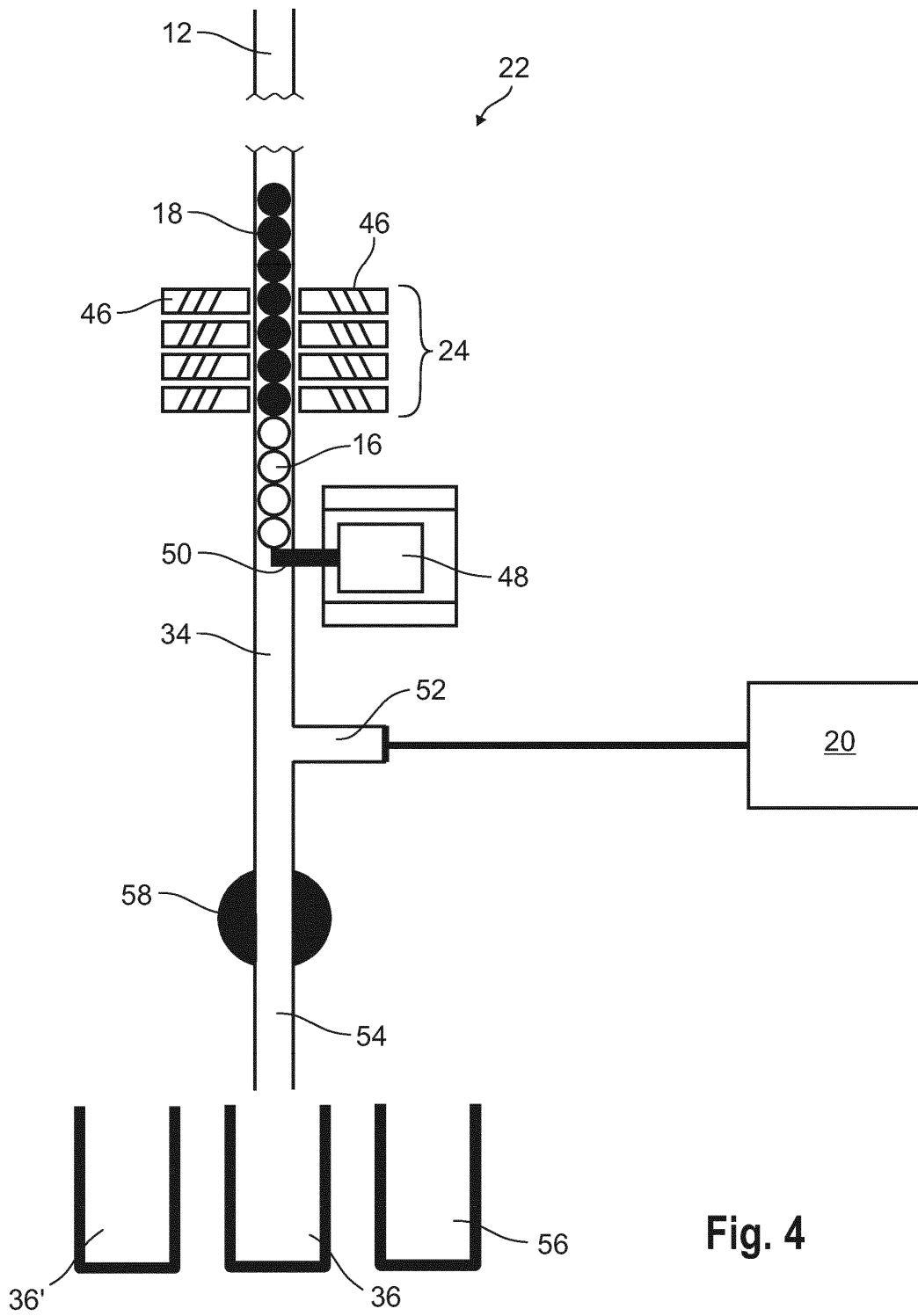


Fig. 4