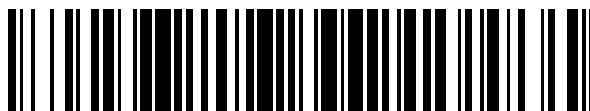


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 943**

51 Int. Cl.:

G21C 17/07

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.01.2015 PCT/US2015/011752**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2015 WO15109182**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2015 E 15702898 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 3095118**

54 Título: **Sistema y método para mejorar la sensibilidad de un sistema de sipping**

30 Prioridad:

16.01.2014 US 201461928301 P

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

29.11.2018

73 Titular/es:

**DOMINION ENGINEERING, INC. (100.0%)
12100 Sunrise Valley Drive, Suite 220
Reston VA 20191, US**

72 Inventor/es:

**ARGUELLES, DAVID y
VARRIN, ROBERT D.**

74 Agente/Representante:

CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes

ES 2 691 943 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para mejorar la sensibilidad de un sistema de sipping

5 REFERENCIA CRUZADA

Esta solicitud reivindica el beneficio de la prioridad de la Solicitud Provisional de Estados Unidos N.º 61/928.301, presentada el 16 de enero de 2014, titulada "System and Method For Improving Sensitivity Of A Sipping System".

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

La presente invención se refiere generalmente a un sistema de sipping de silo de vacío que está diseñado para detectar fallos en elementos combustibles nucleares y un método correspondiente.

2. Descripción de la técnica relacionada

El sipping de silos de vacío detecta fallos de combustible en elementos combustibles nucleares aislando un elemento combustible en una cámara/silo y reduciendo la presión ambiental en la cámara para extraer el gas de fisión a través de los fallos de revestimiento en los elementos de combustible del elemento. Las burbujas de gas se recogen en la parte superior de la cámara y se pasan a través de un detector de radiación (por ejemplo, un detector de centelleo) para detectar la presencia de gas de fisión. Los elementos que emiten una actividad de gas de fisión superior a la esperada se identifican como fallidos y con fugas de esta manera.

Los sistemas conocidos de sipping de silo de vacío se describen, por ejemplo, en el documento JPS63266395 y en Westinghouse Product Fly Sheet, "Vacuum Canister Sipping Services", NS-FS-0052 (75370) Abril de 2009. La Patente de Estados Unidos N.º 5.457.720 y 5.546.435 divulgan otros métodos conocidos para detectar fallas en elementos combustibles.

30 RESUMEN DE REALIZACIONES DE LA INVENCION

Una limitación de los sistemas existentes de sipping de vacío es que la aplicación de vacío durante el ciclo de sipping provoca que los gases disueltos, radioactivos o de otro tipo, salgan de la solución del agua del depósito y contribuyan a la radioactividad de la muestra de gas que se detecta. Por lo tanto, puede ser difícil detectar ligeras señales de fugas de combustible en condiciones de agua en piscina de contenido de gas de fisión disuelto en el ambiente alto o fluctuante.

La presente invención consiste en un método como se define en la materia-objeto de la reivindicación 1 y en un sistema como se define por la materia-objeto de la reivindicación 9.

Los aspectos de diversas realizaciones de la presente invención, así como los métodos de operación y funciones de los elementos relacionados de la estructura y la combinación de piezas y economías de fabricación, se harán más evidentes tras la consideración de la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de esta memoria descriptiva, en donde los números de referencia similares designan partes correspondientes en las diversas figuras. En una realización de la invención, los componentes estructurales ilustrados en el presente documento están dibujados a escala. Sin embargo, debe entenderse expresamente que los dibujos tienen el propósito de ilustrar y describir solamente y no pretenden ser una definición de los límites de la invención. Además, debe apreciarse que las características estructurales mostradas o descritas en cualquiera de las realizaciones en el presente documento también se pueden usar en otras realizaciones. Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "una" y "el/la" incluye referentes plurales a menos que el contexto indique claramente otra cosa.

Todos los intervalos de valores cerrados (por ejemplo, entre A y B) y abiertos (mayores de C) divulgados en el presente documento incluyen explícitamente todos los intervalos que están dentro o se encuentran dentro de dichos intervalos. Por ejemplo, un intervalo divulgado de 1-10 se entiende que divulga también, entre otros intervalos, 2-10, 1-9, 3-9, etc.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una mejor comprensión de las realizaciones de la presente invención, así como otros objetos y características adicionales de la misma, se hace referencia a la siguiente descripción que se va a usar junto con los dibujos adjuntos, donde:

- 5 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de sipping de silo de vacío de acuerdo con una realización en la que se eliminan los gases de fisión del suministro de agua del silo; y
la Figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente recortada de un módulo de membrana de transferencia de gas del sistema de la Figura 1.
10 la Figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de sipping de silo de vacío de acuerdo con una disposición alternativa en la que los gases de fisión se eliminan del silo de sipping por medio de agua de aspersión de gas dentro del silo; y
la Figura 4 es un diagrama de bloques de un sistema de sipping de silo de vacío de acuerdo con una disposición alternativa en la que el gas portador recircula a través del silo para equilibrarse con la
15 composición de gas disuelto del agua del silo antes de la aplicación de vacío.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- El equipo de sipping de silo puede detectar un elemento combustible nuclear con fugas solo cuando el nivel de
20 actividad liberado por el elemento es notablemente más alto que la variación en la radiación de fondo. Existen múltiples fuentes de ruido de fondo que pueden degradar el umbral mínimo de detección del equipo (por ejemplo, la presencia de gas de fisión disuelto en la piscina de combustible y el silo de sipping, radiación gamma externa para el detector de radiación, contaminación del detector de radiación, etc.).
25 Por ejemplo, durante los procedimientos de sipping de silos de vacío, tanto el elemento combustible que se está probando como el propio silo de vacío se disponen en una piscina de combustible en la planta nuclear. El agua en la piscina de combustible contiene típicamente algunos gases de fisión (por ejemplo, de los elementos combustible fallidos/con fugas en la piscina). Cuando el agua de la piscina de combustible que contiene el gas de fisión está presente en el silo de vacío durante el proceso de sipping, el gas de fisión ambiental reduce la sensibilidad del
30 sistema para detectar el gas de fisión que se fuga del elemento combustible ensayado, en oposición al gas de fisión que está presente en el entorno de la piscina de combustible ambiental. Por lo tanto, el gas de fisión ambiental en la piscina de combustible puede afectar la precisión de la detección de fallos o la capacidad de detectar pequeños fallos en el elemento combustible que se está probando.
35 Para algunos tipos de reactores (por ejemplo, reactores PWR), el agua de la piscina de combustible está típicamente borada, mientras que en otros tipos de reactores (por ejemplo, reactores BWR), el agua de la piscina de combustible no está borada. Diversas realizaciones de la presente invención son aplicables a reactores que usan agua borada y/o agua no borada en la piscina de combustible.
40 Como se usa en el presente documento, el término "piscina de combustible" y sus derivados incluyen elementos similares de una planta nuclear donde se pueden instalar equipos y que están inundados de agua para permitir el movimiento del combustible. Por ejemplo, la cavidad de reabastecimiento de combustible, el canal de transferencia, el pozo de carga de barril, etc., se consideran una "piscina de combustible" como se usa ese término en el presente documento. Por consiguiente, el término "agua de piscina de combustible" incluye el agua dispuesta en dicha
45 "piscina de combustible".

Para aumentar la sensibilidad de detección de fallos, las fuentes de ruido de medición pueden reducirse. De acuerdo con una o más realizaciones, el gas de fisión disuelto se elimina por filtración del agua de la piscina que se usa en el
50 silo para reducir esta fuente significativa de ruido de medición.

- La reducción del gas de fisión disuelto en el silo, que es especialmente alto después de procesar un elemento con fugas, se puede lograr bombeando el agua fuera del silo para que sea reemplazada por el agua de la piscina. Este enjuague reduce la cantidad de gas de fisión disuelto en la cámara de nuevo al fondo normal de los gases de fisión disueltos en el inventario de la piscina a granel. Sin embargo, es posible que el nivel de gases de fisión disueltos en
55 la piscina a granel sea muy alto (por ejemplo, si hay muchos elementos con fugas durante una interrupción), lo que da como resultado niveles de fondo elevados incluso después del enjuague con agua de la piscina.

La Figura 1 ilustra un sistema de sipping de silo de vacío 10 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 10 incluye un dispositivo de tratamiento de agua 20 conectado a un dispositivo de sipping 30.

Como se muestra en la Figura 1, el dispositivo de tratamiento de agua 20 incluye una bomba de recirculación 50, uno o más módulos de membrana de transferencia de gas 70 (véase también la Figura 2), una bomba de vacío 80, un sistema de control 90, un paso de entrada de agua 100 que conduce a una entrada de la bomba 50, un paso de agua intermedio 110 que conecta una salida de la bomba 50 a una entrada de corriente acuosa 70a del módulo 70, un paso de salida de agua 120 que conecta una salida de corriente acuosa 70b del módulo 70 a una entrada del dispositivo de sipping 30, un paso o puerto de entrada de gas de arrastre 70c que se conecta a una entrada de gas de arrastre del módulo 70, un paso de gas intermedio 130 que conecta una salida de gas de arrastre 70d del módulo 70 a una entrada de la bomba de vacío 80, y un paso de salida de gas de arrastre 140 conectado a una salida de la bomba 80. El aire descargado (incluidos los gases de fisión) de la bomba de vacío 80 se dirige a un retorno de ventilación de la planta u otro lugar. Por ejemplo, la planta puede desear dirigir el gas de arrastre cargado de gas de fisión desde el paso 140 hacia un sistema de tratamiento de gas residual.

De acuerdo con diversas realizaciones, las posiciones relativas de los componentes del dispositivo de tratamiento de agua 20 pueden cambiarse sin desviarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, la bomba 50 puede estar dispuesta en cualquier lugar a lo largo de los pasos 100, 110, 120 y/o disponerse aguas abajo del módulo 70. La bomba 50 podría estar dispuesta aguas abajo del silo 500, por ejemplo, aguas abajo de la válvula 520, y agua de succión a través del sistema 10. De manera similar, la bomba 80 podría, como alternativa, estar dispuesta aguas arriba del módulo 70 y el gas de arrastre de la bomba con respecto a la entrada 70c.

Como se muestra en la Figura 1, muchos o todos los componentes del dispositivo de tratamiento de agua 20 pueden montarse en un bastidor común 85, como un patín o paleta que proporciona un movimiento fácil del dispositivo 20. Para usar el dispositivo 20, el dispositivo y el bastidor 85 pueden colocarse en el piso 95 de la central nuclear al lado de la piscina de combustible 160 para facilitar la fácil conexión del paso 100 con la piscina de combustible 160 y la conexión del paso 120 con el dispositivo de sipping 30. De acuerdo con diversas realizaciones alternativas, el dispositivo 20 se puede disponer, como alternativa, en múltiples bastidores sin desviarse del alcance de la presente invención. Partes adicionales del sistema 10, tales como componentes del dispositivo de sipping 30 (por ejemplo, la bomba 570, el detector 580, el sistema de control 590) también pueden montarse en el bastidor 85 para proporcionar un sistema compacto de fácil acceso 10.

Como se muestra en la Figura 1, durante el funcionamiento del dispositivo de tratamiento de agua 20, la bomba 50 mueve el agua del ambiente desde la piscina de combustible 160 secuencialmente a través del paso 100, la bomba 50, el paso 110, el módulo 70 y el paso 120 al dispositivo de sipping 30. Al mismo tiempo, la bomba 80 succiona el gas de arrastre (por ejemplo, aire ambiente/local alrededor de la piscina de combustible o aire de otra fuente) a través de la entrada 70c, el módulo 70, el paso 130, la bomba 80 y el paso de salida 140.

Volviendo al funcionamiento del módulo 70, como se muestra en la Figura 2, el módulo 70 comprende una carcasa cerrada 200 a través de la cual el agua fluye desde la entrada acuosa 70a a la salida acuosa 70b. Un tubo de distribución 210 distribuye el flujo de agua hacia el exterior desde la entrada 70a. Después, el agua pasa alrededor de un deflector central 220, y regresa a un tubo de recogida 230 que conduce a la salida 70b. El gas de arrastre fluye desde la entrada de gas de arrastre 70c a través de una pluralidad de membranas de fibra hueca 250 y sale a través de la salida 70d.

A medida que el agua de la piscina fluye alrededor de las membranas 250 en el interior del módulo 70 y el gas de arrastre pasa a través de las membranas 250, las membranas 250 permiten el intercambio de gases entre el agua y el gas de arrastre, dando como resultado una descarga de composición de gas disuelto en el agua que coincide estrechamente con la composición del gas de arrastre entrante (es decir, casi libre de gas de fisión). Como resultado, el gas de fisión en el agua entrante de la piscina se elimina por filtración del agua y se introduce en la corriente de gas de arrastre. En consecuencia, el módulo 70 elimina el gas de fisión del agua entrante de la piscina desde el paso 110 y descarga agua limpia/desgasificada con menos gas de fisión al paso 120. El gas de fisión eliminado se combina con el gas de arrastre en el módulo 70 y se expulsa a través de la salida 70d.

De acuerdo con diversas realizaciones, el módulo 70 y las membranas 250 eliminan los gases de fisión, pero no eliminan el boro del agua borada de la piscina de combustible (si el agua de la piscina de combustible está borada de acuerdo con diversas realizaciones). Por consiguiente, el agua limpia/desgasificada que se usa para enjuagar el silo 500 permanece borada (en realizaciones en las que el agua de la piscina de combustible ya estaba borada), y no afecta la concentración de boro en la piscina de combustible. En realizaciones en las que el agua de la piscina de combustible está borada, si se utilizara agua limpia y fresca, en lugar de agua borada de la piscina, para enjuagar un silo 500, el agua se borará antes de su uso, o se usará en un estado no borado. El agua no borada preferiblemente

no se usa en piscinas de combustible para ciertos tipos de reactores debido a problemas significativos de control de criticidad.

En la realización ilustrada, los tubos 210, 230, el deflector 220 y las membranas 250 son parte de un cartucho reemplazable 270. La carcasa 200 puede abrirse para reemplazar un cartucho usado o contaminado 270 por un cartucho nuevo.

En la realización ilustrada, las membranas 250 comprenden membranas de fibra hueca. Sin embargo, de acuerdo con realizaciones alternativas, las membranas 250 pueden adoptar cualquier otra forma adecuada (por ejemplo, membranas laminares que separan las regiones de gas de arrastre de las regiones de agua dentro del módulo 70).

De acuerdo con diversas realizaciones, las membranas 250 pueden comprender cualquier membrana de transferencia de gas adecuada que permita la transferencia de gases de fisión a través de la misma sin permitir la transferencia de agua. Por ejemplo, los módulos de transferencia de gas de membrana Liqui-Cel® pueden utilizarse como las membranas 250. Véase "Membrane Contactors: An Introduction to the Technology", Ultrapure Water® Mayo/Junio de 1996--UP130427. "BATMAN - Best Available Technique Minimising All Nuclides", IVL Swedish Environmental Research Institute, 18 de abril de 2006, divulga otras membranas que pueden usarse como la membrana 250.

En la realización ilustrada en las Figuras 1-2, se muestra un solo módulo 70. Sin embargo, se pueden usar múltiples módulos 70 sin desviarse del alcance de la presente invención. Pueden disponerse múltiples módulos 70 en paralelo y/o en serie entre los pasos 110, 120. Los módulos paralelos 70 pueden usarse para aumentar el caudal de agua a través del dispositivo de tratamiento de agua 20. Los módulos en serie 70 pueden usarse para aumentar la cantidad de gas de fisión eliminado del agua por el dispositivo de tratamiento de agua 20.

El módulo o los módulos 70 pueden dimensionarse para proporcionar colectivamente un procesamiento de un solo paso a un caudal de líquido de aproximadamente 25-500, 25-300 y/o 50-100 galones/minuto, que puede ser suficiente para dar la vuelta a todo el volumen del silo de sipping 500 en aproximadamente 1-2 minutos y/o menos de 5, 4, 3, 2 y/o 1 minuto. Se pueden realizar 1-2 minutos adicionales de enjuague al comienzo de cada ciclo sin un impacto apreciable en el rendimiento general del sistema de sipping 10.

De acuerdo con diversas realizaciones, el gas de arrastre que se usa en el módulo 70 se mantiene a una presión de vacío de ligera a moderada. Este vacío hace que el aire disuelto y otros gases en el agua (además del gas de fisión) se difundan en el gas de arrastre. La eliminación del aire disuelto del agua que se usa en el silo 500 durante el procedimiento de sipping mejora la sensibilidad del proceso de sipping para detectar pequeñas fugas en el elemento combustible 600. En particular, al reducir la fracción de aire disuelto en el agua del silo, se libera menos aire del agua del silo a la burbuja de aire en la parte superior del silo 500 durante el proceso de sipping. Como resultado, la burbuja de aire que se muestrea comprenderá una porción relativamente mayor de gas de fisión de fuga ya que la burbuja de aire no se está diluyendo tanto por la liberación de aire del agua. La mayor concentración de cualquier gas de fisión de fuga en la burbuja de aire que se muestrea por el detector 580 facilita la detección más precisa/sensible de fugas.

El sistema de control 90 incluye controles manuales y/o automáticos para controlar las bombas 50, 80, y puede incluir sensores adicionales (por ejemplo, sensores de flujo/presión) que se usan para determinar y ajustar los dispositivos (por ejemplo, bombas 50, 80) que se controlan por el sistema de control 90.

Como se muestra en la Figura 1, el dispositivo de sipping 30 incluye un silo 500. El bote 500 tiene una abertura de elemento combustible 500a, una entrada de agua 500b conectada al paso 120 por una válvula 510, y una salida de agua 500c conectada a la piscina de combustible 160 a través de una válvula 520. El silo 500 también incluye una tapa 540 que puede abrirse y cerrarse selectivamente (por ejemplo, manualmente o automáticamente) para destapar y cubrir la abertura 500a. El dispositivo 30 también incluye un paso 560 que conduce desde un extremo interior superior del silo 500 a una bomba de vacío 570 y un detector 580 dispuestos fuera de la piscina 160. De acuerdo con diversas realizaciones, la bomba 570 y el detector de radiación 580 pueden montarse en el bastidor 85. De acuerdo con diversas realizaciones, el dispositivo de sipping 30 funciona sustancialmente de la misma manera que los dispositivos de sipping convencionales, excepto que el agua del dispositivo de tratamiento de agua 20 se utiliza para enjuagar y llenar el silo 500.

Un sistema de control del dispositivo de sipping 590 se conecta a diversos componentes del dispositivo de sipping 30, tal como las válvulas 510, 520, la bomba 570 y el detector 580, para encender o apagar estos componentes en

los momentos apropiados en el ciclo de sipping. El sistema de control 590 puede conectarse o formarse integralmente con el sistema de control 90 del dispositivo de tratamiento de agua 20 para asegurar que el dispositivo de tratamiento de agua 20 funcione en los puntos deseados en el ciclo de sipping.

5 De acuerdo con diversas realizaciones, el ciclo de sipping se realiza a través de las siguientes etapas secuenciales:

- 1) Con el silo 500 dispuesto en la piscina 165 y la tapa 540 abierta, se carga un elemento combustible 600 en el silo 500 a través de la abertura 500a.
- 2) La tapa 540 del silo 500 se cierra entonces, aislando el agua en el silo 500 de la piscina 160.
- 10 3) El agua de la piscina se desgasifica/filtra haciéndola pasar por el dispositivo de tratamiento de agua 20 y después proporcionando el agua limpia/desgasificada al silo 500.
- 4) Con las válvulas 510, 520 abiertas, el silo 500 se enjuaga con agua limpia/desgasificada proporcionada por el dispositivo de tratamiento de agua 20. El agua se bombea hacia el silo 500 a través de la entrada 500b, hacia abajo y hacia fuera a través de la salida 520, eliminando por enjuague de este modo el agua de
- 15 la piscina ambiental (y potencialmente cargada de gas de fisión) del silo 500. El volumen de agua que se desgasifica y se bombea al silo 500 a través de la entrada 500b puede ser al menos uno o al menos dos veces el volumen total del interior del silo 500 para proporcionar una eliminación por enjuague mejorado del agua de la piscina ambiental, potencialmente cargada de gas de fisión, del silo 500 antes de que comience el proceso de sipping. La presión del silo 500 se puede mantener en o cerca de la presión ambiente normal de la piscina durante el enjuague para evitar extraer el gas de fisión de un elemento combustible con fugas
- 20 600 durante el enjuague.
- 5) El aire se bombea hacia la parte superior del silo para formar una burbuja (por ejemplo, un espacio de aire de varias pulgadas de alto en la parte superior del interior del silo 500).
- 6) Las válvulas de agua 510, 520 están cerradas para sellar el silo 500.
- 25 7) Parte de la burbuja de aire se bombea fuera del espacio de aire en la parte superior del silo 500 a través de la bomba 570 y el paso 560, lo que reduce la presión interna del silo 500.
- 8) La reducción de la presión en el interior del silo 500 extrae el gas de fisión de cualquier fuga de revestimiento en el elemento combustible 600 y al agua del silo 500.
- 9) Los gases de fisión migran a la burbuja de aire en la parte superior del silo 500, se extraen del silo 500
- 30 por la bomba de vacío 570 y se miden por el detector de radiación 580.
- 10) Al final del ciclo, la tapa del silo 540 se abre y el elemento combustible 600 se elimina del silo 500.

De acuerdo con diversas realizaciones, varias de estas etapas pueden omitirse o reordenarse sin desviarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, las etapas 5 y 6 se pueden cambiar de orden. Las etapas 3 y 4

35 pueden tener lugar simultáneamente (o puede usarse un tanque intermedio en la etapa 120). Las etapas 7-9 pueden tener lugar simultáneamente.

De acuerdo con diversas formas de realización, el proceso de desgasificación realizado por el dispositivo de tratamiento de agua 20 y el enjuague del silo 500 con agua limpia/desgasificada reduce el nivel de fondo de los

40 gases de fisión y proporciona un nivel de fondo de gas de fisión más bajo y más estable que si el gas de enjuague de la piscina de combustible 160 no se desgasificara. Esto da como resultado una mayor relación señal-ruido en el detector 580, lo que puede dar como resultado una mejor precisión en la detección de fallos y/o la capacidad de detectar fallos más pequeños en el elemento combustible 600 que se está probando.

45 El sistema 10 y su uso pueden modificarse de una o más de las siguientes maneras: Por ejemplo, el módulo 70 y las membranas de transferencia de gas 250 pueden estar sustituidos por un componente de transferencia de gas alternativo, tal como un desgasificador por pulverización o desgasificador de columna. Por ejemplo, "Membrane Contactors: An Introduction to the Technology", Ultrapure Water® Mayo/Junio 1996--UP130427, divulga un método para extraer gases de fisión de las aguas residuales, que se puede usar en lugar del módulo 70.

50 Todos o algunos de los componentes del dispositivo de tratamiento de agua 20 pueden ser sumergibles en la piscina 160. Por ejemplo, el módulo 70 y la bomba 50 pueden montarse en el silo 500 y sumergirse en la piscina 160. Esto puede facilitar el acortamiento o eliminación de los pasos 100, 120. Los pasos de gas de arrastre 70c, 70d pueden alargarse.

55 Como se muestra en la Figura 1, un depósito o tanque intermedio 620 puede disponerse en el paso 120 para el almacenamiento de agua limpia/desgasificada para soportar un mayor caudal de enjuague o tratamiento de múltiples pasadas del agua de la piscina. Por ejemplo, un dispositivo de tratamiento de agua de menor rendimiento 20 puede llenar continuamente el depósito 620, y el agua limpia/desgasificada en el depósito 620 se puede usar de manera

intermitente para enjuagar el silo 500 abriendo la válvula 510. El enjuague resultante puede ser a un mayor caudal volumétrico que sería posible si el caudal de enjuague se limitara al caudal posible de la bomba 50 y el módulo 70.

Los diversos pasos de agua 100, 110, 120 y pasos de gas 130, 140 pueden comprender cualquier tipo de pasos adecuados (por ejemplo, mangueras rígidas o flexibles, tuberías, etc.).

El dispositivo de tratamiento de agua 20 se puede usar sin el dispositivo de sipping 30, de manera que el dispositivo 20 desgasifica continuamente el agua de la piscina 160 aspirando agua cargada de gas de la piscina a través del paso 100, desgasificando el agua y devolviendo el agua a la piscina 160 a través del extremo de salida abierto del paso 120. Dicha desgasificación continua puede mejorar la sensibilidad de un dispositivo de sipping de silo autónomo 30 (u otro dispositivo de detección de fugas del elemento combustible (por ejemplo, un dispositivo de detección de fugas de telescopio) reduciendo la concentración de gas de fisión ambiental en el agua de la piscina 160.

Como se usa en el presente documento, los términos "agua limpia", "agua desgasificada", "agua filtrada" y similares se refieren al agua que se ha filtrado para reducir la concentración de gases (por ejemplo, gases de fisión) en la misma. Tal agua aún se considera limpia/desgasificada/filtrada incluso si no está completamente libre de gases disueltos, tales como los gases de fisión. De acuerdo con diversas disposiciones, el dispositivo de tratamiento de agua 20 elimina al menos el 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y/o el 99% de los gases de fisión originalmente presentes en el agua, de tal forma que el agua desgasificada tiene al menos el 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y/o el 99% menos gases de fisión que antes de la filtración/desgasificación. Como se ha analizado anteriormente, se pueden usar diversas técnicas para aumentar el grado de filtrado/desgasificación (por ejemplo, el uso de módulos más grandes o secuenciales 70 y/o equipos adicionales de desgasificación).

La Figura 3 ilustra un sistema de sipping de silo de vacío 1010 de acuerdo con una disposición alternativa. El sistema 1010 es sustancialmente similar al sistema 10, excepto que el sistema 1010 usa un dispositivo de tratamiento de agua alternativo 1020 que desgasifica el agua que ya está en el silo, en lugar de desgasificar el agua fuera del silo.

El sistema 1010 incluye un dispositivo de sipping 1030 que es sustancialmente similar o idéntico al dispositivo de sipping analizado anteriormente 30. Al igual que con el dispositivo 30, el dispositivo de sipping 1030 incluye un silo 1500 y un paso 1560 que conduce desde un extremo interior superior del silo 1500 a una bomba de vacío 1570 y el detector 1580 dispuestos fuera de la piscina. El dispositivo de sipping 1030 también incluye un sistema de control 1590. Estas características del dispositivo de sipping 1030 son sustancialmente similares o idénticas a las características analizadas anteriormente del dispositivo de sipping 30. Por consiguiente, se omite una descripción redundante de características similares o idénticas.

El dispositivo de tratamiento de agua 1020 comprende un sistema de aspersión de aire 1020 conectado al silo 1500. El sistema de aspersión de aire 1020 comprende un suministro de aire de aspersión 1700 (por ejemplo, un tanque de aire de aspersión comprimido; un compresor configurado para comprimir el aire ambiente para proporcionar aire de aspersión a presión, etc.). En la disposición ilustrada, el gas de aspersión comprende aire. Sin embargo, el gas de aspersión puede comprender cualquier otro tipo de gas adecuado en el que puedan difundirse los gases de fisión. El sistema 1020 incluye una línea de suministro de gas de aspersión 1710 que se extiende desde el suministro de gas de aspersión 1700 hasta una entrada de gas de aspersión 1720 en o cerca del fondo del silo 1500. La entrada de gas de aspersión 1720 puede conducir a un difusor de gas que separa el gas de aspersión en pequeñas burbujas 1770.

Como se muestra en la Figura 3, el sistema 1020 también incluye un paso de salida de gas de aspersión 1740 conectado al silo 1500 en o cerca de la parte superior del silo 1500. El paso de salida 1740 puede abrirse directamente a la piscina de combustible para que el gas de fuga cargado de gas de fisión pueda ventilar hacia la piscina o puede conducir a un filtro/depurador u otro dispositivo de tratamiento de residuos. Una válvula 1750 está conectada a la salida 1740. La válvula 1750 puede comprender una válvula de retención que permite que el gas de aspersión salga del silo a través de la salida 1740, mientras evita que entre líquido o gas en el silo 1500 a través de la salida 1740 cuando el sistema 1010 aplica un vacío dentro del silo 1500. Adicionalmente y/o como alternativa, la válvula 1750 puede comprender una válvula que es controlada por el sistema de control 1590 de manera que el sistema de control 1590 cierre la válvula 1750 antes de que se aplique un vacío al silo 1500 durante el procedimiento de sipping. De acuerdo con diversas disposiciones, el paso de salida 1740 comprende un puerto lateral del grupo de instrumentos en el silo 1500.

De acuerdo con diversas disposiciones alternativas, la salida 1740 y la válvula 1750 se omiten por completo, y el gas de aspersión que ha burbujeado a través del silo 1500 y los gases de fisión absorbidos se eliminan del silo 1500 a través del paso 1560.

5 Como se muestra en la Figura 3, se introduce gas de aspersión en el silo 1500 por el dispositivo de tratamiento de agua 1020 después de que se carga el elemento combustible 600 y se cierra la tapa del silo 1540. A medida que las burbujas 1770 de gas de aspersión aumentan dentro del silo de sipping 1500, los gases de fisión se difunden a las burbujas 1770 y se llevan a la parte superior del silo 1500. El gas de aspersión sale a la piscina a través de la salida 1740 y/o a la unidad de detección del sistema de sipping 1580 a través de la línea de muestra de gas 1560.

10

La presión en el interior del silo 1500 se mantiene preferiblemente en o cerca de la presión ambiental local dentro de la piscina de combustible durante el proceso de aspersión para evitar o limitar el escape de gases de fisión de un elemento combustible con fugas 600. La ventilación del gas de aspersión fuera del silo 1500 a través de la salida 1740 y/o el paso 1560 puede permitir que parte o todo el gas de aspersión escape y se mantenga la presión dentro
15 del silo 1500 cerca de la ambiental. Como alternativa, las tasas de aspersión de aire y el muestreo de gas pueden controlarse activamente por el sistema de control 1590 para mantener la presión del silo 1500 en las condiciones deseadas. De acuerdo con diversas disposiciones, el sistema de control 1590 está conectado operativamente al dispositivo de tratamiento de agua 1020 para controlar el dispositivo de tratamiento de agua 1020 (por ejemplo, controlando la sincronización y la velocidad a la que se introduce el gas de aspersión en el silo 1500 y la
20 sincronización y la velocidad a la que se permite que el gas de aspersión salga del silo a través de la salida 1740 y/o el paso 1560).

La aspersión puede continuar durante un tiempo predeterminado suficiente para extraer la fracción deseada de gases de fisión del agua del silo. Como alternativa, la aspersión puede continuar hasta que la radioactividad del aire
25 de aspersión que sale a través de la línea de muestra de gas 1560 alcance el nivel deseado, según se detecta por el detector 1580.

Una vez que los gases de fisión de fondo se han reducido lo suficiente para lograr la reducción deseada en la concentración de gas de fisión disuelto, el ciclo de sipping continúa de manera similar a los sistemas de sipping
30 existentes, excepto que las mediciones de radioactividad de fondo son más bajas que si no se hubiera realizado la aspersión, y los elementos con fugas 600 son más fáciles de identificar.

De acuerdo con diversas disposiciones, el sistema 1010 funciona de la siguiente manera (una o más etapas de las cuales pueden automatizarse a través del sistema de control 1590):

35

1. Un elemento combustible 600 se coloca en el silo 1500 y la tapa 1540 se cierra de manera que el agua de la piscina de combustible ambiental rodea el elemento combustible 600 dentro del silo 1500.

2. El gas de aspersión se alimenta desde el suministro de gas de aspersión 1700 a través del paso 1710 y al silo a través de la entrada 1720.

40

3. Las burbujas de gas de aspersión 1770 flotan hacia arriba a través del agua del silo, absorbiendo los gases de fisión a lo largo del camino.

4. Las burbujas de gas cargadas con gas de fisión 1770 se ventilan hacia la piscina (o dispositivo de tratamiento de residuos) a través de la línea de ventilación 1740 o se ventilan al entorno (o un dispositivo de tratamiento de residuos) a través del detector 1580.

45

5. De acuerdo con diversas disposiciones, las burbujas de gas cargadas con gas de fisión 1770 se ventilan a través del detector 1580, mientras que el detector 1580 se usa para detectar la radioactividad de las burbujas de gas cargadas con gas de fisión 1770. La aspersión de gas puede continuar durante una cantidad de tiempo predeterminada (por ejemplo, al menos 30, 60, 90, 120, 240, 300, 360, 600, 1200, 2400 y/o 4800 segundos o más) o puede continuar hasta que el detector 1580 detecte que la radioactividad de las burbujas de gas cargadas de gas de fisión 1770 han descendido por debajo de un umbral predeterminado (por ejemplo, menos de 10, 25, 50, 100, 500, 1.000, 2.000 y/o 5.000 recuentos por segundo). Como alternativa, la aspersión de gas puede continuar hasta que la concentración de radioactividad/gas de fisión en el agua del silo se reduzca en un umbral predeterminado (por ejemplo, al menos un 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 y/o un 99 % con respecto a una concentración inicial del gas de fisión en el agua del silo). El umbral o tiempo elegido puede elegirse equilibrando la cantidad de tiempo que se desea proporcionar para la eliminación del gas de fisión frente a la mejora correspondiente en la
50 detección de fugas.
55

6. Se permite que las burbujas de gas 1770 floten hasta la burbuja/bolsa de gas en la parte superior del silo 1500. Esta burbuja/bolsa de gas se muestrea por el detector 1580, y los gases de fisión

detectados/radiación se usan como nivel de radiación ambiental inicial para el posterior procedimiento de sipping.

7. El procedimiento de sipping comienza entonces sometiendo el silo 1500 a una presión de vacío que hace que el gas de fisión se filtre debido a las fugas en el elemento combustible 600 (si está presente) en el agua del silo, flote en la burbuja de gas, y sea detectado por el detector 1580. Los aumentos en los gases de radiación/fisión detectados en relación con la radiación inicial detectada en la etapa anterior son atribuibles a la fuga o fugas del elemento combustible 600, en lugar del gas de fisión ambiental en el silo 1500.

De acuerdo con diversas disposiciones, varias de estas etapas pueden omitirse o reordenarse.

- 10 Las disposiciones analizadas anteriormente (por ejemplo, los sistemas 10, 1010) mejoran la detección de fugas al eliminar los gases de fisión del agua en el silo durante el proceso de sipping, reduciendo así la medida en que los gases de fisión en el agua contaminan la burbuja de aire que se muestra. La Figura 4 ilustra un sistema de sipping de silo de vacío 2010 de acuerdo con una disposición alternativa. En esta disposición, la sensibilidad de detección de fugas se mejora al evitar que el gas de fisión que está presente en el agua del silo altere la radioactividad basada en la concentración de la burbuja de gas durante el procedimiento de sipping de vacío. Esto se debe a que los gases de fisión que se liberan del agua del silo a la burbuja de gas durante el proceso de sipping de vacío se liberan en proporción al gas disuelto (por ejemplo, aire) que también está en el agua del silo porque las concentraciones están equilibradas. La liberación equilibrada correspondiente de dichos gases de fisión y el aire reduce o elimina la medida en que dicha liberación afecta a la radioactividad detectada por el detector.

- Los procedimientos de sipping convencionales implican la formación de una burbuja de gas limpia en el silo sobre el elemento combustible. La burbuja de aire se forma a partir del aire de la planta, que es relativamente bajo en gases de radioactividad/fisión. La burbuja de aire se forma con este aire limpio al inicio del procedimiento de sipping. Después, el silo se somete a una presión de vacío, lo que hace que los gases de fisión se filtren en el agua del silo a través de cualquier fuga en el elemento combustible. Este gas de fisión con fugas flota hacia arriba y dentro de la burbuja de aire en la parte superior del silo. Las muestras de la burbuja de aire se detectan en el tiempo por un detector de gas de fisión. Al comienzo del procedimiento, el aire que pasa por el detector es solo aire limpio de la burbuja de aire. A medida que los gases de fisión se filtran por los orificios del elemento combustible, la concentración de gas de fisión en la burbuja de aire aumenta gradualmente, y ese aumento se detecta por el detector como una fuga. Sin embargo, a medida que avanza el procedimiento, los gases de fisión disueltos que ya estaban en el agua del silo salen de la solución y se mezclan con el aire en el espacio de la burbuja para aumentar la concentración de radioactividad/gas de fisión de esa burbuja de aire. Por lo tanto, incluso cuando no hay fugas en el elemento, hay un aumento gradual en la actividad observada por el detector porque los gases de fisión de fondo se extraen gradualmente del volumen de agua. Al mismo tiempo, si hay un elemento con fugas, aumentará el inventario de gas de fisión en el silo. La determinación de una fuga requiere que este aumento en el inventario sea lo suficientemente grande como para ser perceptible en relación con el aumento gradual esperado en la radioactividad causada por los gases de fisión ambientales que ya se encuentran en el agua del silo. Los resultados del procedimiento de sipping pueden compararse con los resultados de un procedimiento de sipping de control en el que no se dispone un elemento combustible en el silo de acuerdo con diversas disposiciones. Sin embargo, tal uso de un control inicial puede dar lugar a errores basados en, por ejemplo, (1) variaciones en las concentraciones de gas de fisión en diferentes lotes de agua de la piscina de combustible que se disponen en el silo durante el procedimiento de sipping, y/o (2) un aumento local artificial de los gases de fisión en el agua del silo como resultado del gas de fisión residual que queda en el silo de una prueba anterior de un elemento combustible con fugas.

- 45 El sistema 2010 está configurado para reducir el grado en que la concentración de gases de fisión en la burbuja de aire y en el circuito de la muestra de gas está afectada por la acción de los gases disueltos que salen de la solución dentro del silo durante el procedimiento de sipping de vacío.

- 50 Como se muestra en la Figura 4, el sistema 2010 incluye un silo 2500 y una tapa 2540 que son sustancialmente similares o idénticos al silo 1500 y la tapa 1540 del sistema 1010.

- Como se muestra en la Figura 4, el sistema 2010 incorpora un circuito controlado de recirculación de gas portador 2020. Un puerto de salida 2550 se conecta en o cerca de la parte superior del silo 2540 y se abre hacia un paso 2560. Un suministro de gas portador 2570 se conecta al paso 2560 a través de una válvula 2580. El circuito 2020 avanza secuencialmente desde el paso 2560 a través de una válvula 2590, una bomba 2600, un detector 2610 (similar o idéntico al detector 580), una bomba 2620, una válvula 2630 y un paso 2640, que se conecta a una entrada 2650 en el silo 2500 en o cerca de la parte inferior del silo 2500. Un paso de ventilación/escape 2660 se conecta, por medio de una válvula 2670 al circuito 2020 entre el detector 2610 y la bomba 2620. Los sensores de

presión 2690, 2700 están conectados operativamente a los pasos 2560, 2640, respectivamente.

El suministro de gas portador 2570 puede comprender cualquier suministro adecuado de aire u otro gas adecuado (por ejemplo, un compresor que comprime el aire ambiental de la planta para su uso en el sistema 2010; un tanque de aire comprimido).

De acuerdo con diversas disposiciones, el sistema 2010 incluye un sistema de control 2800 que se conecta operativamente a las diversas válvulas 1750, 2580, 2590, 2670, 2630, sensores 2690, 2700, bombas 2600, 2620 y el detector 2610 para controlar el funcionamiento del sistema 2010. De acuerdo con diversas disposiciones, el sistema de control 2800 está configurado para llevar a cabo automáticamente parte o todo el procedimiento de sipping una vez que el elemento combustible 600 se coloca en el interior del silo 2500.

De acuerdo con diversas disposiciones, el sistema 2010 funciona (por ejemplo, mediante el sistema de control 2800) de la siguiente manera:

1. Un elemento combustible 600 se coloca en el silo 2500 y la tapa 2540 se cierra de manera que el agua de la piscina de combustible ambiental rodea el elemento combustible 600 dentro del silo 2500.
2. El gas portador (por ejemplo, aire) se administra desde el suministro de gas portador 2570 a la parte superior del silo 2500 (por ejemplo, a través de la válvula abierta 2580, el paso 2560 y la salida 2550, o mediante el circuito 2020 y el paso 2640).
3. La válvula 2580 se cierra (si no está ya cerrada) y las válvulas 2590, 2630 se abren (si no están ya abiertas), de manera que el circuito 2020 forme un circuito de recirculación continua. La válvula 2670 se puede abrir o cerrar (por ejemplo, la válvula 2670 se puede abrir para (1) mantener una presión ambiental en el detector 2610 para evitar daños en el detector 2610, y/o (2) evitar las fluctuaciones de presión que podrían afectar a la precisión/consistencia de la medición del detector). Una o más de las bombas 2600, 2620 funcionan para bombear el gas portador alrededor del circuito 2020 (en el sentido de las agujas del reloj como se muestra en la Figura 4), lo que hace que el gas portador recircule continuamente a través del agua del silo. La presión dentro del silo 2500 se mantiene preferiblemente en o alrededor de la presión ambiental de la piscina de combustible para que los gases de fisión no se escapen de un elemento combustible con fugas 600 al agua del silo durante esta etapa de recirculación.
4. Los gases de radioactividad/fisión en el gas portador son supervisados continuamente por el detector 2610 durante la recirculación. A medida que los gases de fisión ambiental en el agua del silo se difunden hacia el gas portador de recirculación, la concentración de gas de fisión en el gas portador de recirculación aumenta y se detecta por el detector 2610.
5. Finalmente, la concentración de gas de fisión en el gas portador recirculante alcanza o se aproxima a un equilibrio de estado estable, que es detectado por el detector 2610 porque la concentración detectada deja de aumentar o aumenta a una velocidad lenta.
6. Una vez que se alcanza o se aproxima el equilibrio, la prueba de procedimiento de sipping real se realiza aplicando una presión de vacío al silo 2500 mientras se muestrea continuamente el gas portador dispuesto en la burbuja de gas en la parte superior del silo 2500 a través del detector 2610 y se abre la válvula 2670 para facilitar el flujo del gas portador desde la burbuja de gas al detector 2610 a través del paso 2560. Las válvulas 1750, 2580, 2630 pueden cerrarse durante esta etapa. Con el vacío aplicado, si el elemento combustible 600 tiene una fuga, el gas de fisión saldrá del elemento combustible 600, flotará en la burbuja de gas portador, y se detectará por el detector 2610 como un aumento de la radioactividad en relación con la radioactividad inicial del gas portador en la burbuja una vez que se llegó/alcanzó el equilibrio. Adicionalmente y/o como alternativa, la válvula 2630 puede abrirse y la recirculación del gas portador puede continuar durante el procedimiento de sipping de vacío, lo que puede mejorar la detección de fugas alentando al gas de fisión que se filtra al agua del silo para que se absorba en las burbujas de gas portador ascendentes y después se detecte en el detector 2610. Debido a que la radioactividad del gas portador y la mezcla de gas disuelto en el agua del silo ya está cerca del equilibrio, hay poco o ningún cambio en la composición del gas portador cuando los gases disueltos salen de la solución tras la aplicación de vacío durante el periodo de tiempo durante el cual se realiza el procedimiento de sipping real. Por lo tanto, un cambio observado en la composición de gas portador (por ejemplo, en el aumento de la concentración del gas de fisión) durante la aplicación de vacío es atribuible de manera más fiable a la presencia de una fuga en el elemento combustible 600, y no a la presencia de gas de fisión disuelto ambiental en el agua del silo.

De acuerdo con diversas disposiciones, varias de estas etapas pueden omitirse, modificarse, o reordenarse.

Como se ha analizado anteriormente, la etapa de recirculación continúa hasta que la radiación detectada en el gas

portador de recirculación alcanza o se aproxima al equilibrio. Los términos "alcanza" y "aproxima" no requieren un equilibrio absoluto. Más bien, se utilizan para identificar una proximidad al equilibrio. Por ejemplo, como se usa en el presente documento, el equilibrio se alcanza o se aproxima cuando la tasa de aumento en la radioactividad detectada en el gas portador recirculante está por debajo de un umbral predeterminado (por ejemplo, menos de un 5 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 y/o un 40% de aumento en la concentración de radioactividad/gas de fisión durante un periodo de tiempo predeterminado (por ejemplo, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 600, 1200 segundos)).

De acuerdo con diversas disposiciones, se combinan las características de eliminación de gas de fisión de los sistemas 10, 1010 y la sensibilidad de detección de fugas basada en el equilibrio del sistema 2010. Por ejemplo, tal 10 enfoque híbrido se puede lograr utilizando el sistema 2010. Para reducir la cantidad absoluta de gas de fisión ambiental en el agua del silo después de que el elemento combustible 600 se coloca en el silo 2500 y la tapa 2540 se cierra, el gas de aspersión se alimenta desde el aire de suministro 2570 a través de la válvula 2590, la bomba 2600, el detector 2610, la bomba 2620, la válvula 2630, el paso 2640 y la entrada 2650 para introducir el gas/aire de aspersión en el silo 2500. A medida que las burbujas de gas de aspersión flotan hacia arriba a través del agua del 15 silo, absorben gases de fisión del agua del silo. El aire cargado de gas de fisión se ventila entonces del sistema 2010 a través de la ventilación 1740 y la válvula 1750. Por lo tanto, la etapa de eliminación de gas de fisión funciona de manera similar a la etapa de eliminación de gas de fisión del sistema 1010. De acuerdo con realizaciones alternativas, un filtro de membrana, tal como el filtro 70 del sistema 10, puede incorporarse al sistema 2010 para reducir la concentración absoluta de gas de fisión en el silo de agua 2500.

20 Después de que la concentración absoluta de gas de fisión en el agua del silo se reduce a través de la aspersión de gas, la ventilación y/o el filtrado, el sistema 2010 avanza a través de sus etapas de equilibrio y sipping como se ha analizado anteriormente. Sin embargo, la concentración de gas de fisión absoluta reducida en el agua del silo reduce la concentración de gas de fisión en la burbuja de aire en equilibrio, lo que puede mejorar la sensibilidad de 25 detección de fugas del sistema debido a que un aumento basado en fugas en la concentración de radioactividad/gas de fisión es mayor en relación con la concentración de fondo de radioactividad/gas de fisión en la burbuja de gas que se está muestreando.

Las realizaciones ilustradas anteriores se proporcionan para ilustrar los principios estructurales y funcionales de las 30 realizaciones de la presente invención y no pretenden ser limitantes. Por el contrario, los principios de la presente invención pretenden incluir todos y cada uno de los cambios, alteraciones y/o sustituciones dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar un fallo en un elemento combustible nuclear (600) en una piscina de combustible, comprendiendo el método:
 - colocar el elemento combustible nuclear en un silo (500) de un dispositivo de sipping de vacío de silo (30) dispuesto en la piscina de combustible;
 - eliminar los gases de fisión del agua de la piscina de combustible para crear agua desgasificada, en donde la eliminación comprende filtrar el agua de la piscina de combustible a través de un dispositivo de membrana de transferencia de gas (70) que extrae gases de fisión del agua de la piscina de combustible; y
 - después de dicha colocación del elemento combustible nuclear en el silo, realizar un procedimiento de sipping de vacío usando el dispositivo de sipping de silo para detectar un fallo en el elemento combustible detectando la fuga de gas de fisión del elemento combustible mientras el agua desgasificada se dispone en el silo.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además enjuagar el agua desgasificada a través del silo después de colocar el elemento combustible nuclear en el silo y antes de dicha tarea, desplazando así al menos una porción del agua de la piscina de combustible dispuesta dentro del silo con el agua desgasificada, en el que dicho lavado enjuague reduce una concentración de gases de fisión en el agua dispuesta dentro del silo.
3. El método de la reivindicación 2, en el que durante el enjuague, un volumen de agua desgasificada que se enjuaga en el silo es al menos dos veces el volumen del silo.
4. El método de la reivindicación 1, 2 o 3, en el que la eliminación comprende aplicar presión de vacío a un gas de arrastre que se usa con el dispositivo de membrana de transferencia de gas de tal manera que el dispositivo de membrana de transferencia de gas filtre tanto el gas de fisión como el aire disuelto fuera del agua de la piscina de combustible.
5. El método de la reivindicación 1, 2 o 3, en el que:
 - la eliminación comprende introducir gas de aspersión en el silo de modo que los gases de fisión disueltos en el agua de la piscina de combustible dispuesta dentro del silo se difundan en el gas de aspersión introducido, y
 - eliminar al menos una porción del gas de aspersión introducido del silo; y
 - la eliminación de los gases de fisión del agua de la piscina de combustible se produce después de colocar el elemento combustible nuclear en el silo y antes de iniciar el procedimiento de sipping de vacío.
6. El método de la reivindicación 5, que comprende además mantener una presión dentro del silo en condiciones locales de presión de la piscina de combustible ambiental durante la introducción del gas de aspersión en el silo.
7. El método de la reivindicación 5, en el que una porción del gas de aspersión que se introdujo en el silo se recoge del silo y se mide su radioactividad para definir un nivel de fondo para la comparación con la radioactividad medida durante el procedimiento de sipping de vacío.
8. El método de la reivindicación 5, en el que el suministro de gas de aspersión usado durante la introducción tiene una fracción más baja de gas de fisión que una mezcla de gas disuelto en el agua de la piscina de combustible dispuesta en el silo antes de la introducción.
9. Un sistema de sipping de silo (10) que comprende:
 - un dispositivo de sipping de vacío de silo (30) que comprende un silo (500), estando el dispositivo de sipping de vacío de silo configurado para detectar un fallo en un elemento combustible nuclear (600) dispuesto en el silo detectando fugas de gas de fusión del elemento combustible durante el procedimiento de sipping de vacío del dispositivo de sipping de vacío de silo; y
 - un dispositivo de tratamiento de agua (20) conectado al silo y configurado para eliminar los gases de fisión del agua de la piscina de combustible para crear agua desgasificada,
 - en el que el dispositivo de tratamiento de agua es adecuado para proporcionar el agua desgasificada dentro del silo antes de llevar a cabo el procedimiento de sipping de vacío,

en el que el dispositivo de tratamiento de agua comprende:

un dispositivo de membrana de transferencia de gas (70) que está configurado para extraer gases de fisión del agua de la piscina de combustible que se ha extraído de una piscina de combustible para formar el agua desgasificada, y

5 un mecanismo de enjuague de silo que está configurado para enjuagar el agua desgasificada a través del silo una vez que el elemento combustible nuclear se coloca en el silo, desplazando de este modo al menos una porción parte del agua de la piscina de combustible dispuesta dentro del silo con el agua desgasificada.

10. El sistema de sipping de silo de la reivindicación 9, en el que el mecanismo de enjuague de silo está configurado de tal manera que un volumen de agua desgasificada que se enjuaga en el silo es al menos el doble del volumen del silo.

11. El sistema de sipping de silo de la reivindicación 9, en el que el dispositivo de tratamiento de agua comprende:

15 un suministro de gas de aspersión y una entrada conectada al silo, estando configurado el dispositivo de tratamiento de agua para introducir gas de aspersión en el silo a través de la entrada de manera que los gases de fisión disueltos en el agua de la piscina de combustible dispuesta dentro del silo se difundan en el gas de aspersión introducido, y

20 una salida de gas de aspersión conectada al silo, estando la salida configurada para permitir que el gas de aspersión introducido salga del silo, en el que el dispositivo de tratamiento de agua está configurado para eliminar los gases de fisión del agua de la piscina de combustible una vez que el elemento combustible nuclear se coloca en el silo y antes de iniciar el procedimiento de sipping de vacío.

25 12. El sistema de sipping de silo de la reivindicación 11, en el que el sistema está configurado para mantener la presión dentro del silo a una presión de la piscina de combustible ambiental local durante la introducción del gas de aspersión en el silo.

30 13. El sistema de sipping de silo de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el dispositivo de sipping de vacío de silo está configurado para recolectar una porción del gas de aspersión que se introdujo en el silo, y medir la radioactividad del gas de aspersión recogido para definir un nivel de fondo para comparar contra una radioactividad medida durante el procedimiento de sipping de vacío.

35 14. El sistema de sipping de silo de la reivindicación 11, en el que el suministro de gas de aspersión tiene una fracción inferior de gas de fisión que una mezcla de gas disuelto en el agua de la piscina de combustible dispuesta en el silo antes de la operación del dispositivo de tratamiento de agua.

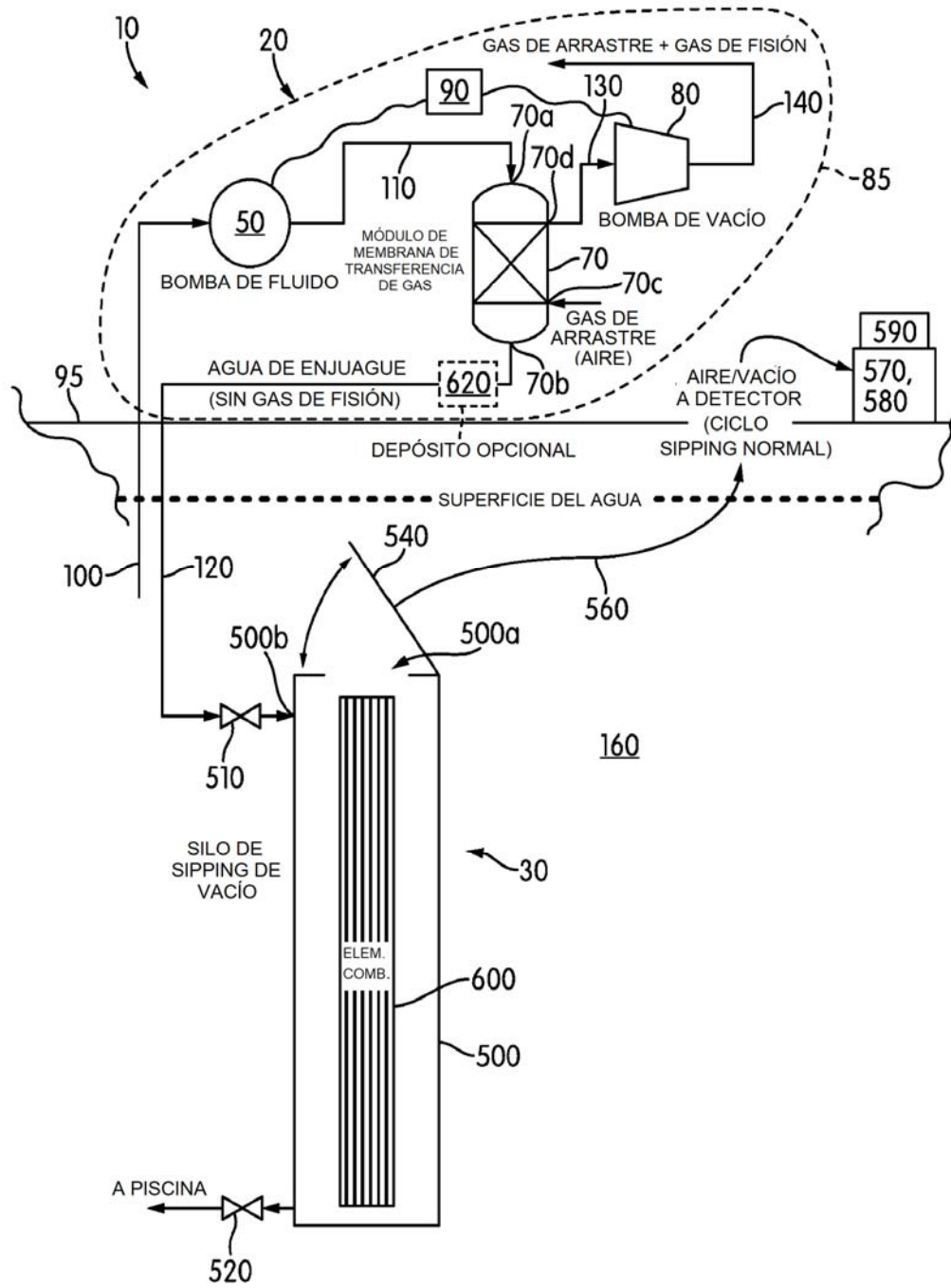


FIG. 1

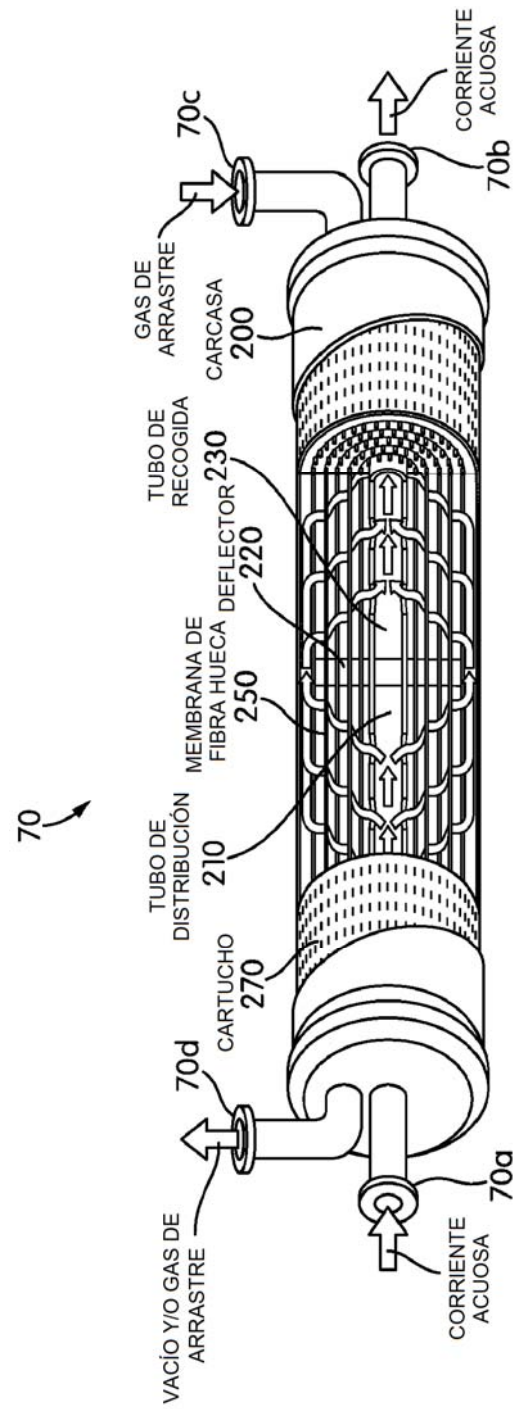


FIG. 2

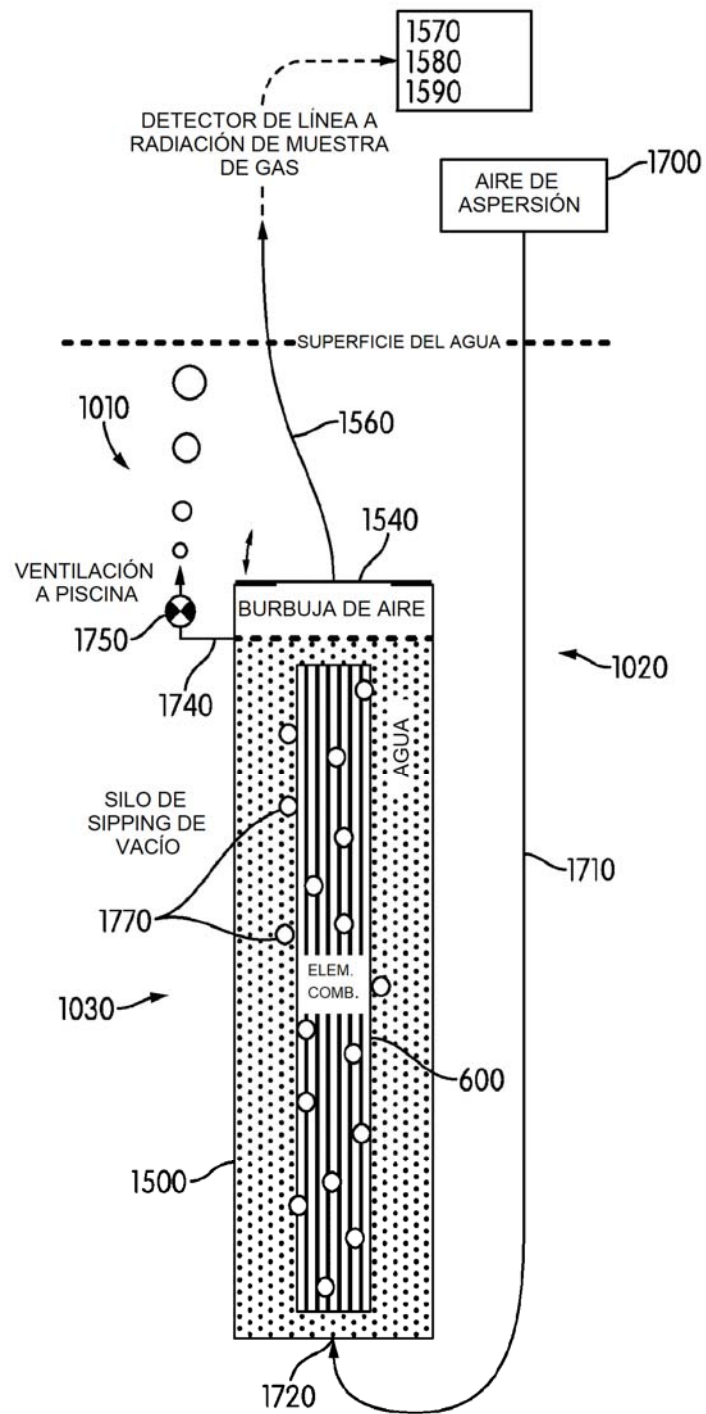


FIG. 3

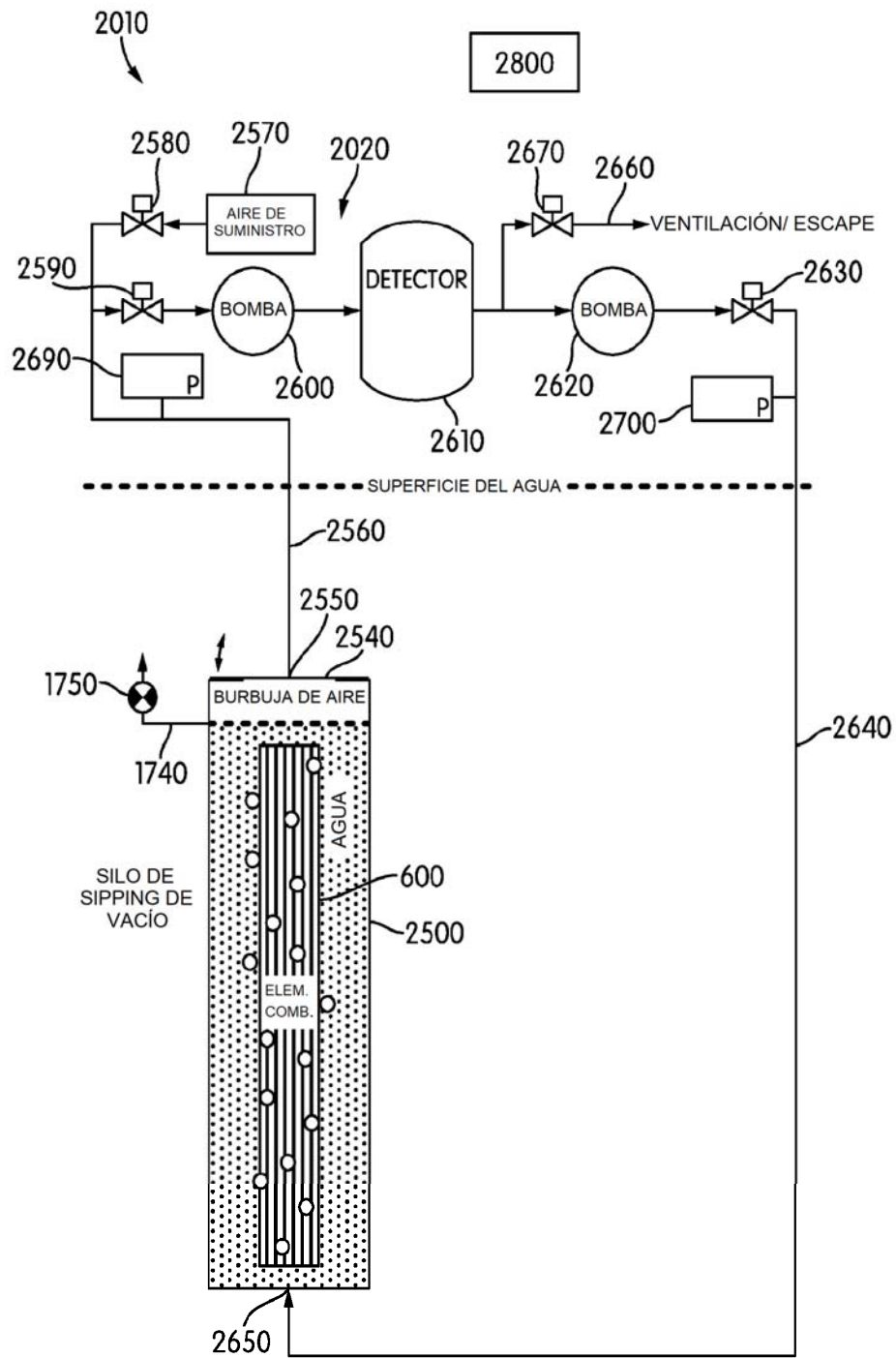


FIG. 4