

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 440**

51 Int. Cl.:

B01D 46/00 (2006.01)

G21C 9/004 (2006.01)

G21C 19/30 (2006.01)

G21D 1/00 (2006.01)

G21D 3/04 (2006.01)

G21F 9/02 (2006.01)

G21F 9/04 (2006.01)

G21F 9/28 (2006.01)

G21C 9/00 (2006.01)

G21C 13/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2013 E 13196511 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 2743932**

54 Título: **Sistema de captura radiactiva para el confinamiento de accidentes graves de reactores de agua ligera**

30 Prioridad:

11.12.2012 US 201213710766

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

13.09.2018

73 Titular/es:

**GE-HITACHI NUCLEAR ENERGY AMERICAS LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, NC 28401, US**

72 Inventor/es:

**LOEWEN, ERIC P.;
CARO, JOSE MARIA y
BASS, DEREK**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 681 440 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 captura radiactiva para el confinamiento de accidentes graves de reactores de agua ligera

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

5 Las realizaciones del ejemplo se refieren de forma general a reactores de agua ligera (LWR, del inglés *Light Water Reactor*), y más en particular a un sistema de captura de material radiactivo a partir de un confinamiento primario durante un accidente grave. El sistema puede ser pasivo, de manera que el sistema pueda estar en funcionamiento durante un período prolongado sin la necesidad de control o la aplicación de energía eléctrica externa. Este sistema se puede considerar un sistema de ventilación filtrada o un "respiradero con filtro".

10 Técnica relacionada

Durante un accidente de energía nuclear, los reactores nucleares de agua ligera (LWR) predominantemente dependen de una estructura de confinamiento primario 3 (véase la FIG. 1) para evitar que los materiales radiactivos (gases, líquidos y partículas) se liberen al entorno circundante. Sin embargo, en la historia moderna, tres accidentes nucleares graves (Chernobyl, la Isla de las Tres Millas y Fukushima) han implicado una liberación de materiales radiactivos a partir de estructuras de confinamientos primarios en una planta nuclear. Los estándares actuales de la industria también actúan para prevenir la liberación de aerosoles radiactivos y de yodo hacia la atmósfera mediante el uso de un "respiradero con filtro" mediante el uso de una tubería de "ventilación reforzada". Tal filtro usa de manera convencional un sistema de depuración húmeda con carbón que depura los contaminantes radiactivos a medida que los gases de escape fluyen a través del dispositivo. Sin embargo, un dispositivo de filtro por encima de la solera capaz de filtrar contaminantes radiactivos puede ser caro y no puede garantizar una captura de material radiactivo (ya que los filtros de ventilación HEPA o de carbón pueden llegar a estar sobrecargados) que de lo contrario pueden provocar la dispersión y la amplia difusión de contaminación ambiental.

El documento US 4.859.405 desvela un aparato de ventilación con filtro y de eliminación de calor de desintegración y un sistema para estructuras de confinamiento. El documento WO 92/02021 desvela un aparato para el confinamiento de restos de fusión nuclear. El documento XP009138062 "Underground Nuclear Power Plants: State-of-the-Art" trata las plantas subterráneas de energía nuclear. El documento US 3.889.707 desvela un sistema de liberación de presión para un reactor nuclear.

25 Sumario de la invención

Las realizaciones del ejemplo proporcionan un sistema de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas para una captura pasiva de materiales radiactivos que se puede aplicar para reactores nucleares comerciales de agua ligera (LWR). El sistema de captura se puede localizar *in situ* y puede incluir un medio por debajo de la solera que ofrece una absorción controlada de materiales radiactivos (gases, líquidos y partículas) que se pueden liberar a partir del confinamiento primario. La liberación de materiales radiactivos a partir del confinamiento primario se puede realizar para reducir la presión del recipiente a presión del reactor (RPV, del inglés *Reactor Pressure Vessel*) y del confinamiento primario del LWR para evitar un accidente más grave tal como una explosión y/o posibles daños estructurales al confinamiento primario que podrían provocar una liberación de materiales radiactivos directamente a la atmósfera.

Las realizaciones ejemplares pueden reducir el riesgo y el tamaño de la zona de exclusión (por el Título 10 del Artículo 100 del Código de Regulación Federal) capturando radiotoxinas por debajo de la solera para evitar o mitigar una importante liberación *ex situ*. Tras la estabilización del LWR, el sistema de captura por debajo de la solera puede concentrar los materiales radiactivos a través de un procedimiento de bombeo y tratamiento. La mecánica de las realizaciones del ejemplo, por lo tanto, permiten una protección de sobrepresión pasiva de gran volumen y por debajo de la solera, que evita una liberación descontrolada durante eventos que van más allá del diseño.

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras características y ventajas de las realizaciones de ejemplo serán más evidentes al describir en detalle, realizaciones del ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos. Los dibujos adjuntos pretenden ilustrar las realizaciones del ejemplo y no deberían de interpretarse como limitantes del alcance intencionado de las reivindicaciones. Los dibujos adjuntos no se deben considerar como dibujos a escala salvo que se indique de forma explícita.

50 La FIG. 1 es un diagrama de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 2 es una visión detallada del área de medios por debajo de la solera de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 2A es una vista detallada de la porción de la tubería de salida de gas superior de la FIG. 2, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 2B es una vista detallada de un forro de caucho de la FIG 2, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 2C es una vista detallada de la porción de la tubería de descarga inferior de la FIG. 2, de acuerdo con una realización del ejemplo;

5 La FIG. 3 es una visión detallada de otra configuración del área de medios por debajo de la solera de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 3A es una vista detallada de los deflectores de la FIG 3, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 4 es una visión detallada de otra configuración del área de medios por debajo de la solera de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

10 La FIG. 4A es una vista en perspectiva de una serie de depósitos agrupados juntos en paralelo, tal como se muestra en el sistema de captura de la FIG. 4;

La FIG. 5 es un diagrama de una instalación de tratamiento de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 6 es otro sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

15 La FIG. 7 es una visión detallada de otra configuración del área de medios por debajo de la solera de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 8 es una visión detallada de otra configuración del área de medios por debajo de la solera de un sistema de captura, de acuerdo con una realización del ejemplo;

La FIG. 8A es una vista en perspectiva del área de medios por debajo de la solera del sistema de captura de la FIG, 8, de acuerdo con una realización del ejemplo; y

20 La FIG. 9 es un diagrama de flujo de un procedimiento no reivindicado para crear y usar un sistema de captura.

Descripción detallada

25 En el presente documento se desvelan realizaciones del ejemplo detalladas. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos desvelados en el presente documento son meramente representativos, con fines de describir las realizaciones del ejemplo. Las realizaciones del ejemplo pueden, sin embargo, realizarse de muchas formas alternativas y no deberían de interpretarse como que se limitan a solo las realizaciones expuestas en el presente documento.

30 Por consiguiente, aunque las realizaciones del ejemplo permiten diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones del mismo se presentan a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Debería entenderse, sin embargo, que no se pretende limitar las realizaciones del ejemplo a las formas particulares desveladas, pero, por el contrario, las realizaciones del ejemplo pretenden abarcar todas las modificaciones, los equivalentes y las alternativas que están dentro del alcance de las realizaciones del ejemplo. Los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción de las figuras.

35 Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. se pueden usar en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento, y, de forma similar, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento, sin salirse del alcance de las realizaciones del ejemplo. Tal como se usa en el presente documento, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados.

40 Se entenderá que cuando se dice que un elemento está "conectado" o "acoplado" a otro elemento, se puede conectar o acoplar directamente al otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios. Por el contrario, cuando se dice que un elemento está "conectado directamente" o "acoplado directamente" a otro elemento, no están presentes los elementos intermedios. Otras palabras usadas para describir la relación entre elementos deberían de interpretarse de manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

45 La terminología usada en el presente documento es con el fin de describir solo realizaciones particulares, y no pretende ser limitante de las realizaciones del ejemplo. Tal como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "una" y "el", "la", también pretenden incluir las formas en plural, salvo que el contexto indique claramente lo contrario. Además, se entenderá que los términos "comprende", "comprendiendo", "incluye" y/o "incluyendo", cuando se usan en el presente documento, especifican la presencia de las características, números enteros, etapas, operaciones, elementos y/o componentes indicados, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos adicionales de los mismos.

También se debe tener en cuenta que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos indicados pueden tener lugar fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos figuras mostradas en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse de manera sustancialmente concurrente o a veces se pueden ejecutar en orden inverso, dependiendo de la funcionalidad/actos implicados.

- 5 La FIG. 1 es un diagrama de un sistema de captura 100. El sistema de captura 100 se puede usar para aliviar la presión de un recipiente a presión del reactor (RPV) 2 en el confinamiento primario 3, especialmente en el caso en el que un accidente grave en la planta provoque que fallen las barreras de revestimiento de combustible 1. Mediante la liberación de materiales radiactivos (gases, líquidos y productos de fisión) desde el RPV 2, se puede mantener la integridad estructural del confinamiento primario 3 con el fin de evitar un accidente más serio en la planta. El sistema de captura incluye un área de medios 4 *in situ* que se puede excavar a partir de los medios geológicos naturales 13 y que se localiza por debajo de la solera 12. El área de medios 4 se rellena con los medios 4a, que se describen en más detalle en el presente documento. Los medios 4a pueden ayudar a la adsorción, a la absorción y/o a la reacción del material radiactivo con el material de los medios, permitiendo al material radiactivo un período de tiempo para la desintegración (*in situ*) mientras se protege al personal de la planta y al público de los efectos del material radiactivo.
- 10
- 15 El sistema de captura 100 incluye una tubería de descarga de captura radiactiva 5 que conecta el RPV 2 y porciones del confinamiento primario 3 con el área de medios 4. Se puede usar una válvula de descarga 6 para permitir la liberación de materiales radiactivos al área de medios 4. Se puede conectar un sistema de ventilación 7 con el área de medios 4 mediante una tubería de salida de gas 14, permitiendo que la presión gaseosa se libere a la atmósfera para reducir la presión del área de medios 4. El sistema de ventilación 7 puede ser un respiradero de confinamiento reforzado, con filtro, u otro de estos sistemas bien conocidos que filtran materiales radiactivos gaseosos antes de liberarlos a la atmósfera. El sistema de ventilación también puede incluir una válvula auxiliar de seguridad, un disco de ruptura o un disco de estallado.
- 20

- Se pueden incluir una tubería de salida de líquidos 15 y una válvula de salida de líquidos 15a cerca de una porción de fondo del área de medios 4 para drenar líquido que se ha filtrado a través de los medios 4a. También se puede proporcionar un sistema de tratamiento 8, tal como un sistema temporal de bomba y tratamiento por encima de la solera 12. El sistema de tratamiento temporal 8 se puede instalar de forma temporal tras la estabilización de un accidente grave. El sistema de tratamiento temporal 8 puede incluir una bomba 9 que bombea un líquido de tratamiento a través de la tubería de entrada de tratamiento 10 y en el área de medios 4. Mediante el bombeo de líquido de tratamiento al área de medios 4, el área de medios 4 se puede inundar y presurizar, permitiendo que una tubería de descarga del tratamiento 11 descargue el líquido de tratamiento en el sistema de tratamiento 8 para un procesamiento y neutralización adicional, tal como se describe en el presente documento en más detalle.
- 25
- 30

- La FIG. 2 es una visión detallada del área de medios 4 por debajo de la solera de un sistema de captura 100. El área de medios 4 incluye medios 4a de tamaño de gránulo variable. Específicamente, el tamaño de gránulo de los medios 4a llega a ser progresivamente más pequeño a lo largo de la vía de flujo subterráneo de material radiactivo que se define mediante el área de medios 4 (que varía desde gránulos grandes de los medios 4a1, a gránulos menos grandes 4a2, a gránulos pequeños 4a3 y gránulos finos 4a4). Por ejemplo, los gránulos grandes de los medios 4a1 pueden ser roca, que recubre una porción de fondo del área de medios 4, mientras que los gránulos finos 4a4 pueden ser arena. Los medios 4a2/4a4 entre la roca y la arena pueden ser medios con tamaños de partículas entre roca y arena. Los medios 4a también pueden ser resinas, sílice, perlas, piedras u otros agentes de captura. Mediante la variación de los tamaños de gránulo de los medios 4a, el material radiactivo descargado en el área de medios 4 (mediante una tubería de descarga 5) puede encontrar niveles variables de adsorción/absorción (de adsorción baja a adsorción alta) a medida que el material radiactivo se acerca a la solera 12.
- 35
- 40

- La FIG. 2C es una vista detallada de una porción de la tubería de descarga inferior 5a de la FIG. 2, de acuerdo con una realización del ejemplo. Específicamente, la tubería de descarga 5 puede incluir una porción de la tubería de descarga inferior 5a que puede recorrer de forma horizontal a lo largo de la porción de fondo del área de medios 4. La porción de la tubería de descarga inferior 5a puede incluir orificios 5a1 en la porción superior de la porción de la tubería 5a que pueden permitir que los gases 20 se escapen y se eleven por encima de la porción de la tubería 5a. El gas liberado 20 puede elevarse a través de los medios 4a para adsorberse /absorberse a través de los niveles de medios variables (4a1-4a4). La porción de la tubería de descarga inferior 5a también puede incluir orificios 5a2 en la porción de fondo de la porción de la tubería 5a que permite que el líquido descargado 21 fluya hacia fuera de la porción de la tubería 5a mediante gravedad.
- 45
- 50

- La FIG. 2A es una vista detallada de una porción de la tubería de salida de gas superior 14a de la FIG. 2, de acuerdo con una realización del ejemplo. Específicamente, la tubería de salida de gas 14 puede incluir una porción de la tubería de salida de gas superior 14a que puede ser una porción de la tubería horizontal. La tubería de salida de gas superior 14a se puede localizar cerca de una porción superior del área de medios 4, cerca de la solera 12. La porción de la tubería horizontal 14a puede incluir orificios 14a1 a lo largo de la superficie de fondo de la porción de la tubería de salida de gases superior 14a que puede permitir que el gas 20 entre en la porción de la tubería 14a y fluya a través de la tubería de salida de gas 14 y el sistema de ventilación 7.
- 55

- La FIG. 2B es una vista detallada de un forro de caucho 23 de la FIG 2, de acuerdo con una realización del ejemplo. Específicamente, para proteger adicionalmente el ambiente de materiales radiactivos, el área de medios 4 puede
- 60

incluir un forro de caucho 23 y varias pulgadas de gránulos de los medios 4a4 (tales como arena) en ambos lados del forro de caucho 23, que pueden ofrecer una elevada adsorción / absorción de material radiactivo en la periferia del área de medios 4. La adición del forro de caucho 23 también ayuda a que el área de medios 4 sea capaz de resistir la presión, lo que puede ser ventajoso en el confinamiento del material radiactivo.

- 5 Además de los medios 4a que adsorben/ que absorben el material radiactivo, el área de medios 4 también se puede inundar con agua antes de una liberación de material radiactivo en el área 4, con el fin de servir como un grupo de supresión secundario. La inundación del área de medios 4 proporcionaría una depuración adicional de material radiactivo así como reduciría la tasa de presurización del área de medios 4.

- 10 Debería entenderse que la clasificación por tamaños del área de medios 4, y una determinación de la cantidad y del área superficial de los medios 4a en el área de medios 4, se debería determinar con el fin de reducir adecuadamente la radiactividad asociada al material radiactivo que se asocia con una fusión parcial o completa de un reactor nuclear (es decir, el peor de los casos en un accidente nuclear). En ese caso, el siguiente ejemplo de productos de fisión puede ser de gran interés para el público.

Tabla 1. Fracción de inventario principal del PWR liberada en confinamiento

Grupo químico	Fase de liberación en gap	Fase temprana <i>In-Vessel</i>	Total
Gases nobles	0,05	0,95	1,0
Halógenos	0,05	0,35	0,4
Metales alcalinos	0,05	0,25	0,3
Metales de telurio	0,05	0,05	0,05
Bario, estroncio	0,00	0,02	0,02
Metales nobles	0,00	0,0025	0,0025
Grupo del cerio	0,00	0,0005	0,0005
Lantánidos	0,00	0,0002	0,0002

15 Tabla 2. Fracción de inventario principal del BWR liberada en confinamiento

Grupo químico	Fase de liberación en gap	Fase temprana <i>In-Vessel</i>	Total
Gases nobles	0,05	0,95	1,0
Halógenos	0,05	0,25	0,3
Metales alcalinos	0,05	0,20	0,25
Metales de telurio	0,00	0,05	0,05
Bario, estroncio	0,00	0,02	0,02
Metales nobles	0,00	0,0025	0,0025
Grupo del cerio	0,00	0,0005	0,0005
Lantánidos	0,00	0,0002	0,0002

Tabla 3. Materiales de aerosoles de principal interés

Compuesto	Densidad (g/cm ³)	Peso molecular
Productos de fisión		
BaO	5,72	153,33
CdI ₂	5,64	366,22
Ce ₂ O ₃	6,86	328,24
C ₅ BO ₂	3,7	175,72
CsI	4,51	259,81
CsOH	3,68	149,91
Cs ₂ MoO ₄	4,3	335,76
La ₂ O ₃	6,51	325,81
MoO ₂	6,47	127,94
SrO	4,7	103,62
SnTe	6,5	246,31

Compuesto	(continuación)	
	Densidad (g/cm ³)	Peso molecular
Materiales de control		
Ag	10,50	107,87
B ₂ O ₃	2,55	69,62
Cd	8,65	112,41
In ₂ O ₃	7,18	277,63
Materiales estructurales		
FeO	6,0	71,84
MnO	5,37	70,94
Ni	8,90	58,69
SnO ₂	6,85	150,71
ZrO ₂	5,89	123,22
Materiales de combustible		
UO ₂ (²³⁵ U al 3 %)	10,96	237,9
PuO ₂	11,46	271,05

La máxima radiactividad se determina mediante la masa de los productos de fisión y los materiales de combustible liberados a partir del confinamiento. Debido al proceso de desintegración radiactiva, la cantidad de radiactividad total se reduce de manera significativa en los primeros pocos días de un accidente. Por lo tanto, el beneficio del área de medios 4 para mantener la liberación de materiales *in situ* hasta el descenso inicial de la radiactividad permite gestionar fácilmente la liberación.

Dado que los únicos productos de fisión de un LWR típico son más de 700, todos con diferentes constantes de desintegración y diferentes concentraciones, el diseño del sistema de captura 100 puede usar una constante de desintegración agregada, que se puede calcular fácilmente usando los datos presentados por ejemplo en la Guía Reguladora 3.54, 'Generación de calor de combustible gastado en una instalación independiente de almacenamiento de combustible gastado' (Revisión 1), de la Comisión Reguladora Nuclear (NRC). Conociendo la constante de desintegración de los materiales radiactivos, las condiciones meteorológicas del sitio, y la tasa de aumento de presión en los medios de captura que retienen el material radiactivo, la liberación *ex situ* de material radiactivo durante el accidente se puede mitigar o evitar por completo. Incluso en el caso en el que los medios 4a lleguen a presurizarse hasta el límite del diseño del sistema, el gas se puede ventilar mediante el respiradero 7, de manera que se puede reducir una cantidad de material radiactivo liberado a la atmósfera en un factor de entre 100 y 10.000.000 (en comparación con la liberación radiactiva esperada sin el uso del sistema de captura 100) en función de la presión de diseño del sistema de captura 100.

La FIG. 3 es una visión detallada de otra configuración del área de medios 4 por debajo de la solera de un sistema de captura 100. El área de medios 4 puede tener paredes de hormigón armado (o de acero, de caucho, de plástico u otro material adecuado) para reducir el tamaño y aumentar la tasa de presión del área de medios 4. El área de medios 4 puede contener medios 4a de tamaños de gránulo variable (medios de gránulo grande 4a1 a medios de gránulo fino 4a4, similar a la FIG. 2). Sin embargo, los gránulos de los medios 4a pueden variar horizontalmente, en lugar de verticalmente (contrario a la FIG. 2), para proporcionar un elevado nivel de adsorción / absorción cuando los materiales radiactivos fluyen a través del área de medios 4. Se puede proporcionar un área de espacio gaseoso 36 por encima de los medios muy finos 4a4 para el muestreo y la inspección.

La FIG. 3A es una vista detallada de los deflectores 31 de la FIG 3, de acuerdo con una realización del ejemplo. Específicamente, los deflectores 31 se pueden usar para dividir las células deflectoras 30 que proporcionan una trayectoria tortuosa para que el material radiactivo fluya a través del área de medios 4. Los deflectores 31 pueden incluir hormigón armado con barras de refuerzo 32 (o, como alternativa, se pueden usar deflectores de acero o de caucho) rodeados por un recubrimiento de barrera 33. Se pueden proporcionar deflectores 31 para aumentar el tiempo de mezclado y retención, aumentando de este modo la adsorción / absorción del material radiactivo. La porción de fondo de cada célula deflectora 30 puede incluir una conexión de drenaje 34 que permite el drenaje de líquido 21 en un sumidero inclinado 35. El sumidero 35 puede incluir una salida de líquidos 15 que drena líquido 21 en un bidón 38. Tras la estabilización de un accidente grave, el bidón 38 se puede drenar más tarde o tratar de otro modo antes de la extracción *ex situ* del líquido capturado 21.

La FIG. 4 es una visión detallada de otra configuración del área de medios 4 por debajo de la solera de un sistema de captura 100. El sistema de captura 100 puede incluir un depósito de metal 42 que está inclinado con respecto a la horizontal (es decir, el depósito de metal 42 está inclinado con respecto al plano que es aproximadamente perpendicular a la dirección de la gravedad). El depósito 42 puede incluir alúmina activada (Al₂O₃) 41 como los

medios en el depósito 42. Dado que el depósito 42 tiene la capacidad de permanecer presurizado, el depósito 42 se puede usar para eliminar gases nobles de los materiales radiactivos. También se pueden proporcionar recombinadores pasivos de hidrógeno 44 cerca de la porción superior del depósito 42 para eliminar cualquier acumulación de gas de hidrógeno peligroso (usando catalizadores) en el depósito 42.

5 El depósito 42 también puede estar inclinado formando un ángulo con respecto a la horizontal (es decir, inclinado con respecto a un plano que es aproximadamente perpendicular a la dirección de la gravedad), con una tubería de salida de líquidos 15 conectada a la elevación más baja del depósito 42 para drenar el líquido capturado 21 en un bidón 38. Esto permite que el líquido fluya a contracorriente del flujo de gas y del flujo de partículas en el depósito 42.

10 El sistema de ventilación 7 puede incluir un manómetro 43 que proporciona información de la presión al personal por encima del nivel 12. Basándose en la información de la presión, el personal de la planta puede abrir la válvula del respiradero 7a para permitir la despresurización del depósito 42.

15 La FIG. 4A es una vista en perspectiva (vista 4A-4A) de una serie de depósitos 42 agrupados juntos en paralelos (similar al depósito 42 mostrado por el sistema de captura 100 de la FIG. 4) para proporcionar una capacidad extra del sistema. Específicamente, se puede usar la agrupación de tuberías 47 para conectar las entradas del depósito 46 juntas. Un tamaño de entrada 46 puede aumentar (desde una entrada 46a más pequeña más cercana a la tubería de descarga 5, a la entrada 46z más grande localizada más lejos de la tubería de descarga 5) para equilibrar el flujo entre los depósitos 42. También se puede proporcionar un sistema de ventilación común 7, que recolecta gas de todos los depósitos 42.

20 La FIG. 5 es un diagrama de una instalación de tratamiento 50 de un sistema de captura 100. El sistema de tratamiento 50 puede ser un sistema de bomba y tratamiento permanente (por ejemplo) que existe por encima de la solera 12 cerca del área de medios 4. El sistema de tratamiento 50 puede estar conectado al área de medios 4 mediante tuberías de entrada / salida 54 / 55 que proporcionan un líquido de tratamiento presurizado al área de medios 4. El sistema de tratamiento 50 puede incluir unos medios de tratamiento 51, tales como alúmina activada y humato, usados para neutralizar y filtrar el líquido de tratamiento que se devuelve a la tubería de salida 55. El residuo sólido estabilizado 52 producido por el sistema de tratamiento 50 se puede extraer para el almacenamiento a largo plazo.

25 La FIG. 6 es otro sistema de captura 100. El sistema de captura 100 puede incluir un dispositivo de mitigación de hidrógeno 60. El dispositivo de mitigación de hidrógeno 60 puede incluir un encendedor (tal como un encendedor de destello, un encendedor de chispa o un encendedor catalítico, etc.) para controlar la deflagración / detonación de hidrógeno y un recombinador autolítico pasivo opcional. El encendedor puede proporcionar un sistema de ignición deliberada para mitigar las mezclas inflamables desplazando el hidrógeno a través de una deflagración controlada o intencionada. El encendedor 60 puede incluir opcionalmente un recombinador autolítico pasivo.

30 La FIG. 7 es una visión detallada de otra configuración del área de medios 4 por debajo de la solera de un sistema de captura 100. El área de medios 4 puede tener paredes de hormigón armado (para reducir el tamaño y aumentar la tasa de presión del área de medios 4). El área de medios 4 se puede construir usando un forro de caucho en lugar de paredes de hormigón armado. El área de medios 4 también puede incluir deflectores longitudinales 72, creando de este modo una vía tortuosa orientada verticalmente para el material radiactivo. Los deflectores 72 pueden ser de hormigón armado con barras de refuerzo, placas finas de acero, caucho o cualquier otro material adecuado que pueda retener el material radiactivo durante un período de tiempo tras un accidente grave en la planta. Los deflectores 72 permiten la inversión del flujo y los huecos de flujos bajos permiten una mejor captura de material radiactivo y mezclado. Los deflectores 72 pueden estar ligeramente inclinados con respecto a la horizontal (es decir, inclinado con respecto a un plano que es aproximadamente perpendicular a la dirección de la gravedad) para facilitar el drenaje de agua.

35 La célula deflectora 30 de la porción de fondo puede incluir una conexión de drenaje 34 que drena líquido 21 a un sumidero 35 inclinado y al bidón 38. La superficie de fondo del área de medios 4 también puede estar ligeramente inclinada (hacia la conexión de drenaje 34) para facilitar adicionalmente el drenaje de agua. Los medios 4a pueden incluir gránulos variables de medios, desde medios con el gránulo más grande 4a1 a medios con el gránulo más pequeño 4a3, que proporcionan una elevada adsorción / absorción cuando el material radiactivo fluye a través del área de medios 4. También se puede incluir un área de espacio gaseoso 36 cerca del sistema de ventilación 7 para el muestreo y la inspección.

40 La FIG. 8 es una visión detallada de otra configuración del área de medios 4 por debajo de la solera de un sistema de captura 100. El área de medios 4 puede incluir deflectores longitudinales 84 y deflectores transversales 82 (combinando de este modo características de las FIGS. 3 y 7) para proporcionar una vía de flujo particularmente tortuosa 86 para el material radiactivo. Los deflectores 82/84 pueden ser de hormigón armado con barras de refuerzo, de acero, de caucho u otro material adecuado. La naturaleza tortuosa de los deflectores longitudinales y transversos 84/82 permite la inversión del flujo y los huecos de flujos bajos permiten una mejor captura de material radiactivo así como un mejor mezclado.

5 El área de medios 4 puede incluir paredes de hormigón armado, de caucho, de acero u otro material adecuado (entendiendo que el hormigón o el acero serían más eficaces al permitir la presurización del sistema de captura 100). También se puede proporcionar un sumidero 35 inclinado (con respecto a la horizontal) y un bidón 38. Los deflectores longitudinales 84 y la base del área de medios 4 también pueden estar inclinados (con respecto a la horizontal) para facilitar el drenaje de agua. Se puede incluir un área de espacio gaseoso 36 para el muestreo y la inspección.

10 Los medios 4a en el área de medios 4 pueden tener tamaños de gránulo variables, de manera que los medios 4a1 más cercanos a la tubería de descarga 5 pueden tener los gránulos más grandes, y los medios 4an más cercanos al sistema de ventilación 7 tengan los tamaños de gránulo más pequeños. Esto permite que el material radiactivo experimente elevados niveles de adsorción / absorción a medida que el material radiactivo viaja a través del área de medios 4.

La FIG. 8A es una vista en perspectiva (vista 8A-8A) del área de medios 4 por debajo de la solera del sistema de captura 100 de la FIG. 8. La FIG. 8a muestra la vía tortuosa de flujo 86 que se mueve alrededor de los deflectores transversales 82.

15 La FIG. 9 es un diagrama de flujo de un procedimiento no reivindicado para crear y usar un sistema de captura. En la etapa S90, el procedimiento puede incluir excavar un área de medios por debajo de la solera cerca de una estructura de confinamiento primario de un reactor nuclear. En la etapa S92, el procedimiento puede incluir rellenar el área de medios con medios. En la etapa S94, el procedimiento puede incluir la conexión de fluido del confinamiento primario con el área de medios mediante una tubería de descarga. Y, finalmente, en la etapa S96, el procedimiento puede
20 incluir transferir material radiactivo desde el confinamiento primario al área de medios. Estas etapas del procedimiento se pueden aplicar a cualquiera de las realizaciones del ejemplo presentadas en las FIG. 1-8a.

25 También debería entenderse que las características de las realizaciones del ejemplo mostradas en las FIGS. 1-9 (y descritas anteriormente) se pueden combinar entre sí. Por ejemplo, las áreas de los medios de la realización del ejemplo se pueden combinar con cualquiera de los sistemas de ventilación de gas, cualquiera de los sistemas de tratamiento temporal o permanente y cualquiera de los sistemas de drenaje de líquidos.

Las realizaciones de ejemplo que se han descrito de este modo, será obvio que las mismas se pueden variar de muchas maneras, definiéndose el alcance de la invención mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de captura (100), que comprende:
 - un reactor nuclear y una estructura de confinamiento primario (3) del reactor nuclear;
 - un área de medios (4) localizada por debajo de la solera y cerca de la estructura de confinamiento primario (3) del reactor nuclear;
 - unos medios granulares (4a) que tienen un tamaño granular del área de medios (4);
 - una tubería de descarga (5) configurada para conectar en conexión de fluido el área de medios (4) con la estructura de confinamiento primario (3), estando un extremo distal de la tubería de descarga (5) localizado en el área de medios (4); y
 - una tubería de salida de gas (14) acoplada al área de medios (4), **caracterizado porque** el tamaño granular de los medios granulares (4a) se reduce entre el extremo distal de la tubería de descarga y la tubería de salida de gas (14).
2. El sistema de captura (100) de la reivindicación 1, en el que los medios granulares (4a) incluyen al menos uno de roca, arena, resina, sílice, perlas, piedras y alúmina activada.
3. El sistema de captura (100) de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que las paredes del área de medios (4) incluyen al menos uno de medios geológicos naturales, un forro de caucho, plástico, arena, hormigón, hormigón armado con barras de refuerzo y acero; en el que preferentemente el sistema de captura (100) comprende adicionalmente deflectores (31) conectados a las paredes del área de medios (4).
4. El sistema de captura (100) de la reivindicación 3, en el que el sistema comprende deflectores (31) y en el que los deflectores (31) incluyen al menos uno de deflectores transversales y longitudinales.
5. El sistema de captura (100) de la reivindicación 4, en el que los deflectores longitudinales están inclinados con respecto a un plano que es aproximadamente perpendicular a la dirección de la gravedad.
6. El sistema de captura (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una superficie de fondo del área de medios (4) está inclinada con respecto a un plano que es aproximadamente perpendicular a la dirección de la gravedad.
7. El sistema de captura (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente: una tubería de salida de líquidos (15) en acoplamiento de fluido con una porción de fondo del área de medios (4), extendiéndose la tubería de salida de líquidos por debajo del área de medios.
8. El sistema de captura (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la tubería de salida de gas (14) está en acoplamiento de fluido con una porción superior del área de medios (4), extendiéndose la tubería de salida de gas por encima de la solera.
9. El sistema de captura (100) de la reivindicación 8, que comprende adicionalmente:
 - una tubería inferior de descarga (5a) en el área de medios (4) y conectada a un extremo distal de la tubería de descarga (5);
 - una tubería superior de salida de gas (14a) en el área de medios (4) y conectada a la tubería de salida de gas (14), estando la tubería superior de salida de gas localizada a lo largo de la porción superior del área de medios;
 - una vía de flujo definida por el área de medios (4), estando la vía de flujo entre la tubería inferior de descarga (5a) y la tubería superior de salida de gas (14a) y configurada para transportar material radiactivo entre la tubería inferior de descarga y la tubería superior de salida de gas.
10. El sistema de captura (100) de la reivindicación 9, que comprende adicionalmente:
 - orificios que están definidos en las superficies inferiores de la tubería superior de salida de gas (14a) y las superficies de fondo y superior de la tubería inferior de descarga (5a), discurriendo la tubería superior de salida de gas (14a) de manera horizontal a lo largo de la porción superior del área de medios (4),
 - discurriendo la tubería inferior de descarga (5a) de manera horizontal a lo largo de la porción de fondo del área de medios.

FIG. 2

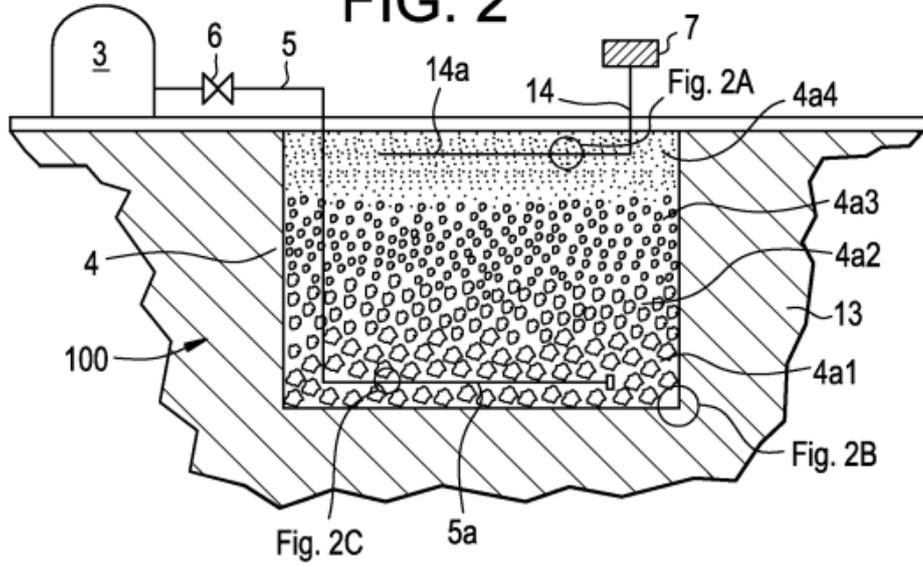


FIG. 2A

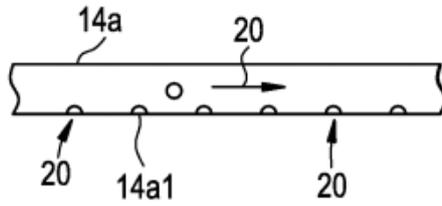


FIG. 2C

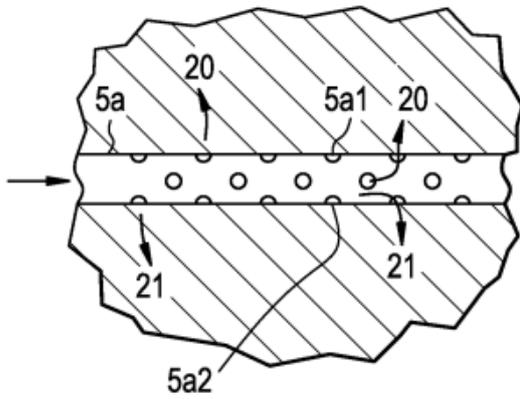


FIG. 2B

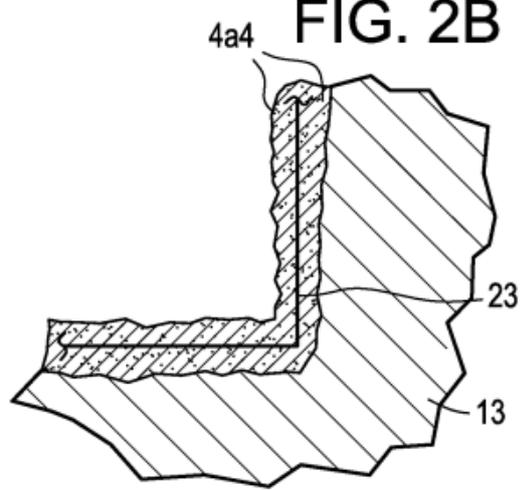


FIG. 3

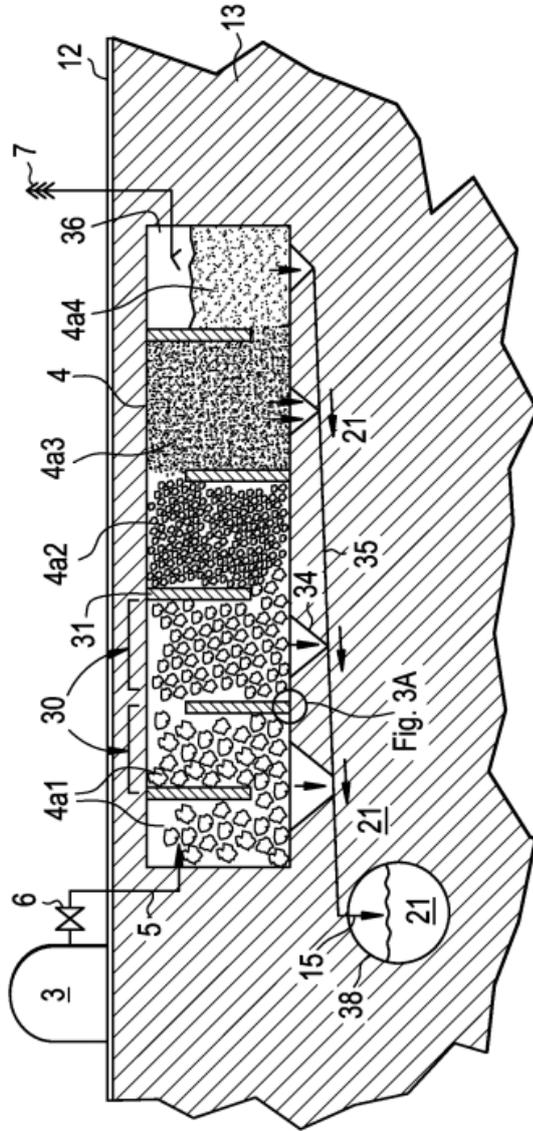


FIG. 3A

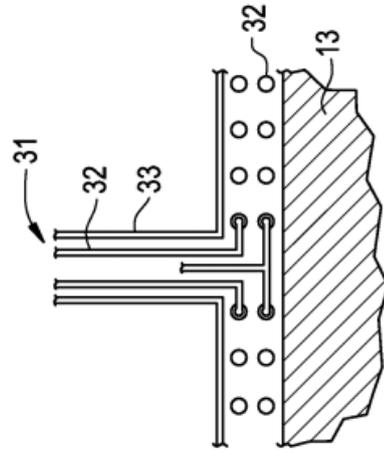


FIG. 4

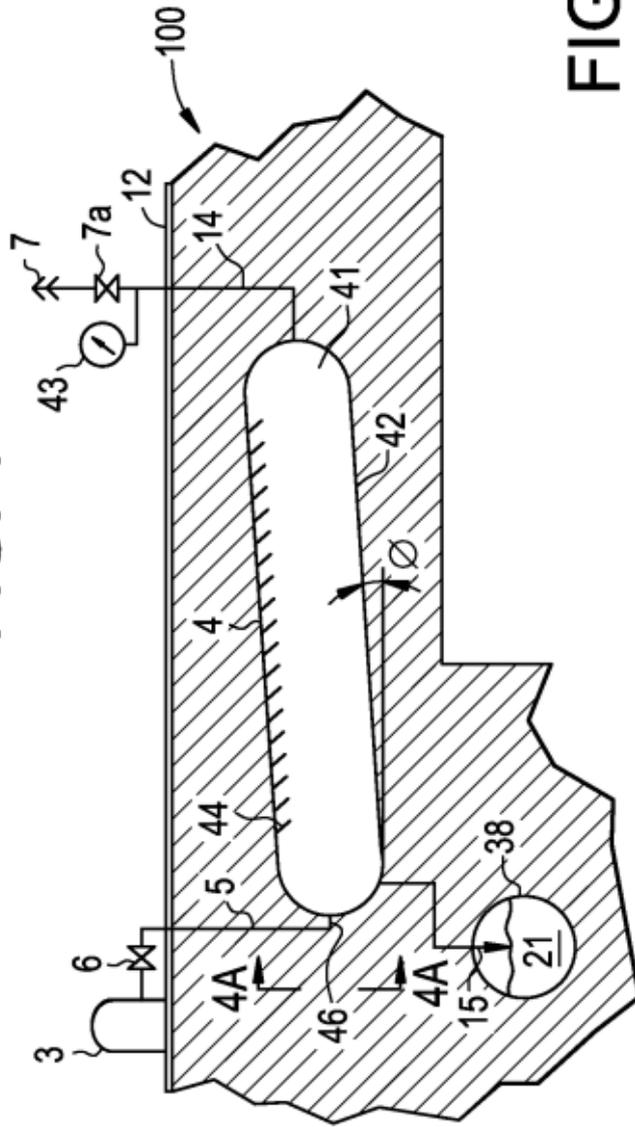


FIG. 4A

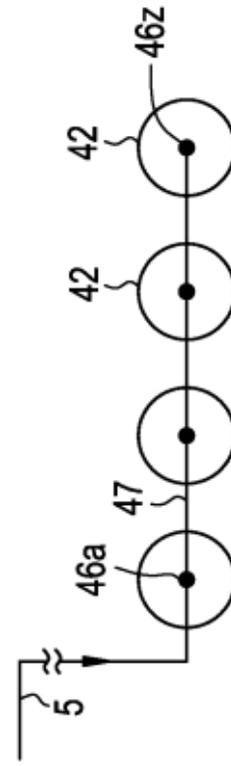


FIG. 5

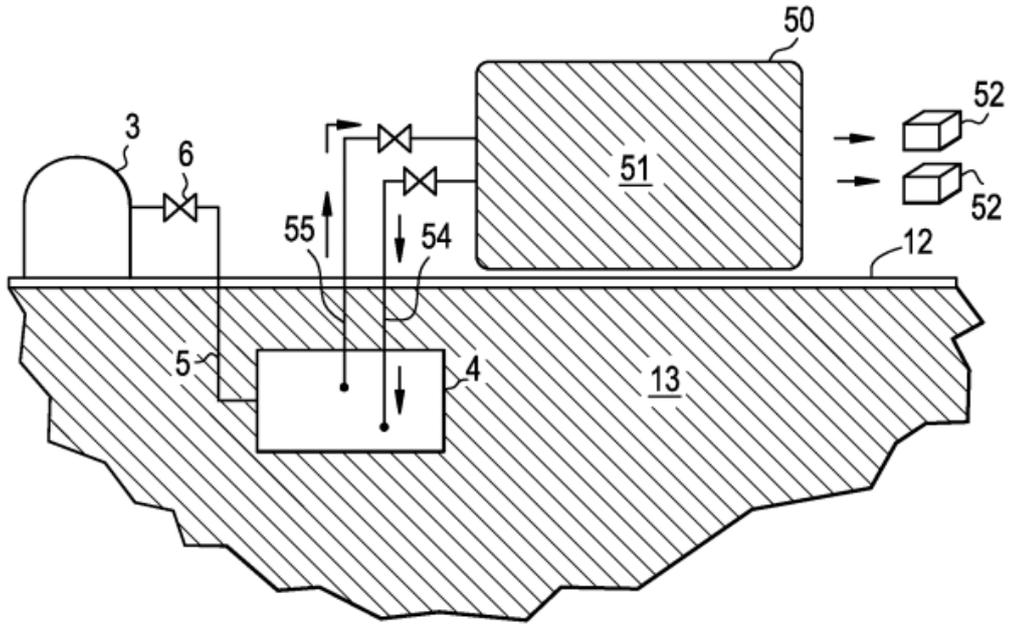


FIG. 6

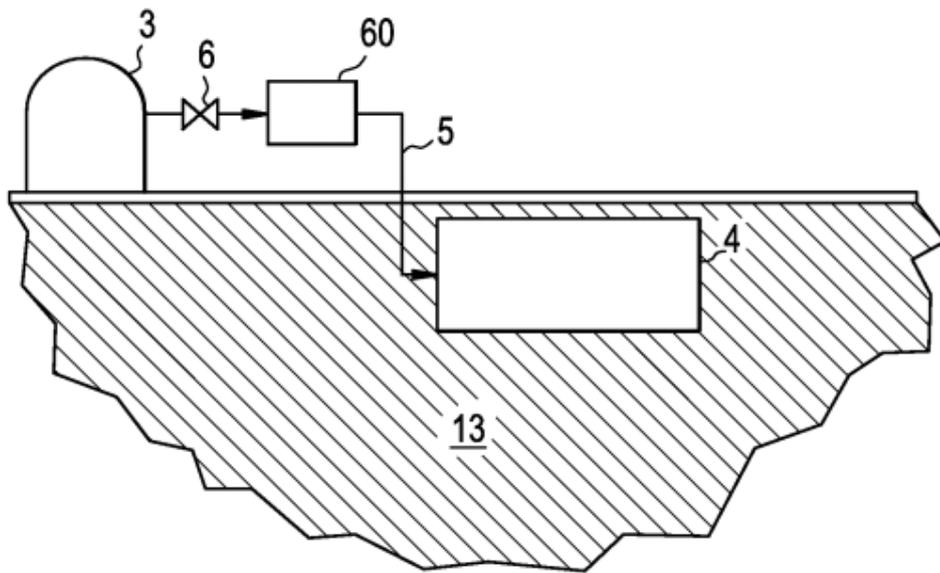


FIG. 7

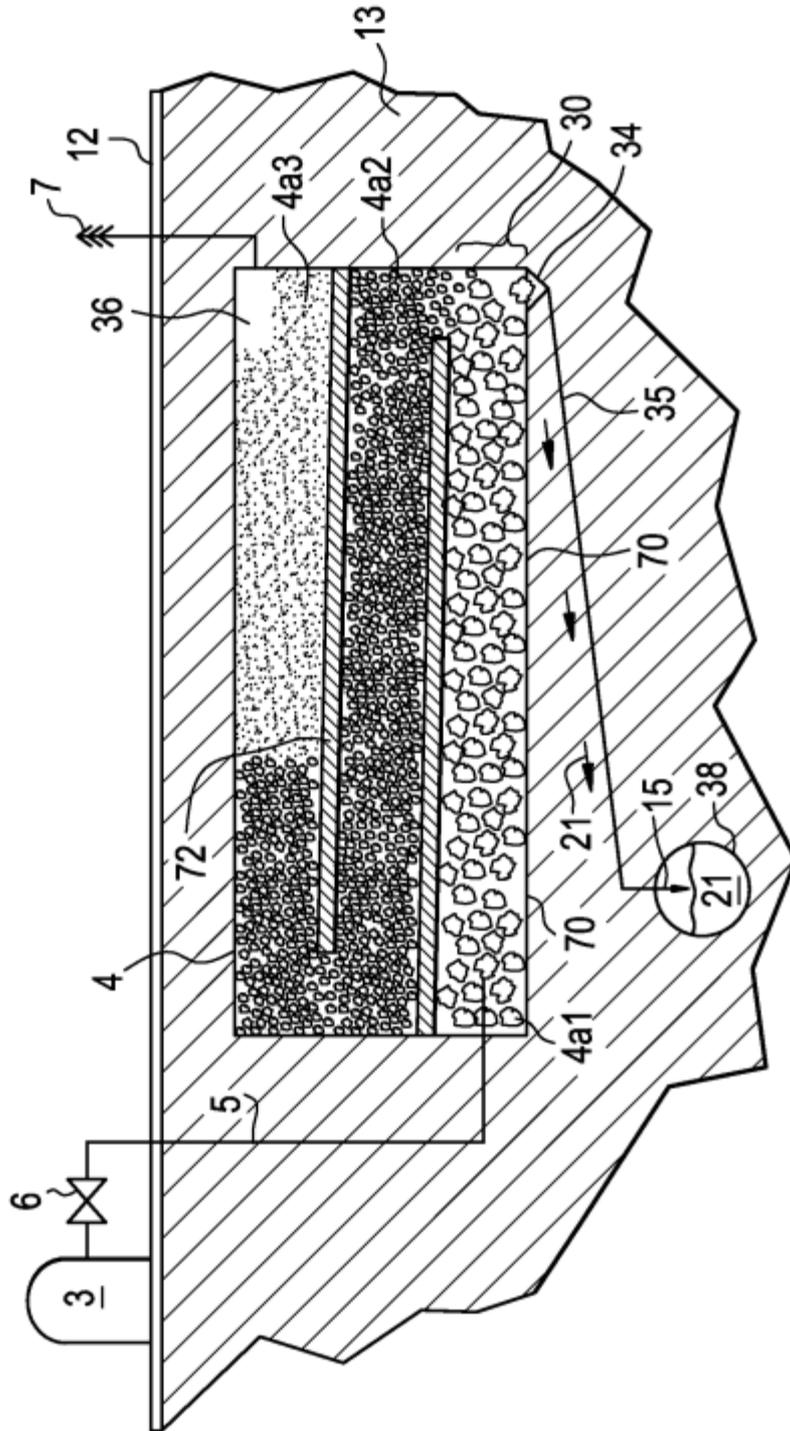


FIG. 8

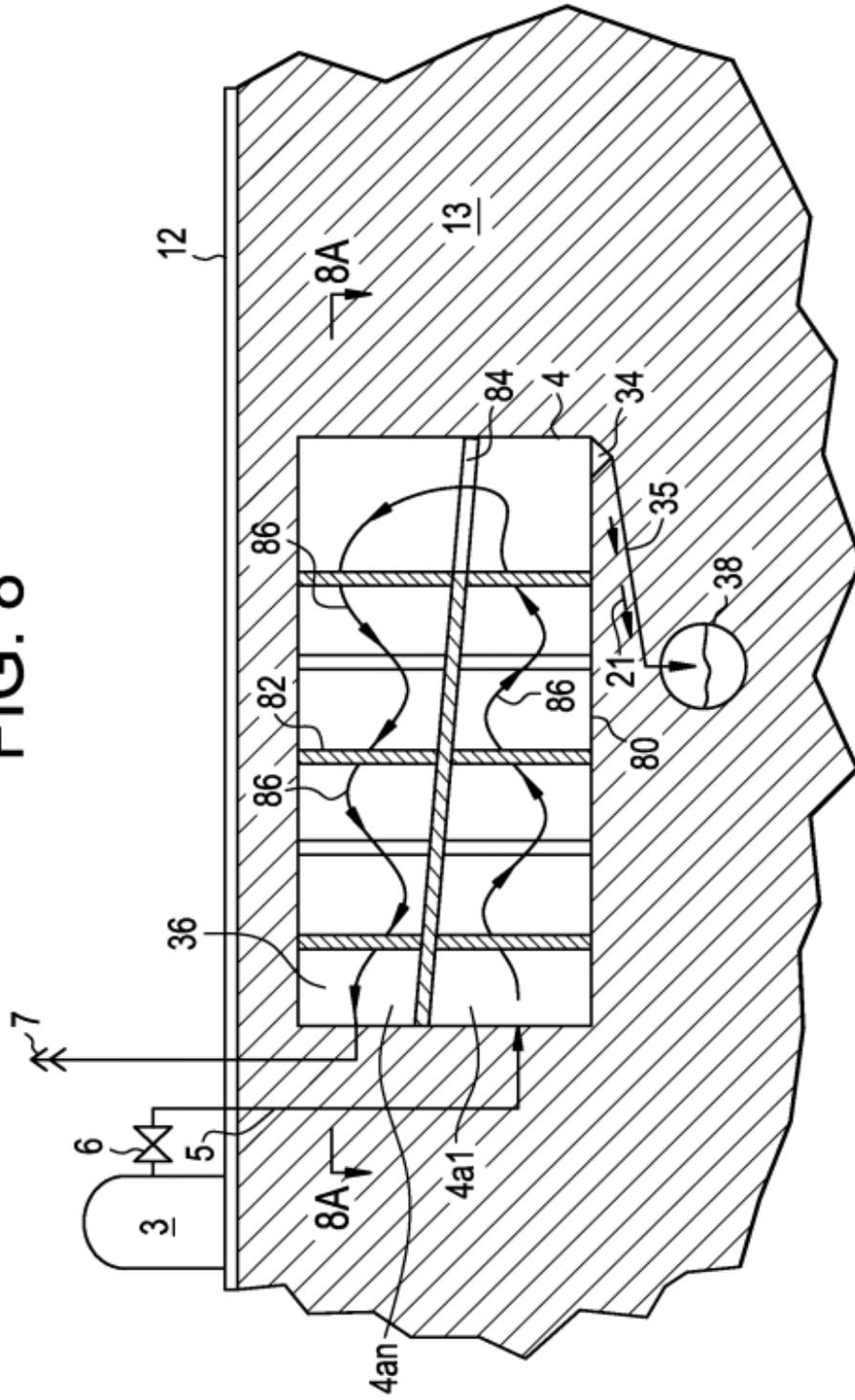


FIG. 8A

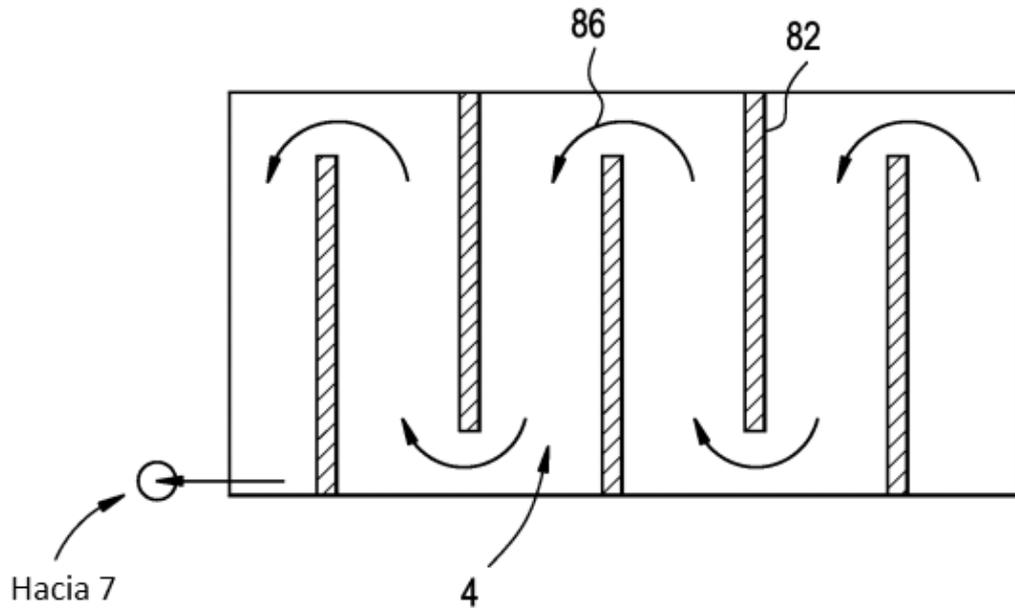


FIG. 9

