

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 940**

51 Int. Cl.:

**G21C 17/00** (2006.01)

**G21C 19/07** (2006.01)

**G21C 13/10** (2006.01)

**G01M 3/12** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.10.2015 PCT/US2015/054435**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2016 WO16057636**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2015 E 15849173 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 3204949**

54 Título: **Piscina de combustible gastado aislada del medioambiente**

30 Prioridad:

**07.10.2014 US 201462061089 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.05.2020**

73 Titular/es:

**HOLTEC INTERNATIONAL (100.0%)  
Holtec Technology Campus, Corporate  
Engineering Office, One Holtec Boulevard  
Camden, NJ 08104, US**

72 Inventor/es:

**SINGH, KRISHNA P.**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 762 940 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

Piscina de combustible gastado aislada del medioambiente

5 **Antecedentes**

La presente invención se refiere en general al almacenamiento de conjuntos de combustible nuclear y de manera más particular a una piscina mejorada de combustible gastado para el almacenamiento en húmedo de dichos conjuntos de combustible.

10 Una piscina de combustible gastado (a veces, dos o más) forma una parte integral de toda central nuclear. En algunos sitios, también se han construido instalaciones de almacenamiento húmedo independientes para proporcionar una capacidad de almacenamiento adicional para el exceso de combustible descargado por los reactores. En ocasiones, a una instalación autónoma de almacenamiento en húmedo que da servicio a una o más unidades de reactor se la conoce por el acrónimo AFR que significa "Lejos del reactor". Si bien la mayoría de los países han ampliado su capacidad de almacenamiento de combustible usado en planta mediante la construcción de instalaciones de almacenamiento en seco, el programa nuclear francés ha sido el usuario más notable del almacenamiento AFR.

20 Como su nombre indica, la piscina de combustible gastado (PCG) almacena el combustible irradiado en el reactor de la planta en una profunda piscina de agua. La piscina habitualmente tiene una profundidad de 12,19 m (40 pies) con bastidores de combustible verticales colocados sobre su losa inferior. En condiciones normales de almacenamiento, hay al menos 7,62 m (25 pies) de cobertura de agua por encima del combustible para garantizar que la dosis al nivel de la plataforma de la piscina sea aceptablemente baja para los trabajadores de la planta. Las piscinas de combustible en la mayoría de las plantas nucleares (pero no en todas) están a nivel del grado, lo cual es deseable desde el punto de vista de la capacidad estructural de la estructura de hormigón armado que forma el profundo estanque de agua. Para garantizar que el agua de la piscina no se filtre hacia fuera a través de huecos y discontinuidades de la losa o de las paredes de la piscina, las piscinas de combustible en las plantas nucleares construidas desde la década de los 70 siempre han estado revestidas con una sola capa de revestimiento fino de acero inoxidable (típicamente dentro de un intervalo de 0,076/0,406 m (3/16 pulgadas) a 0,127/0,406 m (5/16 pulgadas) de grosor). El revestimiento está formado por láminas de acero inoxidable (normalmente ASTM 240 - 304 o 304L) soldadas con una costura a lo largo de sus bordes contiguos para formar una barrera impermeable entre el agua de la piscina y el hormigón subyacente. En la mayoría de los casos, se monitoriza la integridad de las costuras soldadas del revestimiento mediante la localización de una roza de canalización de fugas debajo de las mismas (véase, por ejemplo, la figura 1). La capacidad de detección de rozas de canalización de fugas, sin embargo, se limita únicamente a regiones soldadas; el área metálica de la base del revestimiento más allá de las costuras permanece sin vigilancia.

Los revestimientos por lo general han dado un servicio fiable en la mayoría de las plantas nucleares, pero se han notificado casos aislados de filtraciones de agua de la piscina. Debido a que el agua de la piscina contiene contaminantes radiactivos (la mayor parte transportados por la capa de suciedad depositada en el combustible durante su "combustión" en el reactor), que se filtran fuera del agua de la piscina al sustrato de la planta y posiblemente al agua subterránea, es evidentemente perjudicial para la salud y seguridad públicas. Para reducir la probabilidad de que el agua de la piscina llegue al agua subterránea, el entorno local y, por lo tanto, algunas piscinas AFR han adoptado el diseño de piscina en piscina en el que la piscina de combustible está encerrada por una piscina externa secundaria llena de agua limpia. En el diseño de doble piscina, cualquier fuga de agua de la piscina contaminada desembocará en la piscina externa, que sirve como barrera contra la contaminación del agua subterránea. El diseño de doble piscina, sin embargo, tiene varios aspectos poco atractivos, por ejemplo: (1) la capacidad estructural del sistema de almacenamiento se ve afectada negativamente por dos contenedores de hormigón armado separados entre sí, excepto por unos resortes y amortiguadores que aseguran su separación; (2) existe la posibilidad de que la piscina externa tenga fugas junto con la piscina interna, sorteando ambas barreras y permitiendo que el agua contaminada llegue al entorno externo; y (3) el diseño de doble piscina aumenta significativamente el coste del sistema de almacenamiento.

Otros ejemplos conocidos de piscinas de combustible nuclear gastado se divulgan en los documentos DE3430180 A1, JPS5757233 A o JPS63250600 A.

55 Con motivo de las deficiencias de los diseños actuales, resulta deseable un diseño novedoso de una piscina de combustible nuclear gastado que garantice un confinamiento completo del agua de la piscina y una monitorización de toda la estructura del revestimiento, incluidas las costuras y las áreas metálicas de base.

60 **Sumario**

La presente invención proporciona un sistema de piscina de combustible gastado aislada del medioambiente y un método relacionado para detectar fugas de una piscina de combustible nuclear gastado de acuerdo con el juego de reivindicaciones modificadas.

65 **Breve descripción de los dibujos**

Las características de las realizaciones ejemplares se describirán con referencia a los siguientes dibujos donde elementos similares se etiquetan de manera similar y en los que:

- 5 la figura 1 es un diagrama en sección transversal de un enfoque conocido utilizado para monitorizar la integridad de las costuras de soldadura para detectar fugas en un único sistema de revestimiento de piscina de combustible gastado;  
 la figura 2 es una vista lateral en sección transversal de una piscina de combustible nuclear gastado aislada del medioambiente que tiene un revestimiento dual y un sistema de recogida y monitorización de fugas de acuerdo con la presente divulgación;  
 10 la figura 3 es una vista en planta superior de la piscina de combustible con el revestimiento y el sistema de recogida/monitorización de fugas de la figura 2;  
 la figura 4 es un detalle tomado de la figura 2 que muestra una junta inferior del sistema de revestimiento en la intersección de los revestimientos desde las paredes laterales y la losa de base de la piscina de combustible;  
 15 la figura 5 es un detalle tomado de la figura 2 que muestra una junta superior del sistema de revestimiento en los extremos superiores terminales de los revestimientos de la pared lateral;  
 la figura 6 es una vista en perspectiva de un ejemplo de un conjunto de combustible nuclear que contiene barras de combustible nuclear gastado; y  
 la figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema de vacío de recogida y monitorización de fugas de acuerdo con la presente descripción.  
 20

Todos los dibujos son esquemáticos y no necesariamente a escala. Los elementos mostrados y/o indicados con una designación numérica de referencia en una figura pueden considerarse los mismos elementos cuando estos aparecen en otras figuras sin una designación numérica por brevedad, a no ser que se etiqueten específicamente con un número de elemento diferente y se describa en el presente documento. Las referencias en el presente documento a un número de figura (por ejemplo, la figura 1) deberán interpretarse como una referencia a todas las figuras secundarias del grupo (por ejemplo, las figuras 1A, 1B, etc.) a no ser que se indique lo contrario.  
 25

### Descripción detallada

30 Las características y beneficios de la invención se ilustran y describen en el presente documento con referencia a las realizaciones ejemplares. Está previsto que esta descripción de realizaciones ejemplares se lea con relación a los dibujos adjuntos, que deberán considerarse una parte de la totalidad de la descripción escrita. Por consiguiente, la divulgación no debe limitarse expresamente a tales realizaciones ejemplares que ilustran alguna posible combinación, no limitante, de características que pueden existir por sí solas o en otra combinación de características.  
 35

En la descripción de las realizaciones divulgadas en el presente documento, cualquier referencia a la dirección u orientación está prevista meramente para mayor comodidad de la descripción y no pretende limitar en modo alguno el alcance de la presente invención. Los términos relativos como "inferior", "superior", "horizontal", "vertical", "encima", "debajo", "arriba", "abajo", "parte superior" y "parte inferior" así como sus derivados (por ejemplo, "horizontalmente", "hacia abajo", "hacia arriba", etc.) deberán interpretarse como una referencia a la orientación que se esté describiendo en ese momento o tal y como se muestra en el dibujo del que se esté hablando. Estos términos relativos son solo para mayor comodidad de la descripción y no requieren que los aparatos se construyan u operen con ninguna orientación particular. Los términos como "sujeto", "fijado", "conectado", "acoplado", "interconectado" y similares se refieren a una relación en donde las estructuras se unen o sujetan entre sí bien directa o indirectamente a través de las estructuras intervinientes, así como a relaciones o sujeciones tanto móviles como rígidas, a no ser que se describa expresamente lo contrario.  
 40  
 45

Con referencia a las figuras 2-6, un sistema de piscina de combustible gastado aislado del medioambiente incluye una piscina de combustible gastado 40 que comprende una pluralidad de paredes laterales 41 verticales que se elevan hacia arriba desde una losa 42 o pared de base sustancialmente horizontal colindante (reconociendo que se puede proveer cierta pendiente intencionalmente en la superficie superior de la pared inferior de drenaje hacia un punto inferior si la piscina se va a vaciar y enjuagarse/descontaminarse en algún momento y debido a las tolerancias de instalación). La losa de base 42 y las paredes laterales 41 pueden estar formadas de hormigón armado en una realización no limitativa. La losa de base 42 de la piscina de combustible puede formarse en y descansar sobre el suelo de subgrado 26, cuya superficie superior define el grado G. En esta realización ilustrada en la presente solicitud, las paredes laterales están elevadas por encima del grado. En otras posibles realizaciones contempladas, la losa de base 42 y las paredes laterales 41 pueden estar enterradas alternativamente en un subgrado 26 que rodea las superficies externas de las paredes laterales. Se puede usar cualquier disposición y no limita la invención.  
 50  
 55  
 60

En una realización, la piscina de combustible gastado 40 puede tener una forma rectilínea según una vista en planta desde arriba. Se pueden proporcionar cuatro paredes laterales 41 en las que la piscina tiene una forma rectangular alargada (según una vista en planta desde arriba) con dos paredes laterales opuestas más largas y dos paredes laterales opuestas más cortas (por ejemplo, paredes de extremo). Son posibles otras configuraciones de la piscina de combustible 40, tales como formas cuadradas, otras formas poligonales y formas no poligonales.  
 65

Las paredes laterales 41 y la losa de base 42 de la piscina de combustible gastado 40 definen una cavidad 43 configurada para contener el agua W de enfriamiento de la piscina y una pluralidad de bastidores de almacenamiento 27 de combustible nuclear gastado sumergidos que sostienen grupos o conjuntos de combustible 28 conteniendo, cada uno, múltiples barras individuales de combustible nuclear gastado. Los bastidores de almacenamiento 27 están dispuestos sobre la losa de base 42 de la manera habitual. Todavía con referencia a las figuras 1-6, la piscina de combustible gastado 40 se extiende desde una plataforma operativa 22 que rodea la piscina de combustible gastado 40 hacia abajo hasta una profundidad D1 suficiente como para sumergir los conjuntos de combustible 28 (véase, por ejemplo, la figura 6) por debajo del nivel de la superficie S del agua W de la piscina a efectos de una protección adecuada contra la radiación. En una implementación, la piscina de combustible puede tener una profundidad tal que haya al menos 3,09 m (10 pies) de agua sobre la parte superior del conjunto de combustible.

Un bastidor de almacenamiento 27 del conjunto de combustible nuclear se muestra en las figuras 2 y 3, y se describe adicionalmente en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos comúnmente asignada N.º 14/367.705 presentada el 20 de junio de 2014. El bastidor de almacenamiento 27 contiene una pluralidad de celdas individuales, verticalmente alargadas, como se muestra, cada una configurada para contener un conjunto de combustible 28 que comprende una pluralidad de barras individuales de combustible nuclear. Un conjunto de combustible alargado 28 se muestra en la figura 6 que contiene múltiples barras de combustible 28a y se describe adicionalmente en la Solicitud de Patente de Estados Unidos comúnmente asignada N.º 14/413.807 presentada el 9 de julio de 2013. Los conjuntos de combustible 28 típicos para un reactor de agua a presión (PWR) pueden contener cada uno más de 150 barras de combustible en matrices de rejillas de barras de combustible de 10x10 a 17x17 por conjunto. Los conjuntos normalmente pueden tener del orden de aproximadamente 4,27 m (14 pies) de alto y un peso aproximado de 635-680 kg (1400-1500 libras) cada uno.

La plataforma operativa 22 sustancialmente horizontal que circunscribe las paredes laterales 41 y la piscina 40 por todos los lados, en una realización, puede estar formada de acero y/o hormigón armado. El nivel superficial del agua W de la piscina (es decir, el refrigerante líquido) en la piscina 40 puede estar separado por debajo de la plataforma operativa 22 por una cantidad suficiente como para evitar que se derrame sobre la plataforma durante las operaciones de carga o descarga del conjunto de combustible y para tener en cuenta un evento sísmico. En una realización no limitativa, por ejemplo, en una realización, la superficie de la plataforma operativa 22 puede estar al menos 1,52 m (5 pies) por encima del nivel máximo de inundación de 100 años para ese sitio. La piscina de combustible gastado 40 que se extiende por debajo del nivel de la plataforma operativa puede tener aproximadamente 12,19 m (40 pies) o más de profundidad (por ejemplo, 12,80 m (42 pies) en una realización). El conjunto de combustible es lo suficientemente largo como para acomodar tantos conjuntos de combustible gastado como sea necesario. En una realización, la piscina de combustible 40 puede tener aproximadamente 18,29 m (60 pies) de anchura. Hay suficiente espacio en la plataforma operativa alrededor de la piscina como para dejar espacio para el equipo de trabajo y para organizar las herramientas y equipos necesarios para el mantenimiento de la instalación. Es posible que no haya entradas en la piscina de combustible gastado 40 dentro de la parte inferior de 9,14 m (30 pies) de profundidad para evitar un drenaje accidental de agua y que el combustible gastado se quede al descubierto.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un sistema de revestimiento de piscina de combustible gastado que comprende un revestimiento doble para minimizar el riesgo de fugas del agua de la piscina al medioambiente. El sistema de revestimiento además está diseñado para acomodar la recogida y detección/monitorización de fugas de agua de enfriamiento para indicar una condición de fuga provocada por un fallo de la integridad del sistema de revestimiento.

El sistema de revestimiento comprende un primer revestimiento exterior 60 separado de un segundo revestimiento interior 61 por un espacio intersticial 62 formado entre los revestimientos. Una superficie exterior del revestimiento 60 está dispuesta contra o al menos cerca de la superficie interior 63 de las paredes laterales 41 de la piscina de combustible y la superficie interior opuesta está dispuesta cerca del espacio intersticial 62 y la superficie exterior del revestimiento 61. La superficie interior del revestimiento 61 entra en contacto y se humedece con el agua W de la piscina de combustible. Cabe señalar que la colocación del revestimiento 60 contra el revestimiento 61 sin separadores entre los mismos proporciona un espacio intersticial natural de suficiente anchura como para dejar espacio y permitir que cualquier fuga de la piscina al interior del mismo sea evacuada por un sistema de vacío, como se describe con más detalle en el presente documento. La rugosidad natural de la superficie de los materiales utilizados para construir los revestimientos y las ligeras variaciones de la planitud proporcionan el espacio o hueco necesario entre los revestimientos. En otras realizaciones contempladas, sin embargo, si se desea, pueden proporcionarse separadores metálicos o no metálicos que se distribuyen en el espacio intersticial 62 entre los revestimientos.

Los revestimientos 60, 61 pueden estar hechos de cualquier metal adecuado que sea preferentemente resistente a la corrosión, incluyendo, sin limitación, el acero inoxidable, el aluminio u otro. En algunas realizaciones, cada revestimiento puede comprender múltiples placas metálicas sustancialmente planas que se sellan soldándolas entre sí a lo largo de sus bordes periféricos para formar un sistema de revestimiento continuo que encapsula las paredes laterales 41 y la losa de base 42 de la piscina de combustible gastado 40.

Los revestimientos interior y exterior 61, 60 pueden tener el mismo grosor o diferentes grosores (medidos horizontal o verticalmente entre las principales superficies opuestas de los revestimientos dependiendo de la posición de los

revestimientos). En una realización, los grosores pueden ser los mismos. En algunos casos, sin embargo, podría ser preferible que el revestimiento interior 61 sea más grueso que el revestimiento exterior 60 para una potencial resistencia a los impactos cuando se cargan inicialmente los bastidores de almacenamiento 27 de combustible vacíos en la piscina de combustible gastado 40.

5 En una realización, los revestimientos exterior e interior 60, 61 (con espacio intersticial entre ellos) se extienden a lo largo de las paredes laterales 41 verticales de la piscina de combustible gastado 40 y completamente a través de la losa de base 42 horizontal hasta cubrir totalmente el área de superficie mojada de la piscina. Esto forma secciones horizontales 60b, 61b y secciones verticales 60a, 61a de los revestimientos 60, 61 para proporcionar una barrera impermeable a las fugas de agua W de la piscina desde la piscina de combustible gastado 40. Las secciones horizontales 60b, 61b de los revestimientos en la losa de base 42 puede unirse a las secciones verticales 60a, 61a a lo largo de las paredes laterales 41 de la piscina 40 por soldadura. El detalle en la figura 4 muestra una o varias posibles construcciones de la junta 64 de revestimiento inferior que comprende el uso de soldaduras de sellado 65 (por ejemplo, las soldaduras en ángulo ilustradas u otras) para sellar las secciones 60a a 60b a lo largo de sus respectivos bordes terminales y las secciones 61a a 61b a lo largo de sus respectivos bordes terminales, como se muestra. Preferentemente, la junta 64 está configurada y dispuesta para conectar de manera fluida el espacio intersticial 64 horizontal entre las secciones horizontales 60b, 61b de revestimiento al espacio intersticial 64 vertical entre las secciones verticales 60a, 61a de revestimiento, por razones explicadas en otra parte del presente documento.

20 La junta 65 del revestimiento superior en una realización no limitativa entre los bordes terminales superiores 60c, 61c de las secciones verticales 60a, 61a de revestimiento se muestra en detalle en la figura 5. La parte superior de la piscina de combustible gastado 40 está equipada con una placa metálica de encastrado 70, sustancialmente gruesa, que circunscribe todo el perímetro de la piscina de combustible. La placa de encastrado 70 puede ser continua en una realización y extenderse horizontalmente a lo largo de toda la superficie interna 63 de las paredes laterales 41 en la porción superior de las paredes laterales. La placa de encastrado 70 tiene una porción expuesta del lado vertical interno orientada hacia la piscina, que se extiende por encima de los extremos terminales superiores 60c, 61c de los revestimientos interior y exterior 60, 61. El lado vertical exterior opuesto de la placa 70 está completamente encastrado en las paredes laterales 41. Una superficie superior 71 de la placa de encastrado 70 orientada hacia arriba puede estar sustancialmente al ras de la superficie superior 44 de las paredes laterales 41 para formar una transición suave entre las mismas. En otras implementaciones posibles, la superficie superior 71 puede extenderse por encima de la superficie superior 44 de las paredes laterales. La placa de encastrado 70 se extiende en horizontal hacia afuera desde la piscina de combustible 40 a cierta distancia e inferior a la anchura lateral de las paredes laterales 41, como se muestra.

35 La placa de encastrado 70 tiene un grosor horizontal mayor que el grosor horizontal del revestimiento interior 61, del revestimiento exterior 60, y en algunas realizaciones, se combinan ambos revestimientos, interior y exterior.

40 La placa de encastrado 70 superior está encastrada en la superficie superior 44 de las paredes laterales 41 de hormigón, tiene suficiente profundidad o altura vertical como para permitir que los bordes terminales superiores 60c, 61c de los revestimientos 60, 61 (es decir, las secciones 60a y 61a, respectivamente) se unan permanentemente a la placa. Los bordes terminales superiores de los revestimientos 60, 61 terminan a unas distancias D2 y D1, respectivamente, por debajo de una superficie superior 71 de la placa de encastrado 70 (que en una realización puede estar al ras de la superficie superior de las paredes laterales 41 de la piscina, como se muestra). La distancia D1 es menor que D2, de modo que el revestimiento exterior 60 es verticalmente más corto en altura que el revestimiento interior 61. En una realización, la placa de encastrado 70 tiene un extremo inferior que termina por debajo de los bordes terminales superiores 60c, 61c de los revestimientos 60, 61 para facilitar la soldadura de los revestimientos a la placa.

50 En varias realizaciones, la placa de encastrado 70 puede estar formada por un metal adecuado, resistente a la corrosión, como el acero inoxidable, el aluminio u otro metal que preferentemente sea compatible para soldarse al metal usado para construir los revestimientos exterior e interior 60, 61 de la piscina sin requerir una soldadura entre metales diferentes.

55 Como se muestra mejor en la figura 5, los bordes terminales superiores 60c, 61c de los revestimientos interior y exterior 60, 61 están dispuestos verticalmente escalonados y se sueldan por separado para sellarlos a la placa de encastrado 70 superior independientemente entre sí. Una soldadura de sellado 66 acopla el borde terminal superior 61c del revestimiento 61 a la porción expuesta del lado vertical interno de la placa de encastrado 70. Una segunda soldadura de sellado 67 acopla el borde terminal superior 60c del revestimiento 60 también a la porción expuesta del lado vertical interno de la placa de encastrado 70 en una ubicación por debajo y separada verticalmente de la soldadura de sellado 66. En una realización, esto define una cámara impelente 68 de flujo confinada, completa y herméticamente sellada, que circunscribe horizontalmente todo el perímetro de la piscina de combustible gastado 40. La cámara impelente 68 de flujo está en comunicación fluida con el espacio intersticial 62, como se muestra. Un lado vertical de la cámara impelente de flujo está limitado por una porción del revestimiento interno 61 y el lado vertical opuesto de la cámara impelente está limitado por el lado vertical interno de la placa de encastrado 70 superior.

65 La cámara impelente 68 de flujo superior puede ser continua o discontinua en algunas realizaciones. Cuando es

## ES 2 762 940 T3

discontinua, es preferible que se proporcione un paso de flujo 105 en la placa de encastrado 70 superior para cada sección de las vías de paso separadas.

5 Las soldaduras de sellado 66 y 67 pueden ser cualquier tipo de soldadura adecuada necesaria para sellar los revestimientos 60, 61 a la placa de encastrado 70 superior. Se pueden usar placas de respaldo, barras u otros accesorios de soldadura similares para hacer las soldaduras en función de las necesidades, dependiendo de la configuración y de las dimensiones de las soldaduras utilizadas. La invención no está limitada por el tipo de soldadura.

10 En una realización, los revestimientos exterior e interior 60, 61 están unidos herméticamente a la piscina de combustible gastado 40 solo en la placa de encastrado 70 superior. Las porciones restantes de los revestimientos debajo de la placa de encastrado pueden estar apoyadas en contacto con las paredes laterales 41 y la losa de base 42 sin medios para fijar los revestimientos a estas porciones.

15 Cabe señalar que, en una realización, al menos el revestimiento interior 61 tiene una altura que es preferentemente mayor que el nivel de agua más alto previsto (superficie S) del agua W de la piscina. Si por alguna razón el nivel del agua la superara, la placa de encastrado 70 superior se mojará directamente por el agua de la piscina y contendrá el fluido para evitar que la piscina se desborde sobre la plataforma operativa 22.

20 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema de extracción de vapor o de vacío 100 que se utiliza para reducir la presión de aire en el espacio intersticial entre los revestimientos exterior e interior 60, 61 a un estado relativamente alto de vacío para el control y/o detección de fugas. La figura 7 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de vacío 100.

25 Con referencia a las figuras 5 y 7, el sistema de vacío 100 generalmente incluye una bomba de vacío 101 y un filtro de carbón 102. La bomba de vacío 101 puede ser cualquier bomba de vacío adecuada de accionamiento eléctrico disponible en el mercado capaz de crear un vacío o presión negativa dentro del espacio intersticial 62 entre los revestimientos 60 y 61 de piscina. La bomba de vacío 101 está conectada de forma fluida al espacio intersticial 68 a través de un conducto 103 de flujo adecuado que está acoplado de manera fluida a un indicador o vía de paso 105 de flujo que se extiende desde la superficie superior 71 de la placa de encastrado 70 superior hasta la cámara impelente 68 de flujo superior formada entre los revestimientos 60 y 61 de piscinas. El conducto 103 de flujo puede estar formado por cualquier tubo o tubería metálica o no metálica adecuada capaz de soportar el vacío. Se puede proporcionar un acoplamiento de fluido 104 configurado adecuadamente y sellado al extremo de salida de la vía de paso 105 de flujo para conectar el conducto 103 de flujo. El extremo de entrada de la vía de paso de flujo penetra en el lado vertical interno de la placa de encastrado 70 superior dentro de la cámara impelente 68 de flujo. La vía de paso 105 de flujo y el conducto 103 de flujo externo proporcionan un conducto de flujo contiguo que acopla de manera fluida la cámara impelente 68 de flujo a la bomba de vacío 101. Una válvula de retención unidireccional está dispuesta entre la cámara impelente 105 de flujo y la entrada de succión de la bomba de vacío 101 para permitir que el aire y/o vapor fluya en una única dirección desde el sistema de revestimiento hasta la bomba.

40 La presión absoluta mantenida por el sistema de vacío 100 en el espacio intersticial 62 entre los revestimientos 60, 61 (es decir, la "presión de ajuste") preferentemente debe ser tal que la temperatura del agua a granel de la piscina de combustible gastado 40 que se calienta por el calor de decaimiento generado por las barras/conjuntos de combustible esté por encima de la temperatura de ebullición del agua a la presión establecida. La siguiente tabla proporciona la temperatura de ebullición del agua al nivel de vacío en Pascales (Pa) (pulgadas de mercurio (Hg)) y representa algunos ejemplos de presiones establecidas que pueden utilizarse.

Presión en Pa (pulgadas, HgA)	Temperatura de ebullición, °C (grados F)
3386 (1)	26,1 (79)
6772 (2)	38,3 (101)
10159 (3)	46,1 (115)
13545 (4)	51,7 (125)
16931 (5)	56,1 (133)

50 Cualquier aumento significativo de la presión indicaría una posible fuga de agua en el espacio intersticial 62 entre los revestimientos 60, 61. Debido a las condiciones subatmosféricas mantenidas por la bomba de vacío 101 en el espacio intersticial, cualquier fuga de agua que pueda escaparse de la piscina al interior de este espacio a través del revestimiento interior 61 se evaporará, haciendo que aumente la presión, que puede ser monitorizada y detectada por un sensor de presión 104. La bomba de vacío 101 preferentemente debería estar configurada para funcionar y reducir la presión en el espacio intersticial 62 a la "presión establecida".

55 En funcionamiento, a modo de ejemplo no limitativo, si se opera la bomba de vacío 101 para crear una presión negativa (vacío) en el espacio intersticial 62 de 6772 Pa (2 pulgadas de Hg), el punto de ebullición correspondiente del agua a esa presión negativa es de 38,33 grados Celsius (101 grados Fahrenheit o F) de la tabla anterior. Si la temperatura del agua a granel del agua W de la piscina en la piscina de combustible gastado 40 estuviera a cualquier temperatura

superior a 38,33 °C (101 grados F) y se produjera una fuga a través del revestimiento interior 61 de la piscina al interior del espacio intersticial 62, la fuga de líquido se evaporaría inmediatamente en el mismo creando vapor o un gas. La bomba de vacío 101 extrae el vapor a través de la cámara impelente 68 de flujo, la vía de paso 105 de flujo en la placa de encastrado 70 superior y el conducto 103 de flujo (véase, por ejemplo, las flechas de flujo direccional del vapor de agua de las figuras 5 y 7). El sensor de presión 104 dispuesto en el lado de succión de la bomba 101 detectaría un aumento de la presión correspondiente indicativo de una fuga potencial en el sistema de revestimiento. En algunas realizaciones, el sensor de presión 104 puede estar operativamente conectado a un panel de control de un sistema de monitorización de planta 107 basado en un procesador informático configurado adecuadamente que monitoriza y detecta la presión medida en el espacio intersticial 62 entre los revestimientos de manera continua o intermitente para alertar a los operadores de una potencial condición de fuga de la piscina. Tales sistemas de monitorización de planta son bien conocidos en la técnica sin entrar en más detalles.

El vapor extraído a través de un elemento de escape o descarga de la bomba de vacío 101 se dirige a través de un dispositivo de filtración 102 adecuado, como un filtro de carbón u otro tipo de medio filtrante antes de su descarga a la atmósfera, evitando así la liberación de partículas contaminantes al medioambiente.

Ventajosamente, cabe señalar que si se detectan fugas de la piscina de combustible gastado 40 a través del sistema de vacío 100, el segundo revestimiento exterior 60 que encapsula la piscina de combustible proporciona una barrera secundaria y una línea de defensa para evitar fugas directas del agua W de la piscina al medioambiente.

Cabe señalar que no hay límite en cuanto al número de sistemas de extracción de vapor que se pueden proporcionar, incluyendo una vía de paso indicadora, una combinación de bomba de vacío y filtro con capacidades de monitorización/detección de fugas. En algunos casos, cuatro sistemas independientes pueden proporcionar una redundancia adecuada. Además, también se reconoce que se puede agregar una tercera o incluso una cuarta capa de revestimiento para aumentar el número de barreras contra las fugas del agua de piscina al medioambiente. En algunos casos se puede usar una tercera capa como medida paliativa si, por cualquier razón, no fuera posible probar la estanqueidad a las fugas del primer espacio entre revestimientos mediante un examen de alta fidelidad este ámbito, como una espectroscopía de helio.

Si bien la descripción y los dibujos anteriores representan realizaciones ejemplares de la presente divulgación, se entenderá que se pueden realizar varias adiciones, modificaciones y sustituciones en la misma sin desviarse del alcance de la invención tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas. Además, pueden realizarse numerosas variaciones en los métodos/procesos descritos en el presente documento dentro del alcance de las reivindicaciones. Un experto en la materia además apreciará que las realizaciones pueden usarse con muchas modificaciones en cuanto a estructura, disposición, proporciones, tamaños, materiales y componentes y usarse de otro modo en la práctica de la divulgación, para que estén especialmente adaptadas a entornos específicos y requisitos operativos. Por lo tanto, las realizaciones divulgadas actualmente deben considerarse en todos los aspectos como ilustrativas y no restrictivas.

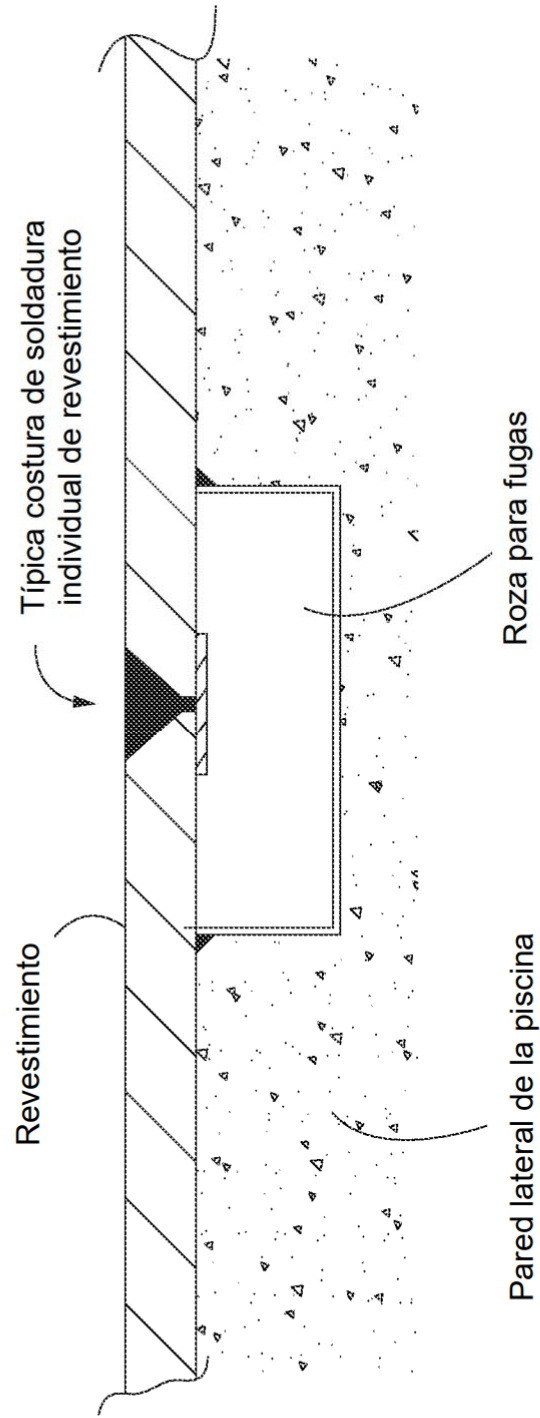
REIVINDICACIONES

1. Un sistema de piscina de combustible nuclear gastado aislado del medioambiente que comprende:

- 5 una losa de base (42);  
 una pluralidad de paredes laterales (41) verticales que se extienden hacia arriba desde y colindantes a la losa de base (42), formando las paredes laterales un perímetro;  
 una cavidad (43) definida colectivamente por las paredes laterales (41) y la losa de base (42) que en uso contiene el agua (W) de la piscina;
- 10 un sistema de revestimiento de piscina que comprende un revestimiento exterior (60) adyacente a las paredes laterales (41), un revestimiento interior (61) adyacente al revestimiento exterior y en uso mojado por el agua (W) de la piscina y un espacio intersticial (62) formado entre los revestimientos;  
 una placa de encastrado superior (70) que circunscribe el perímetro de la piscina en una superficie superior de las paredes laterales (41) colindantes a la cavidad (43); y
- 15 teniendo los revestimientos interior y exterior (61, 60) extremos terminales superiores unidos de manera estanca a la placa de encastrado (70); estando el sistema **caracterizado por** comprender, además:
- una cámara impelente (68) de flujo formada en los bordes terminales superiores (61c, 60c) de los revestimientos interior y exterior (61, 60) a lo largo de las paredes laterales (41), estando la cámara impelente de flujo en comunicación fluida con el espacio intersticial (62), y una vía de paso (105) de flujo formada a través de la placa de encastrado superior (70) que está en comunicación fluida con la cámara impelente de flujo, teniendo la vía de paso de flujo un extremo de salida que penetra en una superficie superior (71) de la placa de encastrado superior;
- 20 comprendiendo además el sistema una bomba de vacío (101) acoplada de manera fluida a la cámara impelente (68) de flujo, siendo la bomba de vacío operable para evacuar el espacio intersticial (62) a una presión de ajuste negativa por debajo de la presión atmosférica; circunscribiendo la placa de encastrado superior (70) el perímetro de la piscina, estando la placa de encastrado, encastrada en las paredes laterales (41) colindantes a la cavidad;
- 25 estando los revestimientos interior y exterior (61, 60) unidos a la placa de encastrado superior (70) en una relación escalonada para formar la cámara impelente (68) de flujo; y  
 estando la bomba de vacío (101) acoplada de manera fluida a la cámara impelente (68) de flujo a través de la placa de encastrado superior (70);
- 30
- en donde los bordes terminales superiores (61c, 60c) de los revestimientos interior y exterior están soldados por separado a la placa de encastrado superior para formar la cámara impelente de flujo.
- 35
2. El sistema de piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde una porción horizontal de los revestimientos interior y exterior (61, 60) se extiende y cubre la losa de base (42) entre paredes laterales (41) opuestas, formando las porciones horizontales de los revestimientos interior y exterior y las porciones que cubren las paredes laterales una barrera continua que en uso encapsula el agua (W) de la piscina.
- 40
3. El sistema de piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la cámara impelente (68) de flujo se extiende alrededor de todo el perímetro de la piscina de combustible gastado.
- 45
4. El sistema de piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el revestimiento interior (61), el revestimiento exterior (60) y la placa de encastrado superior (70) están hechos del mismo material metálico.
5. El sistema de piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende al menos un bastidor de almacenamiento (27) de combustible dispuesto sobre la losa de base (42), teniendo el bastidor de almacenamiento una pluralidad de celdas configuradas cada una para contener un conjunto de combustible nuclear gastado (28) que contiene barras (28a) de combustible nuclear.
- 50
6. La piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la vía de paso (105) de flujo acopla de manera fluida la bomba de vacío (101) al espacio intersticial (62).
- 55
7. La piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 6, que además comprende un sensor de presión (104) dispuesto en un conducto (103) de flujo que acopla de manera fluida una entrada de succión de la bomba de vacío (101) a la vía de paso (105) de flujo.
- 60
8. La piscina de combustible gastado de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende un sistema de monitorización de planta basado en un procesador informático (107) que está adaptado para monitorizar y detectar una presión medida en el espacio intersticial (62) entre los revestimientos interno y externo (61, 60).
9. Un método para detectar fugas de una piscina de combustible nuclear gastado de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método:
- 65



- proporcionar la piscina de combustible gastado que comprende la pluralidad de paredes laterales (41), la losa de base (42), la cavidad (43) que contiene agua (W) de enfriamiento y el sistema de revestimiento dispuesto en la cavidad, incluyendo el revestimiento exterior (60), el revestimiento interior (61) y el espacio intersticial (62) entre los revestimientos;
- 5 colocar un bastidor de almacenamiento (27) de combustible en la piscina;  
insertar al menos un conjunto de combustible nuclear (28) en el bastidor de almacenamiento, incluyendo el conjunto de combustible una pluralidad de barras (28a) de combustible nuclear gastadas;  
calentar el agua (W) de enfriamiento en la piscina a una primera temperatura a partir del calor de decaimiento generado por las barras (28a) de combustible nuclear gastadas;
- 10 formar un vacío en el espacio intersticial (62) con la bomba de vacío (101) a una presión negativa que tiene una temperatura de punto de ebullición correspondiente menor que la primera temperatura;  
recoger el agua (W) de enfriamiento que se fuga de la piscina a través del sistema de revestimiento en el espacio intersticial (62);
- 15 convertir las fugas de agua (W) de enfriamiento en vapor por ebullición; y  
extraer el vapor del espacio intersticial (62) utilizando la bomba de vacío (101);  
en donde la presencia de vapor en el espacio intersticial (62) permite la detección de una ruptura del revestimiento.
10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, que además comprende descargar el vapor extraído por la bomba de vacío (101) a través de un filtro de carbón (102) para eliminar contaminantes.
- 20 11. El método de acuerdo con la reivindicación 9, que además comprende:
- 25 monitorizar una presión en el espacio intersticial (62);  
detectar una primera presión en el espacio intersticial (62) antes de recoger el agua (W) de enfriamiento que se fuga de la piscina a través del sistema de revestimiento en el espacio intersticial;  
detectar una segunda presión más alta que la primera presión después de recoger el agua de enfriamiento que se fuga de la piscina a través del sistema de revestimiento en el espacio intersticial (62);  
en donde la segunda presión está asociada con una condición de fuga de agua de enfriamiento.



**FIG. 1**  
(Técnica anterior)



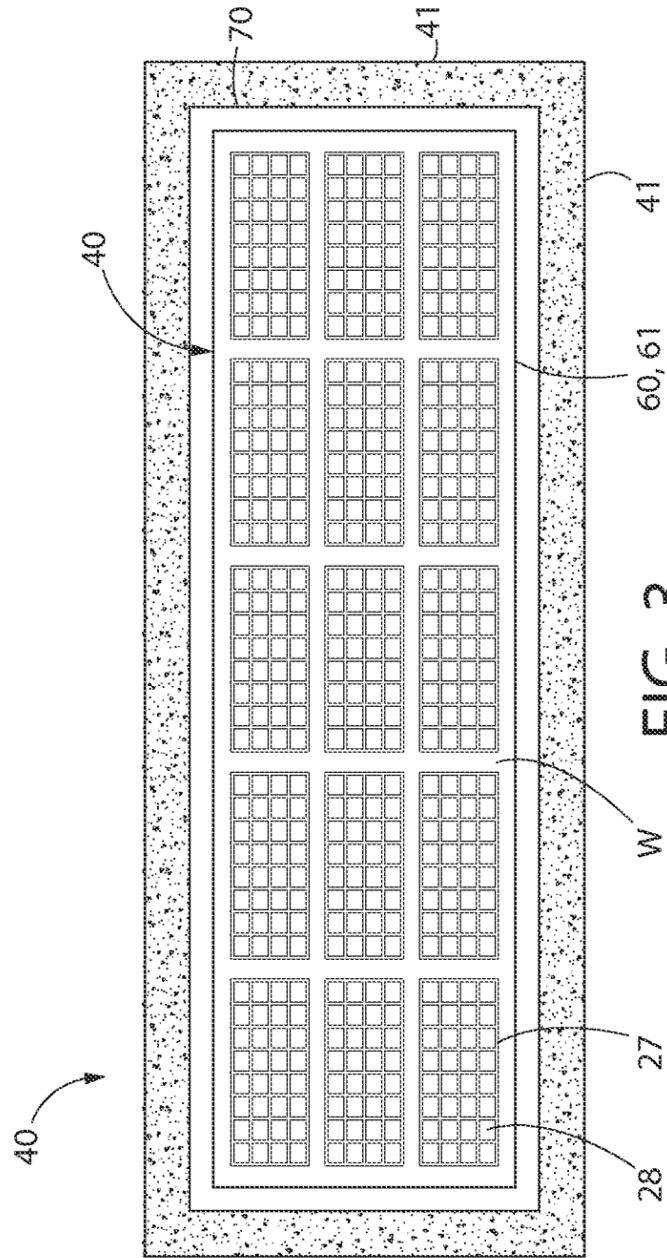


FIG. 3

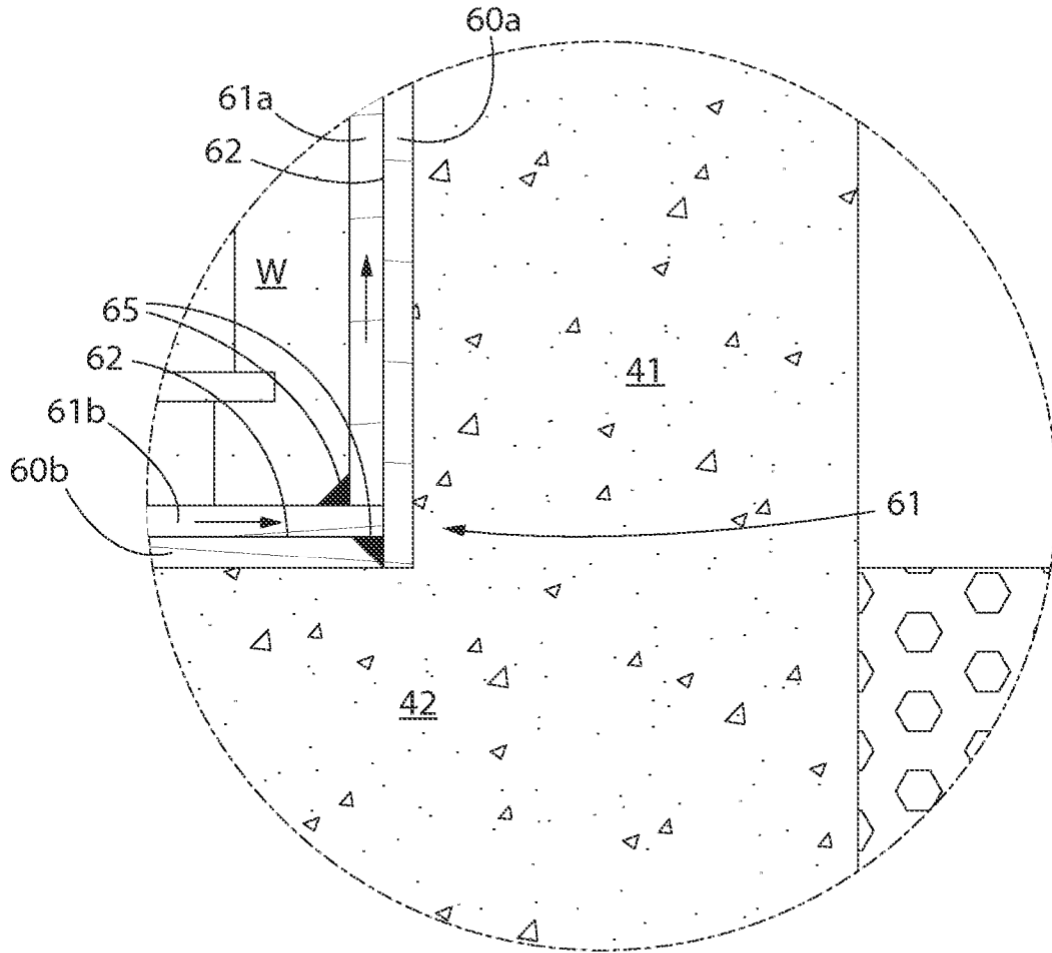


FIG. 4

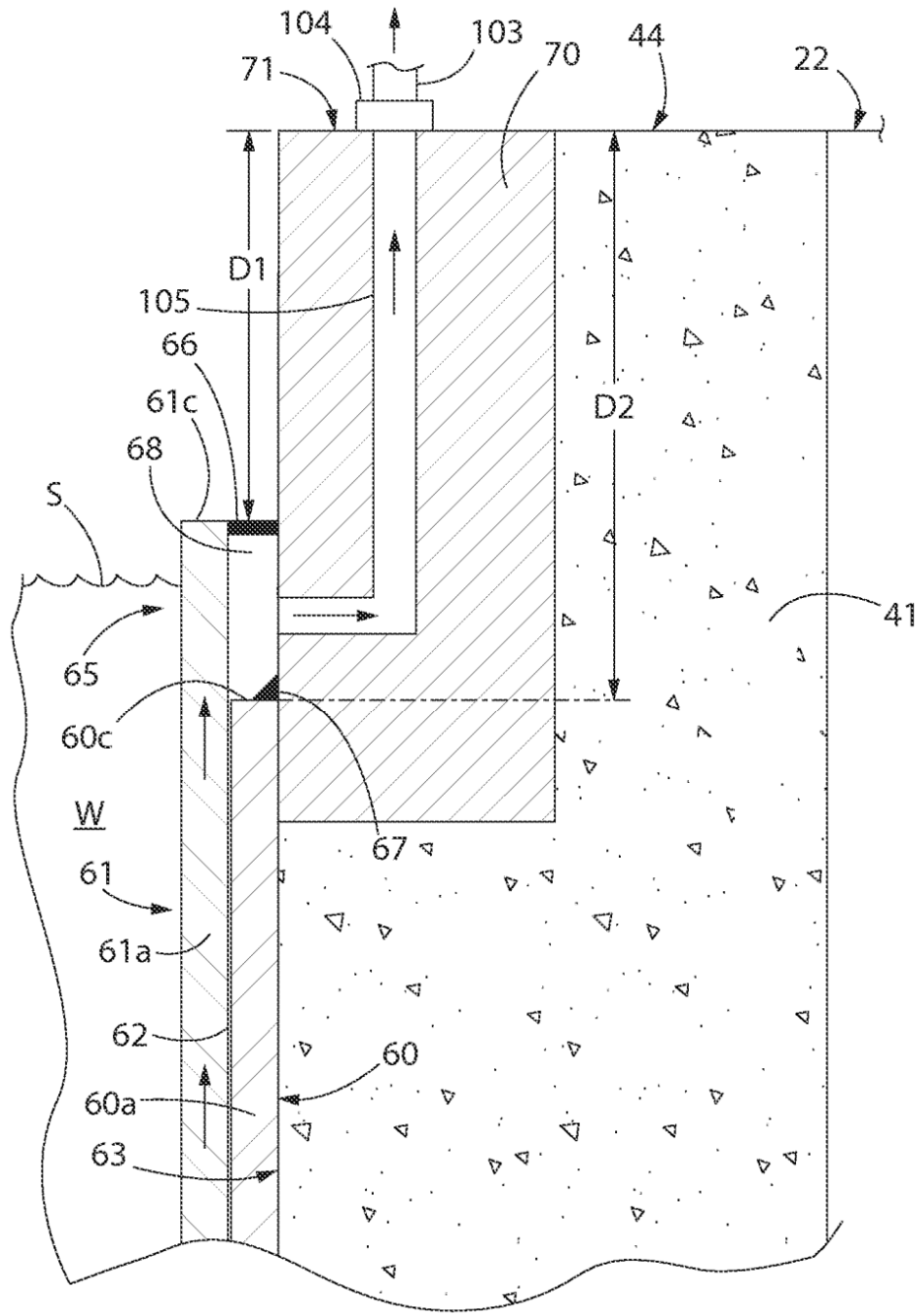


FIG. 5

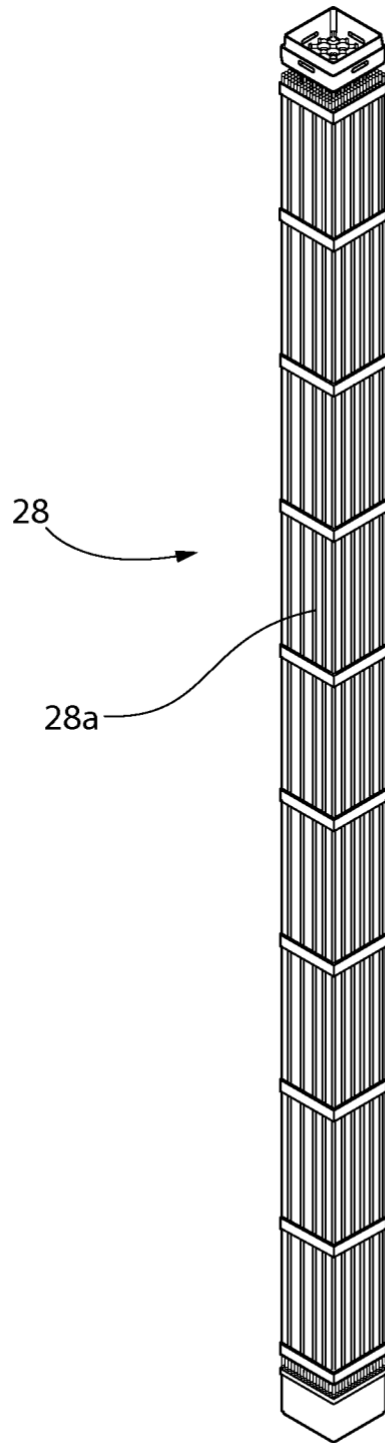


FIG. 6

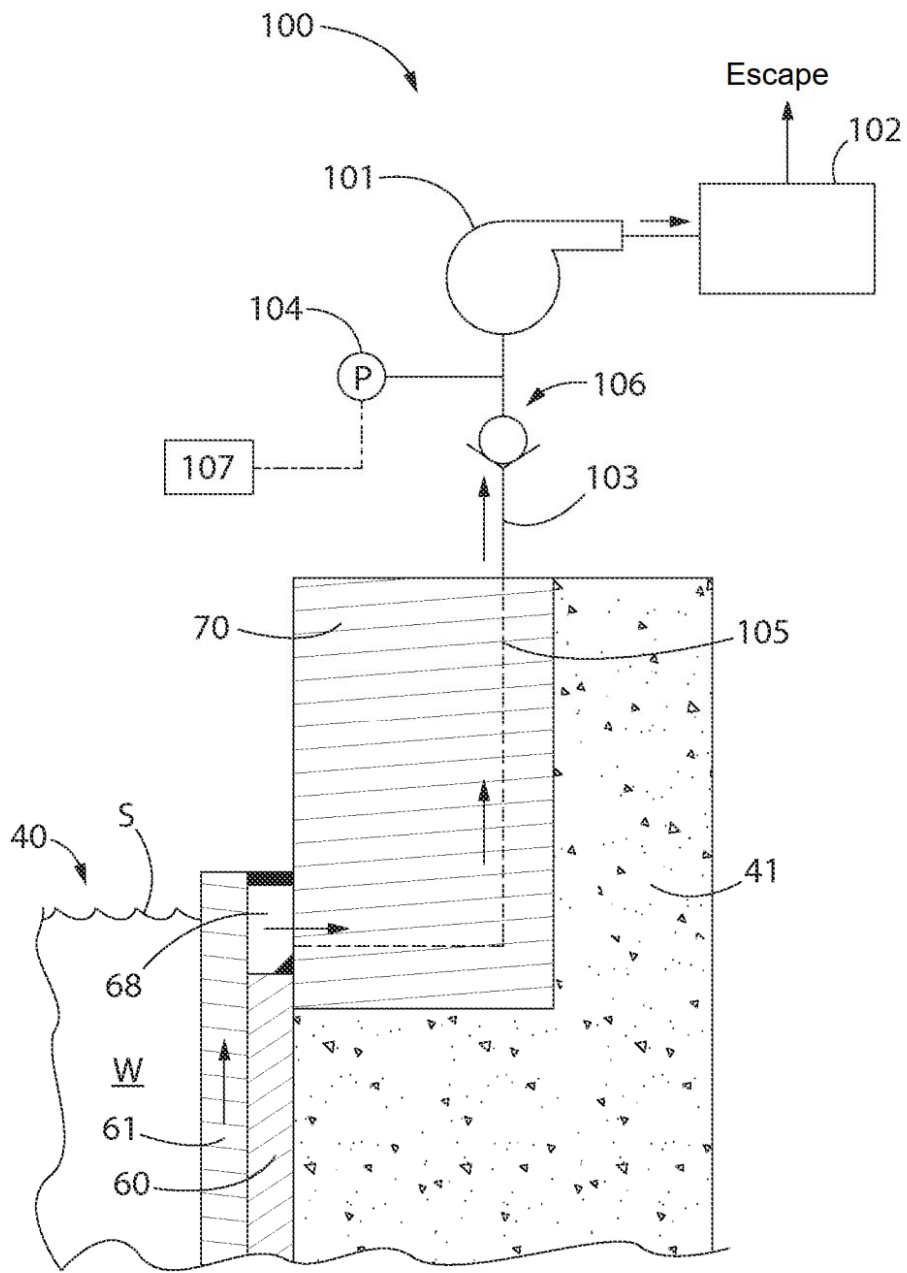


FIG. 7