



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 320 675**

(51) Int. Cl.:

**G21C 19/06** (2006.01)

**G21F 5/00** (2006.01)

**G21F 9/24** (2006.01)

**G21F 9/34** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **05251655 .6**

(96) Fecha de presentación : **18.03.2005**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1585141**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **12.10.2005**

(54) Título: **Sistemas y métodos para almacenar desechos radioactivos de actividad alta.**

(30) Prioridad: **18.03.2004 US 803620**  
**10.02.2005 US 54869**  
**10.02.2005 US 54897**  
**10.02.2005 US 54898**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.05.2009**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.05.2009**

(73) Titular/es: **Holtec International, Inc.**  
**555 Lincoln Drive West**  
**Marlton, New Jersey 08053, US**

(72) Inventor/es: **Singh, Krishna P.**

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 320 675 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

Sistemas y métodos para almacenar desechos radioactivos de actividad alta.

5 **Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

La presente solicitud reivindica prioridad de la solicitud de patente de Estados Unidos 11/054.869, presentada el 10 de febrero de 2005, solicitud de patente de Estados Unidos 11/054.897, presentada el 10 de febrero de 2005, solicitud de patente de Estados Unidos 11/054.898, presentada el 10 de febrero de 2005, la totalidad de las cuales reivindica  
10 prioridad de la solicitud de patente de Estados Unidos 10/803.620, presentada el 18 de marzo de 2004.

**Campo de la invención**

La presente invención se refiere, en general, al campo del almacenamiento de desechos radioactivos de actividad alta y, específicamente, a sistemas y métodos para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, en módulos verticales ventilados.

**Antecedentes de la invención**

En el funcionamiento de reactores nucleares, es habitual retirar conjuntos combustibles después de que su energía se ha reducido hasta un nivel predeterminado. Al ser retirado, este combustible nuclear gastado es todavía altamente radioactivo y produce considerable calor, requiriendo que se ponga gran cuidado en su envasado, transporte y almacenamiento. Con el fin de proteger el medio ambiente contra exposición a la radiación, el combustible nuclear gastado es colocado primero en una cápsula. La cápsula cargada es luego transportada y almacenada en grandes contenedores cilíndricos llamados barriles. Se usa un barril de transferencia para transportar de un lugar a otro combustible nuclear  
25 gastado mientras que se usa un barril de almacenamiento para almacenar combustible nuclear gastado durante un período determinado de tiempo.

En una central nuclear típica, primero se coloca una cápsula vacía abierta en un barril de transferencia abierto. El barril de transferencia y la cápsula vacía se sumergen entonces en una balsa de agua. Se carga el combustible nuclear gastado en la cápsula mientras la cápsula y el barril de transferencia permanecen sumergidos en la balsa de agua. Una vez que se ha completado la carga del combustible nuclear gastado, típicamente se coloca una tapa encima de la cápsula mientras se encuentra en la balsa. Luego se retiran de la balsa de agua el barril de transferencia y la cápsula, se suelda la tapa de la cápsula sobre ellos y se instala una tapa sobre el barril de transferencia. Entonces la cápsula es adecuadamente desprovista del agua y es llenada con gas inerte. El barril de transferencia (que contiene la cápsula  
35 cargada) es transportado luego a un lugar en el que está situado un barril de almacenamiento. La cápsula cargada es transferida después desde el barril de transferencia al barril de almacenamiento para almacenamiento a largo plazo. Durante la transferencia desde el barril de transferencia al barril de almacenamiento, es imperativo que la cápsula cargada no sea expuesta al medio ambiente.

Un tipo de barril de almacenamiento es un sobreembalaje vertical ventilado ("VVO"). Un VVO es una estructura maciza hecha principalmente de acero y hormigón que se usa para almacenar una cápsula cargada con combustible nuclear gastado. Los VVO están sobre el suelo y son típicamente de configuración cilíndrica y extremadamente pesados, pesando más de 150 toneladas y teniendo a menudo una altura de más de 4,9 m (16 pies). Los VVO tienen típicamente una parte inferior plana, un cuerpo cilíndrico con una cavidad para recibir una cápsula de combustible nuclear gastado,  
45 y una tapa superior separable.

Al usar un VVO para almacenar combustible nuclear gastado, se coloca una cápsula cargada con combustible nuclear gastado en la cavidad del cuerpo cilíndrico del VVO. A causa de que el combustible nuclear gastado está todavía produciendo una cantidad considerable de calor cuando se coloca en el VVO para almacenamiento, es necesario que esta energía calórica tenga medios para escapar desde la cavidad del VVO. Esta energía calórica es retirada desde la superficie exterior de la cápsula ventilando la cavidad del VVO. Al ventilar la cavidad del VVO, penetra aire frío en la cámara del VVO a través de conductos de ventilación inferiores, fluye hacia arriba más allá de la cápsula cargada y sale del VVO a una temperatura elevada a través de conductos de ventilación superiores. Los conductos de ventilación superiores e inferiores de los VVO existentes están situados circunferencialmente cerca de la parte inferior y la parte superior, respectivamente, del cuerpo cilíndrico de los VVO, como se ilustra en la figura 1.

Si bien es necesario que la cavidad de los VVO sea ventilada de manera que el calor pueda escapar desde la cápsula, es también imperativo que el VVO proporcione una protección adecuada contra la radiación y que el combustible nuclear gastado no sea expuesto directamente al ambiente externo. El conducto de entrada situado cerca de la parte inferior del sobreembalaje es una fuente particularmente vulnerable de exposición a la radiación para el personal de seguridad y vigilancia que, para controlar los sobreembalajes cargados, tiene que colocarse en la proximidad cercana de los conductos durante breves períodos de tiempo.

Adicionalmente, cuando una cápsula cargada con combustible nuclear gastado es transferida desde un barril de transferencia a un VVO de almacenamiento, el barril de transferencia es apilado encima del VVO de almacenamiento de manera que la cápsula puede ser bajada dentro de la cavidad del VVO de almacenamiento. La mayoría de los barriles son estructuras muy grandes y pueden pesar hasta 113.398 kg y tener una altura de 4,9 m (16 pies) o más.

El apilamiento de un barril de transferencia encima de un VVO/barril de almacenamiento necesita mucho espacio, una grúa elevada grande y posiblemente un sistema de control para estabilización. Con frecuencia dicho espacio no se encuentra disponible dentro de una central nuclear. Por último, los VVO de almacenamiento por encima del suelo están situados al menos 4,9 m (16 pies) por encima del suelo, presentando así un blanco importante para el ataque de un terrorista.

La figura 1 ilustra un VVO tradicional 2 de la técnica anterior. El VVO 2 de la técnica anterior comprende una parte inferior plana 17, un cuerpo cilíndrico 12 y una tapa 14. La tapa 14 está asegurada al cuerpo cilíndrico 12 mediante tornillos 18. Los tornillos 18 sirven para limitar la separación de la tapa 14 respecto del cuerpo 12 si el VVO 2 de la técnica anterior tuviera que volcar. El cuerpo cilíndrico 12 tiene conductos de ventilación superiores 15 y conductos de ventilación inferiores 16. Los conductos de ventilación superiores 15 están situados en o cerca de la parte superior del cuerpo cilíndrico 12 mientras que los conductos de ventilación inferiores 16 están situados en o cerca de la parte inferior del cuerpo cilíndrico 12. Tanto los conductos de ventilación inferiores 16 como los conductos de ventilación superiores 15 están situados alrededor de la circunferencia del cuerpo cilíndrico 12. La totalidad del VVO 2 de la técnica anterior está colocada por encima de la rasante.

### Descripción de la presente invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que reducen la altura del conjunto de pila cuando el barril de transferencia se apila encima de un VVO de almacenamiento.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que requiere menos espacio vertical.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que utiliza las propiedades de protección contra la radiación del subsuelo durante el almacenamiento al tiempo que proporciona una ventilación adecuada de los desechos radioactivos de actividad alta.

Un objeto más de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que proporcionan el mismo o mayor nivel de seguridad operativa que puede obtenerse dentro de una estructura de central nuclear plenamente acreditada.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que disminuyen los peligros presentados por terremotos y otros acontecimientos catastróficos y eliminan virtualmente los daños potenciales a un Centro de Comercio Mundial o del tipo del Pentágono de un ataque sobre la cápsula almacenada.

También es un objeto de la presente invención proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que permiten una transferencia ergonómica de los desechos radioactivos de actividad alta desde un barril de transferencia a un VVO de almacenamiento.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, por debajo de la rasante.

Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que reducen la cantidad de radiación emitida al medio ambiente.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema y un método para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, tal como combustible nuclear gastado, que ofrecen posibilidades adecuadas de evacuación de calor desde una cápsula almacenada durante condiciones de inundación, incluidas condiciones de "inundación inteligente".

Estos y otros objetos son satisfechos por la presente invención que, en uno de sus aspectos, es un sistema para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende: un cuerpo que tiene una cavidad para recibir y almacenar una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta, estando colocada una parte del cuerpo por debajo de la rasante; teniendo el cuerpo al menos un conducto de ventilación de entrada que se extiende desde la entrada sobre rasante hasta una salida bajo rasante en la cavidad. Disponiendo un conducto de ventilación de entrada en el cuerpo que se extiende desde por encima de la rasante hasta la cavidad en un punto por debajo de la rasante, las propiedades de protección del subsuelo contra la radiación pueden ser utilizadas para la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta sin obstruir la ventilación de la cápsula en la cavidad con aire ambiental. Cuando está cargada con un desecho radioactivo caliente de actividad alta, aire ambiental frío entrará por la entrada sobre rasante, pasará a través del conducto de ventilación de entrada y penetrará en la cavidad preferiblemente, por o cerca de su parte inferior. El calor procedente del desecho radioactivo de actividad alta calentará el aire frío haciendo que ascienda dentro de la cavidad. El aire calentado saldrá luego de la cavidad a través de un conducto de ventilación de salida situado en una tapa o en una abertura sobre rasante en el cuerpo. Así, se facilita el almacenamiento bajo rasante de la cápsula de desechos

## ES 2 320 675 T3

radioactivos de actividad alta al tiempo que se proporciona ventilación adecuada del calor al desecho radioactivo de actividad alta.

Preferiblemente, la entrada sobre rasante del conducto de ventilación de entrada es por una pared lateral del cuerpo.

- 5 Cuando la entrada sobre rasante es por la pared lateral del cuerpo, el conducto de ventilación de entrada puede tener sustancialmente forma de S alargada. A fin de proporcionar suficiente ventilación, se prefiere que estén previstos dos conductos de ventilación de entrada en el cuerpo en paredes laterales opuestas del cuerpo. Preferiblemente, están previstas rejillas de salida al exterior para cubrir las entradas sobre rasante de los conductos de ventilación de entrada.

- 10 El cuerpo está construido preferiblemente de hormigón y la cavidad y el conducto de ventilación pueden estar aislados del cuerpo de hormigón para impedir que el cuerpo se caliente más allá de los límites FSAR y para impedir que aire frío que penetre en el conducto de ventilación de entrada se caliente antes de entrar en la cavidad. El conducto de ventilación de entrada y la cavidad están contruidos preferiblemente formando una pieza entera que está herméticamente sellada, que impide la entrada de líquidos bajo rasante. Esto reduce la posibilidad de corrosión de las partes internas de la cavidad. En esta realización, puede estar prevista una envuelta de acero para forrar la cavidad, y el conducto de ventilación de entrada puede estar construido de un forro de acero. La envuelta y el conducto de ventilación de entrada pueden soldarse entonces entre sí para conseguir una junta hermética. Debajo de la cavidad puede estar dispuesta una placa inferior que es también entera con la envuelta y el conducto de ventilación de entrada. El sistema puede comprender también una base sobre la cual está colocado, tal como un bloque de hormigón reforzado.

- 20 El sistema puede tener también bloques de soporte situados en la parte inferior/piso de la cavidad. Preferiblemente, estos bloques de soporte estarán circunferencialmente espaciados y proporcionarán una cámara de aire de entrada entre una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta y la superficie inferior de la cavidad cuando la cápsula está colocada en la cavidad para almacenamiento. La existencia de la cámara de aire de entrada ayudará a facilitar una ventilación óptima de la cavidad. Los bloques de soporte pueden estar hechos de acero con bajo contenido en carbono. Como se describe en lo que sigue, en algunos aspectos de la invención, la altura relativa entre los bloques de soporte y la salida bajo rasante (es decir, la abertura) del conducto de ventilación de entrada dentro de la cavidad protegerá contra sobrecalentamiento durante condiciones de inundación.

- 30 Durante el almacenamiento de un desecho radioactivo de actividad alta, el sistema preferiblemente comprenderá además una tapa colocada encima del cuerpo y cubriendo la cavidad. Preferiblemente, cuando una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta sea colocada en la cavidad y la tapa sea colocada encima del cuerpo que encierra la cavidad, existe una cámara de aire de salida entre la cápsula y la tapa. Es también preferible que la tapa comprenda un anillo de cizalladura que sobresalga dentro de la cavidad cuando la tapa esté colocada encima del cuerpo. El anillo de cizalladura ofrece una enorme resistencia a la cizalladura contra fuerzas laterales provenientes de terremotos, misiles de impacto u otros proyectiles, manteniendo, por tanto, la integridad de protección contra la radiación del sistema.

- 40 La tapa comprende preferiblemente también al menos un conducto de ventilación de salida para permitir que el aire calentado salga de la cavidad. Este conducto de ventilación de salida puede ser, por ejemplo, un pasillo horizontal en una pared lateral de la tapa. En esta realización, los conductos de ventilación de salida de la tapa están circunferencial y acimutalmente separados de la entrada sobre rasante de los conductos de ventilación de entrada del cuerpo. Esto ayuda a impedir que el aire calentado que sale de la cavidad a través de la tapa sea arrastrado de nuevo al interior de los conductos de ventilación de entrada del cuerpo y de nuevo al interior de la cavidad. En otras realizaciones, los conductos de ventilación de salida pueden estar situados en el cuerpo del propio VVO.

- 45 Se prefiere que una mayor parte del cuerpo esté colocada por debajo de la rasante, y más preferiblemente que el cuerpo se extienda aproximadamente menos de 107 cm (42 pulgadas) por encima de la rasante. Se prefiere también que una mayor parte de la altura de la cavidad se encuentre por debajo de la rasante de manera que cuando una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta sea bajada dentro de la cavidad, al menos una mayor parte de la cápsula esté por debajo de la rasante. Más preferiblemente, la totalidad de la cápsula se encontrará por debajo de la rasante durante el almacenamiento.

- 55 En otro aspecto, la invención es a un método de almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende: proporcionar el sistema descrito en lo que antecede y tener al menos un conducto de ventilación de salida; bajar un desecho radioactivo de actividad alta dentro de la cavidad de manera que una mayor parte de la cápsula esté por debajo de la rasante; y poner una tapa encima del cuerpo para encerrar la cavidad; en que la ventilación de la cápsula es proporcionada por el aire frío que penetra en la cavidad a través del conducto de ventilación de entrada del cuerpo, siendo calentado el aire frío dentro de la cavidad por el desecho radioactivo de actividad alta, y saliendo de la cavidad aire caliente a través del conducto de ventilación de salida. El sistema utilizado para ejecutar el método de la presente invención puede contener cualesquiera particulares de diseño descritos en lo que antecede.

- 65 En aún otro aspecto, la invención es un sistema para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende: un cuerpo que tiene una cavidad para recibir y almacenar una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta, teniendo la cavidad una parte superior, una parte inferior y una superficie inferior; formando al menos un conducto de ventilación de entrada un pasillo desde una entrada de aire ambiental hasta una salida en o cerca de la parte inferior de la cavidad; formando al menos un conducto de ventilación de salida un pasillo desde o desde cerca de la parte superior de la cavidad hasta el aire ambiental; y medios para soportar una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que se crea una cámara de aire entre una parte inferior de la cápsula de desechos

radioactivos de actividad alta y la supervise inferior de la cavidad; sustentando los medios de soporte la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que una parte inferior de la cápsula está más baja que una parte superior de la salida. Preferiblemente, los medios de soporte sustentan la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que la parte inferior de la cápsula está al menos 5 cm (dos pulgadas) por debajo de la parte superior de la salida.

En este aspecto de la invención, el cuerpo del VVO puede estar total o parcialmente por encima de la rasante. En una realización en que al menos una parte del cuerpo está situada por debajo de la rasante, la entrada de aire ambiental del conducto de ventilación de entrada puede estar por encima de la rasante mientras que la salida del conducto de ventilación de entrada está por debajo de la rasante.

En una realización de este aspecto de la invención, en que la totalidad del cuerpo está por encima de la rasante, tanto la entrada de aire ambiental como la salida del conducto de ventilación de entrada pueden estar por encima de la rasante. En esta realización, el conducto de ventilación de entrada estará configurado de manera que no exista una línea visual para una cápsula sustentada por los medios de soporte desde la entrada de aire ambiental. Por ejemplo, el conducto de ventilación de entrada puede comprender una parte en L, en ángulo, forma de S, o curvada. Esto es realizado para impedir que la radiación emitida por la cápsula "brille" dentro del medio ambiente circundante.

En todavía otro aspecto, la invención es un sistema para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende: una envuelta que forma una cavidad para recibir una cápsula de desecho radioactivo de actividad alta, estando al menos una parte de la envuelta situada por debajo de la rasante; y al menos un conducto de ventilación de entrada que se extiende desde una entrada sobre rasante hasta una salida bajo rasante en o cerca de una parte inferior de la cavidad; estando conectado el conducto de ventilación de entrada con la envuelta de manera que la cavidad está herméticamente cerrada a la entrada de fluidos bajo rasante.

En todavía otro aspecto, la invención es un método de almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende: practicar un hoyo bajo rasante; proporcionar un sistema que comprende una envuelta que forma una cavidad para recibir una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta, estando situada al menos una parte de la envuelta por debajo de la rasante, y al menos un conducto de ventilación de entrada que se extiende desde una entrada hasta una salida en o cerca de una parte inferior de la cavidad, estando conectado el conducto de ventilación de entrada con la envuelta; colocar el aparato en el hoyo de manera que la entrada del conducto de ventilación de entrada esté por encima de la rasante y la salida del conducto de ventilación de entrada dentro de la cavidad esté por debajo de la rasante; llenar el hoyo con relleno tecnológico; y bajar una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta dentro de la cavidad.

En otro aspecto, la invención es un sistema para almacenar desechos radioactivos de actividad alta que comprende: una envuelta que forma una cavidad para recibir una cápsula de desecho radioactivo de actividad alta, estando situada al menos una parte de la envuelta por debajo de la rasante; y al menos un conducto de ventilación que forma un pasillo desde o desde cerca de la parte superior de la cavidad hasta la atmósfera; en que la cavidad está herméticamente cerrada a la entrada de fluidos bajo rasante.

En otro aspecto, la invención es un método de almacenar desechos radioactivos de actividad alta y poco calor, que comprende: proporcionar un sistema que comprende una envuelta que forma una cavidad para recibir una cápsula de desecho radioactivo de actividad alta, estando situada al menos una parte de la envuelta por debajo de la rasante, y al menos un conducto de ventilación que forma un pasillo desde o desde cerca de la parte superior de la cavidad hasta la atmósfera; en que la cavidad está herméticamente cerrada a la entrada de fluidos bajo rasante; y bajar una cápsula de desecho radioactivo de actividad alta y poco calor dentro de la cavidad hasta que al menos una mayor parte de la cápsula está por debajo de la rasante.

Se describirá ahora la invención con respecto a sistemas y métodos para almacenar combustible nuclear gastado entendiéndose que la invención no se limita a ningún tipo específico de desecho radioactivo de actividad alta.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en perspectiva desde arriba de un VVO de la técnica anterior.

La figura 2 es una vista en sección transversal lateral de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención que tiene una cápsula de combustible gastado colocada en su interior.

La figura 3 es una vista en perspectiva del VVO subterráneo de la figura 2 separado del suelo.

La figura 4 es una vista en perspectiva desde debajo de una realización alternativa de una tapa que ha de usarse con el VVO subterráneo de la figura 2.

La figura 5 es una vista en perspectiva de un grupo de VVOs subterráneos de acuerdo con una realización de la presente invención almacenado en una ISFSI.

La figura 6 es una vista en sección transversal lateral de la zona VI-VI de la figura 2.

## ES 2 320 675 T3

La figura 7 es una vista en planta desde arriba del VVO subterráneo de la figura 2 separado del suelo y con la cápsula de combustible gastado separada de la cavidad y la tapa retirada.

La figura 8A es una vista en sección transversal esquemática de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención que tiene una primera configuración alternativa de los conductos de ventilación de entrada y salida.

La figura 8B es una vista en sección transversal esquemática de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención que tiene una segunda configuración alternativa de los conductos de ventilación de entrada y salida.

La figura 8C es una vista en sección transversal esquemática de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención que tiene una tercera configuración alternativa de los conductos de ventilación de entrada y salida.

La figura 8D es una vista en sección transversal esquemática de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención, en que el cuerpo del VVO subterráneo está en esencia enrasado con el suelo.

La figura 8E es una vista en sección transversal esquemática de un VVO subterráneo de acuerdo con una realización de la presente invención, en que el cuerpo del VVO subterráneo está en esencia enrasado con el suelo y QUE tiene una configuración alternativa de los conductos de entrada y salida.

La figura 9 es una vista en perspectiva desde arriba de una estructura enteriza para almacenar combustible nuclear gastado de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 10 es un esquema de la estructura enteriza de la figura 9 bajada dentro de un hoyo bajo rasante y colocada encima de una base.

La figura 11 es un esquema de la disposición de la figura 10, en que el hoyo bajo rasante está siendo llenado con tierra.

La figura 12 es un esquema que ilustra la disposición de la figura 10, en que el hoyo bajo rasante está completamente lleno de tierra.

La figura 13 es un esquema que ilustra la disposición de la figura 12, en que una cápsula de combustible gastado está cargada en la estructura enteriza y la tapa está colocada sobre ella.

La figura 14 es una vista esquemática de una estructura enteriza de acuerdo con una realización de la presente invención que tiene una configuración alternativa para los conductos de ventilación de entrada y salida.

La figura 15 es una vista esquemática de una estructura enteriza para almacenar combustible gastado con poco calor de acuerdo con una realización de la presente invención sin conductos de ventilación de entrada.

### Descripción detallada de los dibujos

Con referencia a las figuras 2 y 3, se ilustra un VVO subterráneo 20 de acuerdo con una primera realización de la presente invención. El VVO subterráneo 20 es un sistema de almacenamiento de combustible gastado seco ventilado vertical que es totalmente compatible con barriles de transferencia de 100 toneladas y 125 toneladas para operaciones de transferencia de cápsulas de combustible gastado. El VVO subterráneo 20 puede ser modificado/diseñado para que sea compatible con cualquier tamaño o estilo de barril de transferencia. El VVO subterráneo 20 está diseñado para aceptar cápsulas de combustible gastado para almacenamiento en una Instalación de Almacenamiento de Combustible Gastado Independiente ("ISFSI") en lugar de en sobreembalajes sobre rasante (tales como los VVO 2 de la técnica anterior ilustrados en la figura 1). Todos los tipos de cápsula de combustible gastado concebidos tecnológicamente para almacenamiento en modelos de sobreembalajes autónomos y anclados pueden ser almacenados en el VVO subterráneo 20.

Tal como se usa en esta memoria, el término "cápsula" incluye en general cualesquiera aparatos de contención de combustible gastado, incluidos, sin limitación alguna, cápsulas de usos múltiples y barriles térmicamente conductores. Por ejemplo, en algunas zonas del mundo, el combustible gastado es transferido y almacenado en barriles de metal que tienen rejilla/cesta en panal de abejas hechas directamente en el barril de metal. Tales barriles y aparatos de contención similares se califican como cápsulas, como ese término es usado en esta memoria, y pueden ser usados en unión del VVO subterráneo 20 como se describe en lo que sigue.

El VVO subterráneo 20 comprende un cuerpo 21, una base 22 y una tapa separable 41. El cuerpo 21 está construido de hormigón, pero puede estar construido de otros materiales adecuados. El cuerpo 21 es de configuración rectangular pero puede ser de cualquier configuración tal como, por ejemplo, cilíndrica, cónica, esférica, semiesférica, triangular o irregular. Una parte del cuerpo 21 está situada por debajo de la rasante de manera que solamente una parte superior 24 sobresale por encima del nivel de la rasante 23. Preferiblemente, al menos una mayor parte de la altura del cuerpo

## ES 2 320 675 T3

21 está situada por debajo de la rasante. La altura exacta que la parte superior 24 del cuerpo 21 se extiende por encima del nivel del suelo 23 puede variarse en gran medida y dependerá de una multitud de consideraciones de diseño, tales como las dimensiones de las cápsulas, los niveles de radioactividad del combustible gastado que ha de almacenarse, las limitaciones de espacio de ISFSI, el lugar geográfico teniendo en consideración la vulnerabilidad frente a ataques del tipo de misil y terrestres, situación geográfica teniendo en consideración la frecuencia de desastres naturales y la vulnerabilidad frente a desastres naturales (tales como terremotos, inundaciones, tornados, huracanes, tsunamis, etc.), condiciones ambientales (tales como temperatura, niveles de precipitación) y/o niveles freáticos. Preferiblemente, la parte superior 24 del cuerpo 21 está menos de aproximadamente 107 cm (42 pulgadas) por encima del nivel del suelo 23, y más preferiblemente alrededor de 15 a 91 cm (6 a 36 pulgadas) por encima del nivel del suelo 23.

En algunas realizaciones, puede incluso ser preferible que la altura total del cuerpo 21 esté por debajo de la rasante (como se ilustra en las figuras 8D y 8E). Como se describirá con más detalle en lo que sigue, cuando la altura total del cuerpo está por debajo de la rasante, solamente la superficie superior del cuerpo estará expuesta al aire ambiente por encima de la rasante.

Haciendo todavía referencia a las figuras 2 y 3, el cuerpo 21 forma una cavidad cilíndrica 26 en él (mostrado mejor en la figura 3). Si bien la cavidad 26 es de configuración cilíndrica, la cavidad 26 no está limitada a ningún tamaño, configuración y/o profundidad específicos y puede estar diseñada para recibir y almacenar casi cualquier forma de cápsula sin apartarse del espíritu de la invención. Aunque no es necesario para poner en práctica la invención, se prefiere que el tamaño y la configuración en sección transversal horizontal de la cavidad 26 estén diseñados para que se correspondan generalmente con el tamaño y la configuración en sección transversal horizontal del tipo de cápsula que ha de usarse en unión de ese VVO subterráneo particular. Más específicamente, es deseable que el tamaño y la configuración de la cavidad 26 estén diseñados de manera que cuando una cápsula de combustible gastado (tal como la cápsula 70) sea colocada en la cavidad 26 para almacenamiento, exista una pequeña holgura entre las paredes laterales exteriores de la cápsula y las paredes laterales de la cavidad 26.

El diseño de la cavidad 26 de manera que esté formada una pequeña holgura entre las paredes laterales de la cápsula almacenada y las paredes laterales de la cavidad 26 limita el grado en que la cápsula puede moverse dentro de la cavidad durante un acontecimiento catastrófico, reduciendo con ello al mínimo los daños a la cápsula y las paredes de la cavidad e impidiendo que la cápsula vuelque dentro de la cavidad. Esta pequeña holgura facilita también el flujo del aire calentado durante el enfriamiento del combustible nuclear gastado. El tamaño exacto de la holgura puede ser controlado/diseñado para conseguir la dinámica deseada del flujo de fluido y capacidades de transferencia de calor para cualquier situación dada. En algunas realizaciones, por ejemplo, la holgura puede ser de 2,5 a 7,5 cm (1 a 3 pulgadas). Una pequeña holgura reduce también la corriente de radiación.

En el cuerpo 21 están previstos dos conductos de ventilación de entrada 25 para proporcionar ventilación de entrada a la parte inferior de la cavidad 26. Los conductos de ventilación de entrada 25 son pasillos alargados sustancialmente en forma de S que se extienden desde entradas sobre rasante 27 hasta salidas bajo rasante 28. Las entradas sobre rasante 27 están situadas en paredes laterales opuestas de la parte superior 24 del cuerpo 21 y abiertas al aire ambiente por encima del nivel del suelo 23. Tal como se usan en esta memoria, los términos aire ambiente, atmósfera ambiente o atmósfera exterior, se refieren a la atmósfera/aire exterior al VVO subterráneo, e incluyen el ambiente y espacios exteriores naturales dentro de edificios, carpas, cuevas, túneles u otros recintos naturales o artificiales.

Las salidas bajo rasante 28 se abren al interior de la cavidad 26 en o cerca de su parte inferior en una posición por debajo del nivel del suelo 23. Así, los conductos de ventilación de entrada 25 proporcionan un pasillo para la entrada del aire ambiente a la parte inferior de la cavidad 26, a pesar de que la parte inferior de la cavidad 26 está bastante por debajo de la rasante. Para cubrir las entradas sobre rasante 27 están previstas unas rejillas de salida 31 (figura 3) de manera que objetos y otros fragmentos no pueden penetrar ni bloquear los pasillos de los conductos de ventilación de entrada 25. Como resultado de la configuración alargada en forma de S de los conductos de ventilación de entrada 25, las entradas sobre rasante 27 dejan de ser un lugar de tasa de dosis elevada que es corriente en VVOs autónomos sobre rasante. Aunque las salidas bajo rasante 28 se ilustran como siendo una abertura cerca de la parte inferior de las paredes de la cavidad 26, las salidas bajo rasante 28 pueden estar situadas en el piso de la cavidad 26, si se desea. Esto puede lograrse volviendo a configurar apropiadamente los conductos de ventilación de entrada 25 y formando una abertura a través de la placa inferior 38 y dentro de la cavidad 26. En dicha realización, la base 22 puede considerarse parte del cuerpo 21 a través del cual se extienden los conductos de ventilación de entrada 25.

Las entradas sobre rasante 27 están situadas en las paredes laterales del cuerpo 21 a una altura de aproximadamente 25 cm (10 pulgadas) por encima del nivel del suelo 23. Sin embargo, la altura de las entradas sobre rasante 27 no es limitativa de la presente invención. Las entradas 27 pueden estar situadas a cualquier altura deseada por encima del nivel del suelo, incluido a nivel/enrasadas con el mismo, como se muestra en las figuras 8D y 8E. Elevar las entradas sobre rasante 27 sustancialmente por encima del nivel del suelo 23 ayuda a reducir la probabilidad de que el agua de lluvia o de inundación penetre en la cavidad 26. Se hace notar que para ISFSIs en zonas de inundación, el agua de inundación puede subir posiblemente más de 0,30 cm por encima del nivel del suelo y, por tanto, entrar en la cavidad 26 a través de los conductos de ventilación de entrada 25. Sin embargo, como se describe en lo que sigue con respecto a la figura 6, el VVO subterráneo 20 está específicamente diseñado para lidiar peores condiciones de inundación de una manera segura y eficaz.

## ES 2 320 675 T3

Aunque las entradas sobre rasante 27 están preferiblemente situadas en las paredes laterales del cuerpo 21, las entradas sobre rasante no están limitadas a dicho lugar y, si se desea, pueden estar situadas en cualquier parte del cuerpo, incluso, por ejemplo, en la superficie superior (o en cualquiera otra superficie) del cuerpo. En las figuras 8A-8E se ilustran otros ejemplos de posibles lugares para las entradas sobre rasante 27 en el cuerpo 21.

Haciendo todavía referencia a las figuras 2 y 3, los conductos de ventilación de entrada 25 tienen un área en sección transversal rectangular de alrededor de 15 cm por 102 cm (6 pulgadas por 40 pulgadas). Sin embargo, pueden usarse cualquier configuración en sección transversal y/o tamaño tal como, por ejemplo, redonda, elíptica, triangular, hexagonal, octagonal, etc. Adicionalmente, aunque la configuración de los conductos de ventilación de entrada 25 es un pasillo alargado sustancialmente en forma de S, puede usarse una multitud de configuraciones que consiga todavía tasas de dosis aceptables en las entradas sobre rasante 27. Por ejemplo, en vez de una configuración en forma de S alargada, el conducto de ventilación de entrada puede extenderse desde la entrada sobre rasante hasta la salida bajo rasante en una configuración en zigzag, una forma lineal inclinada, una configuración general en L, o cualquier combinación angular, lineal o curvada. La forma, tamaño y configuración en sección transversal exactos del conducto de ventilación de entrada es una cuestión de preferencia de diseño y vendrán dictados por factores tales como el grosor del cuerpo del VVO, el nivel de radioactividad del combustible gastado que es almacenado en la cavidad, la temperatura de la cápsula de combustible gastado, la dinámica deseada de flujo de fluido a través de los conductos, y la ubicación de los respiraderos de entrada sobre rasante en el cuerpo (es decir, si los respiraderos/abertura sobre rasante están situados en las paredes laterales del cuerpo, su superficie superior, o en alguna otra superficie del cuerpo). En las figuras 8A-8E se ilustran otros ejemplos de posibles formas de los conductos de ventilación de entrada 25.

Los conductos de ventilación de entrada 25 están formados preferiblemente por un forro de acero con bajo contenido de carbono. Sin embargo, los conductos de ventilación de entrada 25 pueden estar hechos de cualquier material o pueden ser simples pasillos formados dentro del cuerpo de hormigón 21 sin un revestimiento.

Como se ilustra mejor en la figura 3, la cavidad 26 está formada por una envuelta gruesa de acero 34 y una placa inferior 38. La envuelta 34, la placa inferior 38 y los conductos de ventilación de entrada 25 están hechos preferiblemente de un metal, tal como acero con bajo contenido de carbono, pero pueden estar hechos de otros materiales, tales como acero inoxidable, aluminio, aleaciones de aluminio, plásticos y similares. Los conductos de ventilación de entrada 25 están herméticamente unidos a la envuelta 34 y la placa inferior 38 para formar una estructura enteriza/unitaria 100 (mostrada aislada en la figura 9) que está herméticamente sellada a la entrada de agua bajo rasante y otros fluidos. En el caso de metales soldables, esta unión hermética puede comprender soldadura o el uso de empaquetaduras. Así, el único modo de que puedan entrar agua u otros fluidos en la cavidad 26 es a través de las entradas sobre rasante 27 o los conductos de ventilación de salida 42 de la tapa 41. Como se describirá en lo que sigue con respecto a las figuras 9-15, la propia estructura enteriza es una invención y puede ser usada para almacenar combustible nuclear gastado sin el uso del cuerpo 21.

Un conservante apropiado, tal como un material epoxídico de alquitrán de hulla, es aplicado a las superficies expuestas de la envuelta 34, la placa inferior 38 y los conductos de ventilación de entrada 25 para asegurar el sellado, disminuir el decaimiento de los materiales y proteger contra el fuego. Carboline Company, de St Louis, Missouri, produce un material epoxídico de alquitrán de hulla bajo el nombre comercial Bitumastic 300M. En algunas realizaciones del VVO subterráneo de la presente invención no se usará una placa inferior.

El cuerpo de hormigón 21 rodea la envuelta 24 y los conductos de ventilación de entrada 25. El cuerpo 21 proporciona protección no estructural a la envuelta 34 y los conductos de ventilación de entrada 25. Un aislamiento 37 está previsto en la cara intermedia entre la envuelta 34 y el cuerpo de hormigón 21 y en la cara intermedia entre los conductos de ventilación de entrada 25 y el cuerpo de hormigón 21. El aislamiento 37 está previsto para impedir una transmisión excesiva de decaimiento térmico desde la cápsula de combustible gastado 70 al cuerpo de hormigón 21, manteniendo así la temperatura global del hormigón dentro de límites FSAR. El aislamiento de la envuelta 34 y los conductos de ventilación de entrada 25 del cuerpo de hormigón 21 sirve también para reducir al mínimo el calentamiento del aire de enfriamiento entrante antes de que penetre en la cavidad 26. Formas adecuadas de aislamiento incluyen, sin limitación alguna, mantas de arcilla refractaria de alúmina-sílice (Kaowool Blanket), óxidos de alúmina y sílice (Kaowool S Blanket), fibras de alúmina-sílice-zirconio (Cerablanket), y alúmina-sílice-cromo (Cerachrome Blanket).

El aislamiento de los conductos de ventilación de entrada 25 de la carga de calor del combustible gastado en la cavidad 26 es muy importante al facilitar y mantener una ventilación/enfriamiento adecuados del combustible gastado. El proceso de aislamiento puede conseguirse de una diversidad de modos, ninguno de los cuales es limitativo de la presente invención. Por ejemplo, además de añadir un material de aislamiento al exterior de la envuelta 34 y los conductos de ventilación de entrada 25, es también posible aislar los conductos de ventilación de entrada 25 proporcionando un hueco en el cuerpo de hormigón 21 entre la cavidad 26 y los conductos de ventilación de entrada 25. El hueco, si se desea, puede llenarse de un gas inerte o aire. Además, independientemente de los medios usados para producir el efecto de aislamiento, los medios de aislamiento no están limitados a ser colocados en las superficies exteriores de la envuelta 34 o los conductos de ventilación de entrada 25, sino que pueden colocarse en cualquier parte entre la cavidad 26 y los conductos de ventilación de entrada 25.

El cuerpo 21, junto con la unidad enteriza de acero formada por la placa inferior 38, la envuelta 34 y los conductos de ventilación 25, está colocado encima de la base 22. La base 22 es un bloque de hormigón reforzado diseñada para

## ES 2 320 675 T3

satisfacer las combinaciones de carga de normas industriales reconocidas, tal como, sin limitación alguna, ACT-349. La base 22 es de configuración rectangular pero puede adoptar cualquier configuración necesaria para soportar el cuerpo 21, tal como redonda, elíptica, triangular, hexagonal, octogonal, una configuración irregular, etc. Aunque es preferible el uso de una base para conseguir requisitos de soporte de carga adecuados, pueden darse situaciones en que el uso de tal base pueda ser innecesario.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2, el VVO subterráneo 20 tiene una tapa separable dotada de ventilación 41. La tapa 41 está colocada encima del cuerpo 21, encerrando con ello sustancialmente la cavidad 26 de manera que la radiación no escapa a través de la parte superior de la cavidad 26 cuando la cápsula 70 está colocada en la cavidad 26. Cuando la tapa 41 está situada encima del cuerpo 21 y la cápsula de combustible gastado 70 está colocada en la cavidad 26, entre la superficie superior de la cápsula 70 y la tapa 41 se forma una cámara de aire de salida 36. La cámara de aire de salida 36 tiene preferiblemente una altura mínima de 7,5 cm (3 pulgadas), pero puede tener cualquier altura deseada. La altura exacta vendrá dictada por consideraciones de diseño tales como dinámica de flujo de fluido deseada, altura de la cápsula, altura del VVO, profundidad de la cavidad, carga térmica de la cápsula, etc.

La tapa 41 tiene cuatro conductos de ventilación de salida 42. Los conductos de ventilación de salida 42 forman un pasillo desde la parte superior de la cavidad 26 (específicamente desde la cámara de aire de salida 36) al aire ambiente de manera que el aire calentado puede escapar de la cavidad 26. Los conductos de ventilación de salida 42 son pasillos horizontales que se extienden a través de la pared lateral 30 de la tapa 41. Sin embargo, los conductos de ventilación de salida pueden ser de cualquier configuración u orientación, tal como vertical, en L, en S, angular, curvada, etc. Debido a que los conductos de ventilación de salida 42 están situados dentro de la propia tapa 41, se reduce al mínimo la altura total del cuerpo 21.

La tapa 41 comprende un techo 35 hecho de hormigón. El techo 35 proporciona protección contra la radiación de manera que la radiación no escapa por la parte superior de la cavidad 26. La pared lateral de la tapa 41 es un aro anular. La cámara de aire de salida 36 ayuda a facilitar la retirada de aire calentado a través de los conductos de ventilación de salida 42. Para reducir al mínimo el aire calentado que sale por los conductos de ventilación de salida 42 y que es introducido de nuevo por acción de sifón en los conductos de ventilación de entrada 25, los conductos de ventilación de salida 42 están acimutal y circunferencialmente separados de los conductos de ventilación de entrada 25.

La tapa provista de ventilación 41 comprende también un anillo de cizalladura 47. Cuando la tapa 41 está colocada encima del cuerpo 21, el anillo de cizalladura 47 sobresale dentro de la cavidad 26, proporcionando así una enorme resistencia a la cizalladura contra fuerzas laterales provenientes de terremotos, misiles de impacto u otros proyectiles. La tapa 41 está asegurada al cuerpo 21 con tornillos (no mostrados) que se extienden a su través.

Aunque no se ilustra, es preferible que sean insertados atenuadores de fotones de conductos en todos los conductos de ventilación de entrada 25 y/o conductos de ventilación de salida 42 del VVO subterráneo 20, independientemente de la forma y/o el tamaño. En la patente de Estados Unidos 6.519.307, de Bongrazio, cuyas enseñanzas se incorporan en esta memoria por referencia, se ilustra un atenuador de fotones de conductos adecuado.

Haciendo ahora referencia a la figura 4, se ilustra una realización de una tapa 50 que puede usarse en el VVO subterráneo 20. La tapa 50 contiene aspectos de diseño similares a los de la tapa 41 y se ilustra para describir de manera más completa los aspectos de diseño de tapa anteriormente mencionados. La tapa 50 tiene cuatro conductos de ventilación de salida horizontales 51 en la pared lateral 52. El anillo de cizalladura 54 está dispuesto en la parte inferior de la tapa 50 para encajar en la cavidad 26. Los tornillos 18 se usan para asegurar la tapa 50 a orificios aterrajados de la parte superior del cuerpo 21.

Si bien los conductos de ventilación de salida se ilustran como estando situados dentro de la tapa 50 del VVO subterráneo 20, la presente invención no se limita a eso. Por ejemplo, los conductos de ventilación de salida pueden estar situados en el cuerpo del VVO subterráneo en un lugar por encima de la rasante. Este concepto se ilustra en las figuras 8A-8E. Si los conductos de ventilación de salida están situados en el cuerpo del VVO subterráneo, las aberturas de los conductos de ventilación de salida al aire ambiente pueden estar situadas en las paredes laterales del cuerpo, en su superficie superior, o en otra superficie cualquiera. Similar a cuando los conductos de ventilación de salida están situados en la tapa, los conductos de ventilación de salida pueden adoptar una diversidad de formas y/o configuraciones cuando están situados en el cuerpo del propio VVO subterráneo. Al igual que con los conductos de ventilación de entrada, los conductos de ventilación de salida están formados preferiblemente por un forro de acero con bajo contenido de carbono, pero pueden estar hechos de cualquier material o pueden ser simples pasillos formados dentro del cuerpo de hormigón 21 o la tapa 41 sin un revestimiento. En todas las realizaciones de la presente invención que tienen conductos de ventilación de entrada y salida, se prefiere que las aberturas de los conductos de ventilación de salida estén acimutal y circunferencialmente separadas de las entradas de los conductos de ventilación de entrada para reducir al mínimo la interacción entre las corrientes de aire de entrada y salida. No hay ninguna limitación en cuanto a la forma y estilo de la tapa usada en unión del VVO subterráneo 20.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2, el suelo 29 rodea el cuerpo 21 para en casi la totalidad de su altura. Cuando la cápsula de combustible gastado 70 se coloca en la cavidad 26, al menos una mayor parte, si no la totalidad, de la cápsula 70 está por debajo de la rasante. Preferiblemente, toda la altura de la cápsula 70 está por debajo de la rasante para aprovechar plenamente el efecto de protección del suelo 29. Así, el suelo 29 proporciona un grado de protección contra la radiación al combustible gastado almacenado en el VVO subterráneo 20 lo que no puede

## ES 2 320 675 T3

conseguirse en sobreembalajes sobre rasante. El VVO subterráneo 20 es aspecto discreto y no se corre el riesgo de que el VVO subterráneo 20 se vuelque. Adicionalmente, el VVO subterráneo 20 no tiene que lidiar con los efectos de la interacción de la estructura del suelo que magnifican la aceleración al aire libre y desafían potencialmente la estabilidad de un sobreembalaje autónomo sobre rasante.

Haciendo referencia a la figura 6, se ilustra con detalle la zona VI-VI de la figura 2. La figura 6 ilustra aspectos de diseño que son importantes para asegurar que el VVO subterráneo 20 pueda resistir satisfactoriamente condiciones de inundación sin impacto adverso. En la superficie inferior (formada por la placa 38) de la cavidad 26 están previstos bloques de soporte 32 de manera que la cápsula 70 puede ser colocada sobre los mismos. Los bloques de soporte 32 están circunferencialmente espaciados entre sí (mostrado en la figura 7). Cuando la cápsula 70 está cargada dentro de la cavidad 26 para almacenamiento, la superficie inferior 71 de la cápsula 70 se apoya en los bloques de soporte 32, formando una cámara de aire de entrada 33 entre la superficie inferior 71 de la cápsula 70 y la superficie inferior/piso de la cavidad 26. Los bloques de soporte 32 están hechos de acero con bajo contenido de carbono y están preferiblemente soldados a la superficie inferior de la cavidad 26. Otros materiales de construcción adecuados incluyen, sin limitación alguna, hormigón reforzado, acero inoxidable y otras aleaciones metálicas.

Los bloques de soporte 32 cumplen también la función de absorber energía/impactos. Los bloques de soporte 32 son preferiblemente de un estilo de rejilla de panal de miel, tal como los fabricados por Hexcel Corp., California, EE.UU.

Los bloques de soporte 32 están diseñados específicamente de manera que la superficie inferior 71 de la cápsula 70 es más pequeña que la parte superior 74 de las salidas bajo rasante 28 (figura 2) de los conductos de ventilación de entrada 25. Preferiblemente, los bloques de soporte 32 están diseñados de manera que la superficie inferior 71 de la cápsula 70 está aproximadamente 5 a 15 cm (2 a 6 pulgadas) por debajo de la parte superior 74 de las salidas bajo rasante 28. Sin embargo, puede conseguirse cualquier diferencia de altura deseada a través de un diseño apropiado. Soportando la cápsula 70 en la cavidad 26 de manera que su superficie inferior 71 esté más baja que la parte superior 74 de las salidas bajo rasante 28, el VVO subterráneo 20 proporcionará un enfriamiento adecuado a la cápsula 70 incluso bajo las condiciones más adversas de inundación, lo que se denomina coloquialmente “inundación inteligente”. Una “inundación inteligente” es aquella que inunda el VVO de manera que el nivel del agua esté justo lo suficientemente alto para bloquear completamente el flujo de aire a través de los conductos de ventilación de entrada 25. En otras palabras, el nivel del agua está justo enrasado con la parte superior 74 de las salidas bajo rasante 28.

Sin embargo, el VVO subterráneo 20 puede lidiar adecuadamente con la condición de “inundación inteligente” a causa de que la superficie inferior 71 de la cápsula 70 está situada a una altura que se encuentra por debajo de la parte superior 74 de las salidas bajo rasante 28. Como resultado, si se produjera una “inundación inteligente”, la parte inferior de la cápsula 70 estaría en contacto (es decir, sumergida) con el agua. A causa de que la eficacia de evacuación de calor del agua es de más de 100 veces la del aire, una parte inferior mojada es todo lo que se necesita para evacuar eficazmente calor y mantener la cápsula 70 fría. Cuando más profunda sea la sumersión de la cápsula 70 en el agua, tanto más fría se mantendrá la cápsula 70 y su combustible contenido. Cuando el agua que hay en la cavidad 26 es calentada por la parte inferior de la cápsula 70, el agua se evapora, asciende por la cavidad 26 a través del espacio anular 60 y sale de la cavidad 26 a través de los conductos de ventilación de salida. Así, la acción de enfriamiento de la cápsula cambia de enfriamiento de aire de ventilación a enfriamiento con agua de evaporación.

En una realización, las salidas bajo rasante 28 de los conductos de ventilación de entrada 25 medirán 10 cm (8 pulgadas) de alto por 102 cm (40 pulgadas) de ancho y la cámara de aire 33 tendrá 15 cm (6 pulgadas) de alto. Esto representa una diferencia de altura de 5 cm (2 pulgadas).

Deberá observarse que el aspecto de diseño con diferente altura del VVO subterráneo 20 que se ilustra con detalle en la figura 6 puede incorporarse también en los barriles autónomos sobre rasante y los VVOs para lidiar con las condiciones de “inundación inteligente”, con independencia de las otras características del VVO subterráneo 20. Así, este concepto es un aspecto inventivo independiente de la presente solicitud. Cuando están incorporados dentro de los VVOs sobre rasante, los conductos de ventilación de entrada deberán estar diseñados de manera que no pueda escapar radiación al medio ambiente circundante desde los conductos de ventilación de entrada. Esto representa una amenaza a causa de que la cápsula estará por debajo de la abertura de los conductos de entrada dentro de la cavidad de almacenamiento. En esta realización, los conductos de ventilación de entrada estarán configurados de manera que no exista una línea visual para la cápsula en la cavidad de almacenamiento desde el aire ambiente. Por ejemplo, los conductos de ventilación de entrada pueden comprender una parte en forma de L, en ángulo, en forma de S, o curvada.

Además, aunque el aspecto de diseño con diferente altura de la figura 6 se consigue usando bloques de soporte 32, también es posible poner en práctica este aspecto de la invención sin bloques de soporte 32. En tales realizaciones, la cápsula 70 estará colocada en la cavidad 26 y se apoyará directamente sobre el piso de la cavidad 26. Sin embargo, es deseable el uso de bloques de soporte 32 a causa de que la creación de la cámara de entrada de aire 33 y a causa de que el uso de los bloques de soporte 32 ayudan a impedir que fragmentos y suciedad sean atrapados en la parte inferior de la cavidad 26.

Haciendo ahora referencia a las figuras 8A-8E, se ilustran esquemáticamente ejemplos de configuraciones alternativas de los conductos de ventilación de salida y los conductos de ventilación de entrada en un VVO subterráneo de acuerdo con la presente invención. Por razones de sencillez, se han omitido en las figuras 8A-8E muchos de los deta-

lles y alguna estructura, entendiéndose que cualquiera o todos los detalles descritos en lo que antecede con respecto al VVO subterráneo 20 pueden estar incorporados en ellas. Se usan números similares para identificar partes similares a excepción de que se usan sufijos alfabéticos para cada realización.

5 Deberá observarse que, además de la configuración de los conductos de ventilación de entrada y los conductos de ventilación de salida ilustrados en las figuras 8A-8E, puede incorporarse en la presente invención una multitud de otras configuraciones, combinaciones y modificaciones. Algunos de estos detalles se describen anteriormente. Adicionalmente, las configuraciones de los conductos de ventilación de salida de cualquiera de las realizaciones ilustradas pueden combinarse con cualquiera de las configuraciones ilustradas de los conductos de ventilación de entrada, y  
10 viceversa.

En todas las realizaciones de la presente invención, es deseable que al aire calentado que sale por los conductos de ventilación de salida 42 se le impida ser devuelto por acción de sifón a los conductos de ventilación de entrada 25 (es decir, impidiendo que la corriente caliente de aire de salida se mezcle con la corriente fría de aire de entrada). Esto  
15 puede efectuarse de una pluralidad de maneras, que incluyen: (1) la colocación/emplazamiento de las entradas 27 en el VVO subterráneo 20 con respecto a las salidas de los conductos de ventilación de salida 42; disponer una placa 98 u otra estructura que separe las corrientes de aire (como se ilustra en las figuras 8A y 8C-8E); y/o (3) extender las conductos de ventilación de entrada 25 hasta una posición alejada de los conductos de ventilación de salida 42.

20 Como resultado del calor que emana de la cápsula 70, aire frío del ambiente es introducido por acción de sifón en los conductos de ventilación de entrada 25 y en la parte inferior de la cavidad 26. Este aire frío es calentado luego por el calor procedente del combustible gastado contenido en la cápsula 70, asciende en la cavidad 26 a través del espacio anular 60 (figura 6) alrededor de la cápsula 70 y sale luego de la cavidad 26 en forma de aire calentado a través de los conductos de ventilación de salida 42 en la tapa 41.

25 Haciendo ahora referencia a la figura 5, las ISFIs pueden estar diseñadas para emplear cualquier número de VVOs subterráneos 20 (o estructuras enterizas 100) y pueden expandirse en número fácilmente para satisfacer necesidades crecientes. Aunque los VVOs subterráneos 20 están muy próximos, el diseño permite que una oruga de movimiento de barriles 90 acceda independientemente y con facilidad a cualquier cavidad. La configuración subterránea de los subterráneos VVOs 20 reduce en gran medida la altura de las estructuras de pilas creadas durante los procesos de  
30 carga/transferencia en que el barril de transferencia 80 es colocado encima del VVO subterráneo 20.

Se describirá ahora una realización de un método de usar un VVO subterráneo 20 para almacenar una cápsula 70 de combustible nuclear gastado en relación con las figuras 2-5. Tras ser retirada de la balsa de combustible gastado y  
35 tratada para almacenamiento en seco, la cápsula de combustible gastado 70 es colocada en el barril de transferencia 80. El barril de transferencia 80 es llevado por la oruga de movimiento de barriles a un VVO subterráneo 20 deseado. Si bien se ilustra oruga de movimiento de barriles, puede usarse cualesquier medio adecuado para transportar el barril de transferencia 80 para colocarlo encima de un VVO subterráneo 20. Por ejemplo, puede usarse cualquier tipo adecuado de dispositivo de manipulación de carga, tal como, sin limitación alguna, una grúa de pórtico, una grúa elevada u otro  
40 dispositivo de grúa.

Al preparar el VVO subterráneo 20 deseado para recibir la cápsula 70, se retira la tapa 41 desde el cuerpo 21 de manera que se abra la cavidad 26. La oruga de movimiento de barriles 90 coloca el barril de transferencia 80 encima del VVO subterráneo 20. Después de que el barril de transferencia está asegurado apropiadamente en la parte superior  
45 del VVO subterráneo 20, se retira una placa inferior de barril de transferencia 80. Si fuera necesario, podría usarse un dispositivo de acoplamiento adecuado para asegurar la conexión del barril de transferencia 80 al VVO subterráneo 20 y retirar la placa inferior del barril de transferencia 80 a una posición que no estorbe. Dichos dispositivos de acoplamiento son bien conocidos en la técnica y se usan con frecuencia en procesos de transferencia de cápsulas. La cápsula 70 es bajada luego por la oruga de movimiento de barriles 90 desde el barril de transferencia 80 dentro de la  
50 cavidad 26 del VVO subterráneo 20 hasta que la superficie inferior de la cápsula 70 hace contacto y se apoya encima de los bloques de soporte 32, como se describe en lo que antecede.

Cuando está apoyándose en los bloques de soporte 32, una mayor parte de la altura de la cápsula está por debajo de la rasante. Más preferiblemente, la totalidad de la cápsula 70 está por debajo de la rasante cuando se encuentra en  
55 su posición de almacenamiento. Una vez que la cápsula 70 es colocada en la cavidad 26 y se apoya en ella, se pone la tapa 41 sobre la cavidad 26, encerrando sustancialmente la cavidad 26. La tapa 41 se orienta encima del cuerpo 21 de manera que el anillo de cizalladura 47 sobresalga dentro de la cavidad 26 y los conductos de ventilación de salida 42 estén acimutal y circunferencialmente separados de los conductos de ventilación de entrada 25 en el cuerpo 21. Luego se asegura la tapa 41 al cuerpo 21 con tornillos. Como resultado del calor que emana de la cápsula 70, se introduce  
60 por acción de sifón aire frío en los conductos de ventilación de entrada 25 y en la parte inferior de la cavidad 26. Este aire frío es calentado entonces por el calor proveniente del combustible gastado contenido en la cápsula 70, asciende en la cavidad 26 a través del espacio anular 60 (figura 6) alrededor de la cápsula 70 y sale luego de la cavidad 26 en forma de aire calentado a través de los conductos de ventilación de salida 42 en la tapa 41.

65 Haciendo ahora referencia a la figura 9, se ilustra una estructura enteriza 100 para almacenar combustible nuclear gastado de acuerdo con una realización de la invención. La estructura enteriza 100 es esencialmente una combinación de envuelta 34, conductos de ventilación de entrada 25 y placa inferior 38 del VVO subterráneo 20 sin cuerpo de hormigón. La envuelta enteriza 100 puede usarse para almacenar cápsulas de combustible nuclear gastado sin la

## ES 2 320 675 T3

adición del cuerpo de hormigón. Por consiguiente, algunas realizaciones de la presente invención serán la propia estructura enteriza 100.

La envuelta 34, la placa inferior 38 y los conductos de ventilación de entrada 25 están formados preferiblemente de un metal, tal como acero con bajo contenido de carbono. Otros materiales adecuados incluyen, sin limitación alguna, acero inoxidable, aluminio, aleaciones de aluminio y plásticos.

Los conductos de ventilación de entrada 25, la placa 38 y la envuelta 34 están soldados herméticamente en todas las uniones para formar una estructura unitaria que está herméticamente cerrada a la entrada de agua y otros fluidos. La única manera de que el agua u otros fluidos puedan entrar en la cavidad 26 es a través de las entradas 27 o la abertura superior 101 de la envuelta 34. La altura de la envuelta 34 está diseñada de manera que una cápsula de combustible gastado puede ser colocada dentro de la cavidad 26 de manera que no sobresalga de la abertura superior 101. No hay ninguna limitación en cuanto a la altura con que la envuelta 34 puede ser construida. La altura exacta de la envuelta 34 vendrá dictada por la altura de la cápsula de combustible gastado a almacenar en ella, la profundidad deseada (por debajo de la rasante) a que ha de almacenarse la cápsula, tanto si los conductos de ventilación de salida están en la tapa como si están integrados dentro de la envuelta 34, y/o la altura deseada de la cámara de aire de salida que existe durante el almacenamiento de las cápsulas.

Las figuras 10-13 ilustran un proceso de usar la estructura enteriza 100 para almacenar una cápsula de combustible gastado en una posición bajo rasante en una ISFSI, o en otro lugar, de acuerdo con una realización de la presente invención. Deberá observarse que cualquier diseño y/o detalles estructurales descritos en lo que antecede con respecto al VVO subterráneo 20 puede ser incorporado en la estructura enteriza 100 tal como, por ejemplo, el uso de rejillas de ventilación, configuraciones variables de los conductos de entrada y salida, holguras, el uso de un aislamiento, etc. Sin embargo, para evitar redundancia, se omitirá una descripción de estos detalles, entendiéndose que cualquiera o todos los detalles del VVO subterráneo 20 están (o pueden estar) incorporados en los métodos y aparatos de almacenamiento de la estructura enteriza 100, y viceversa.

Haciendo referencia a la figura 10, primeramente se excava un hoyo 200 en el suelo 210 en una posición deseada dentro de la ISFSI y a la profundidad deseada. Una vez que el hoyo 200 está excavado, y su fondo apropiadamente nivelado, se coloca la base 22 en el fondo del hoyo 200. La base 22 es un bloque de hormigón reforzado diseñado para satisfacer las combinaciones de carga de normas industriales reconocidas, tal como ACI-349. Sin embargo, en algunas realizaciones, dependiendo de la carga que haya que soportar y/o de las características del suelo, el uso de una base puede ser innecesario.

Una vez que la base 22 está apropiadamente colocada en el hoyo 200, la estructura enteriza 100 es bajada dentro del hoyo 200 en una orientación vertical hasta que se apoya encima de la base 22. La placa inferior 38 de la estructura enteriza 100 hace contacto y se apoya encima de la superficie superior de la base 22. Si se desea, la placa inferior 38 puede sujetarse con tornillos o asegurarse de otro modo a la base 22 en este punto para impedir futuros movimientos de la estructura enteriza 100 con respecto a la base 22.

Haciendo referencia a la figura 11, una vez que la estructura enteriza 100 está apoyándose encima de la base 22 en la orientación vertical, se mueve un tubo de suministro de tierra 300 a posición encima del hoyo 200. Se suministra tierra 301 al hoyo 200 por fuera de la estructura enteriza 100, llenando de este modo el hoyo 200 con tierra 301 y enterrando una parte de la estructura enteriza 100. Aunque se ilustra tierra 301 para llenar el hoyo 200, puede usarse cualquier relleno tecnológico adecuado que cumpla requisitos de medio ambiente y protección. Otros rellenos tecnológicos adecuados incluyen, sin limitación alguna, gravilla, piedra machacada, hormigón, arena, y similares. Además, el relleno tecnológico deseado puede ser suministrado al hoyo por cualesquiera medios factibles, incluso a mano, por vertido y similares.

Haciendo referencia a la figura 12, se suministra tierra 301 al hoyo 200 hasta que la tierra 301 rodee la estructura enteriza 100 y llene el hoyo 200 hasta un nivel en que la tierra 301 esté aproximadamente igualada con el nivel del suelo 212. La tierra 301 está en contacto directo con las superficies exteriores de la estructura enteriza 100 que están por debajo de la rasante. Cuando el hoyo 200 está lleno de tierra 301, las entradas 27 de los conductos de ventilación de entrada 25 están por encima de la rasante. La envuelta 34 sobresale también desde la tierra 301 de manera que la abertura 101 está ligeramente por encima de la rasante. Por consiguiente, debido a que la estructura enteriza 100 está herméticamente cerrada en todas las uniones, los líquidos y la tierra bajo rasante no pueden entrar en la cavidad 26 o en los conductos de ventilación de entrada 25. Se disponen bloques de soporte 32 en el fondo de la cavidad 26 para soportar una cápsula de combustible gastado almacenada.

Haciendo referencia a la figura 13, una vez que el hoyo 200 está adecuadamente lleno de tierra 301, se carga una cápsula 70 de combustible gastado 70 en la cavidad 26 de la estructura enteriza 100. La secuencia de carga de cápsulas se describe con mayor detalle en lo que antecede con respecto a la figura 5. La cápsula 70 se baja dentro de la cavidad 26 hasta que se apoya en los bloques de soporte 32. Como se describe en lo que antecede con respecto a la figura 6, los bloques de soporte 32 y las salidas 28 de la estructura enteriza 100 están especialmente diseñados para lidiar condiciones de "inundación inteligente". La cápsula 70 se apoya en los bloques de soporte 32, formando una cámara de aire de entrada 33 entre la pared inferior de la cápsula 70 y el piso de la cavidad 26 (que en este caso es la placa inferior 38).

## ES 2 320 675 T3

Cuando la cápsula 70 está soportada en los bloques de soporte 32, toda la altura de la cápsula 70 se encuentra por debajo del nivel del suelo 212. Esto maximiza el uso de las posibilidades de protección contra la radiación del suelo. La profundidad a que la cápsula 70 se encuentra por debajo del nivel del suelo 212 puede variarse aumentando o disminuyendo la profundidad del hoyo 200. Una vez que la cápsula 70 está soportada en la cavidad 26, se coloca la tapa 41 encima de la envuelta 34, cerrando con ello la abertura 101 e impidiendo que escape radiación hacia arriba desde la cavidad 26. Entre la superficie inferior de la tapa 41 y la parte superior de la cápsula 70 se forma una cámara de aire de salida 36.

La tapa 41 comprende conductos de ventilación de salida 42. Los conductos de ventilación de salida 42 forman pasillos desde la cámara de aire de salida 36, a través de la tapa 41, hasta el aire ambiente por encima del nivel del suelo 212. Los conductos de ventilación de salida 42 no tienen que estar previstos en la tapa 41, sino que pueden formarse como parte de la estructura enteriza 100, si se desea. Esto se explicará con mayor detalle en lo que sigue con respecto a la figura 14.

Haciendo referencia todavía a la figura 13, cuando la estructura enteriza 100 es usada para almacenar una cápsula de combustible nuclear gastado 70, se utiliza el efecto de protección contra la radiación del subsuelo, al tiempo que es facilitado de manera adecuada el enfriamiento de la cápsula 70. El enfriamiento de la cápsula 70 es facilitado por el aire frío que entra por los conductos de ventilación de entrada 25 a través de las entradas sobre rasante 27. El aire frío se desplaza a través de los conductos de ventilación de entrada 25 y penetra en la cavidad 26 en o cerca de la cámara de aire de entrada 33 a través de las salidas bajo rasante 28. Una vez que el aire frío está dentro de la cavidad 26, es calentado por el calor que emana de la cápsula 70. Cuando el aire está calentado, se desplaza hacia arriba a lo largo de la superficie exterior de la cápsula 70 a través del espacio anular 60 hasta que el aire entra en la cámara de aire de salida 36. A medida que el aire se desplaza hacia arriba a través del espacio anular 60, continúa evacuando calor desde la cápsula 70. El aire caliente sale luego de la cavidad 26 a través de los conductos de ventilación de salida 42 y penetra en el aire ambiente. Este flujo natural de enfriamiento por convección se repite continuamente hasta que la cápsula 70 está adecuadamente enfriada.

Haciendo ahora referencia a la figura 14, se ilustra una realización alternativa de una estructura enteriza 200. La estructura enteriza 200 se usa para almacenar una cápsula de combustible gastado de manera similar a la de la estructura enteriza 100 descrita en lo que antecede. Aunque gran parte de la estructura es idéntica a la de la estructura enteriza 100, la estructura enteriza 200 comprende además conductos de ventilación de salida 42 unidos herméticamente por soldadura directamente a la envuelta 34. Los conductos de ventilación de salida 42 pueden estar formados de cualesquiera materiales descritos en lo que antecede con respecto a los conductos de ventilación de entrada 25. Como resultado de que los conductos de ventilación de salida 42 forman parte de la estructura enteriza 200, la tapa 41 puede estar exenta de tales conductos. El proceso de enfriamiento de la cápsula 70 sigue siendo el mismo.

La figura 15 ilustra una estructura enteriza 300 de acuerdo con otro aspecto de la presente invención. La estructura enteriza 300 es, en su diseño y funcionamiento, similar en muchos aspectos a las estructuras enterizas 100 y 200. Sin embargo, la estructura enteriza 300 está específicamente diseñada para almacenar cápsulas 70 que contienen combustible gastado con baja actividad térmica. Cuando una cápsula 70 está despidiendo poco calor, por ejemplo de la magnitud de 2-3 kW, no es necesario disponer conductos de ventilación de entrada para suministrar aire frío a la cavidad 26. Por consiguiente, se omiten de la estructura enteriza 300 los conductos de ventilación de entrada. La estructura enteriza 300 comprende solamente conductos de ventilación de salida 42 que actúan como entrada para el aire más frío y como salida para el aire más caliente.

Si bien los conductos de ventilación de salida 42 de la estructura enteriza 300 están unidos herméticamente por soldadura a la envuelta 34, es posible que los conductos de ventilación de salida estén situados en la tapa 41, si se desea. Además, la idea de eliminar los conductos de ventilación de entrada para almacenamiento de cápsulas de baja carga térmica puede aplicarse a cualquiera de las realizaciones de VVO bajo y sobre rasante ilustradas en esta solicitud, incluyendo específicamente el VVO subterráneo 20 y derivados.

Aunque la invención se ha descrito e ilustrado con detalle suficiente de manera que los versados en esta técnica pueden ejecutarla y usarla con facilidad, deberán resultar fácilmente evidentes diversas alternativas, modificaciones y mejoras sin apartarse del espíritu y alcance de la invención como se expone en las reivindicaciones. Específicamente, es posible que todo el VVO subterráneo y/o la estructura enteriza de la presente invención estén por debajo de la rasante, en tanto que los conductos de ventilación de entrada y/o los conductos de ventilación de salida se abran al aire ambiente por encima de la rasante. Esto facilita un almacenamiento muy profundo de cápsulas de combustible gastado. Por último, aunque la invención se ha descrito en unión del almacenamiento de combustible nuclear gastado, la invención no se limita a eso y puede usarse en unión del almacenamiento de cualquier material de desecho radioactivo de alto nivel de actividad.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema para almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende:

un cuerpo que tiene una cavidad para recibir y almacenar una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta, estando situada una mayor parte del cuerpo por debajo de la rasante;

teniendo el cuerpo al menos un conducto de ventilación de entrada que se extiende desde una entrada sobre rasante hasta una salida bajo rasante que se abre dentro de la cavidad;

una tapa separable colocada encima del cuerpo y que cubre la cavidad; y

al menos un conducto de ventilación de salida para permitir que salga aire calentado desde la cavidad.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la entrada sobre rasante se encuentra en una pared lateral del cuerpo.

3. El sistema de la reivindicación 2, en el que la salida bajo rasante se encuentra en o cerca de una parte inferior de la cavidad.

4. El sistema de la reivindicación 3, en el que el conducto de ventilación de entrada tiene sustancialmente forma de S alargada.

5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el número de conductos de ventilación de entrada en el cuerpo es de dos, y las entradas sobre rasante de los dos conductos de ventilación de entrada están en paredes laterales opuestas del cuerpo.

6. El sistema de la reivindicación 1, en el que al menos una parte del conducto de ventilación de entrada está aislada del cuerpo.

7. El sistema de la reivindicación 1, en el que al menos una parte de la cavidad está aislada del cuerpo.

8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el conducto de ventilación de entrada y la cavidad están cerrados herméticamente a la entrada de líquidos bajo rasante.

9. El sistema de la reivindicación 8, que comprende además una envuelta de metal que reviste la cavidad y una placa inferior de metal que forma una superficie inferior de la cavidad, estando formado el conducto de ventilación de entrada por un forro de metal, en que la envuelta, la placa inferior y el conducto de ventilación de entrada están soldados juntos para formar una estructura enteriza.

10. El sistema según la reivindicación 9, en el que el cuerpo está hecho de hormigón.

11. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además medios para soportar una cápsula sobre una superficie inferior de la cavidad, proporcionando los medios de soporte una cámara de aire entre una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta y la superficie inferior de la cavidad cuando la cápsula está colocada en la cavidad para almacenamiento.

12. El sistema de la reivindicación 11, en el que los medios de soporte sustentan la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que una superficie inferior de la cápsula está más baja que una parte superior de la salida bajo rasante del conducto de ventilación de entrada.

13. El sistema de la reivindicación 12, en el que los medios de soporte son uno o más bloques de soporte circunferencialmente espaciados.

14. El sistema de la reivindicación 12, en el que los medios de soporte sustentan la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que la superficie inferior de la cápsula está al menos 5 cm (dos pulgadas) por debajo de la parte superior de la salida bajo rasante.

15. El sistema de la reivindicación 1, en el que, cuando una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta está colocada en la cavidad, existe una cámara de aire entre la cápsula y la tapa.

16. El sistema de la reivindicación 15, en el que la tapa comprende al menos un conducto de ventilación de salida para permitir que salga de la cavidad aire calentado, extendiéndose el conducto de ventilación de salida desde la cámara de aire, a través de una pared lateral de la tapa, y hasta la atmósfera exterior.

17. El sistema de la reivindicación 16, en el que el conducto de ventilación de salida en la tapa está circunferencial y acimutalmente separado de la entrada sobre rasante del conducto de ventilación de entrada en el cuerpo.

## ES 2 320 675 T3

18. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una base sobre la cual está colocado el cuerpo.

19. El sistema de la reivindicación 1, en el que aproximadamente 0,9 m (3 pies) o menos de la altura del cuerpo permanece por encima de la rasante.

20. El sistema de la reivindicación 1, en el que la cavidad y el conducto de ventilación de entrada están formados por un revestimiento de acero enterizo, y el cuerpo está formado de hormigón.

21. El sistema de la reivindicación 1, en el que una mayor parte de la altura de la cavidad está por debajo de la rasante.

22. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una rejilla de salida que cubre la entrada sobre rasante del conducto de ventilación de entrada; la tapa colocada encima del cuerpo y cubriendo la cavidad de manera que, cuando una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta está en la cavidad, existe una cámara de aire de salida entre la cápsula y la tapa; una base sobre la cual el cuerpo está colocado; formando el al menos un conducto de ventilación de salida un pasillo desde la cámara de aire de salida a la atmósfera exterior por encima de la rasante, estando el conducto de ventilación de salida circunferencial y acimutalmente separado de la entrada sobre rasante del conducto de ventilación de entrada en el cuerpo; una envuelta de metal que reviste la cavidad; una placa inferior de metal que forma una superficie inferior de la cavidad; estando formado el conducto de ventilación de entrada por un forro de metal, la envuelta, la placa inferior y el conducto de ventilación de entrada que están soldados juntos para formar una estructura enteriza que está herméticamente cerrada a la entrada de líquidos bajo rasante; en que la salida bajo rasante está en o cerca de la parte inferior de la cavidad; medios para soportar la cápsula en una superficie inferior de la cavidad, proporcionando los medios de soporte una cámara de aire de entrada entre una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta y la superficie inferior de la cavidad cuando la cápsula está colocada en la cavidad para almacenamiento; en que los medios de soporte sustentan la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta en la cavidad de manera que una superficie inferior de la cápsula está más baja que una parte superior de la salida bajo rasante del conducto de ventilación de entrada; y en que una mayor parte de la altura de la cavidad está por debajo de la rasante.

23. Un método de almacenar desechos radioactivos de actividad alta, que comprende:

proporcionar un sistema según la reivindicación 1,

descender una cápsula de desechos radioactivos de actividad alta dentro de la cavidad de manera que una mayor parte de la cápsula está por debajo de la rasante; y

poner la tapa encima del cuerpo para encerrar la cavidad;

en que la ventilación de la cápsula es proporcionada por el aire frío que entra en la cavidad a través del conducto de ventilación de entrada en el cuerpo, siendo calentado el aire frío dentro de la cavidad desplazándose hacia arriba a lo largo de la superficie exterior de la cápsula de desechos radioactivos de actividad alta, y saliendo el aire caliente de la cavidad a través del conducto de ventilación de salida.

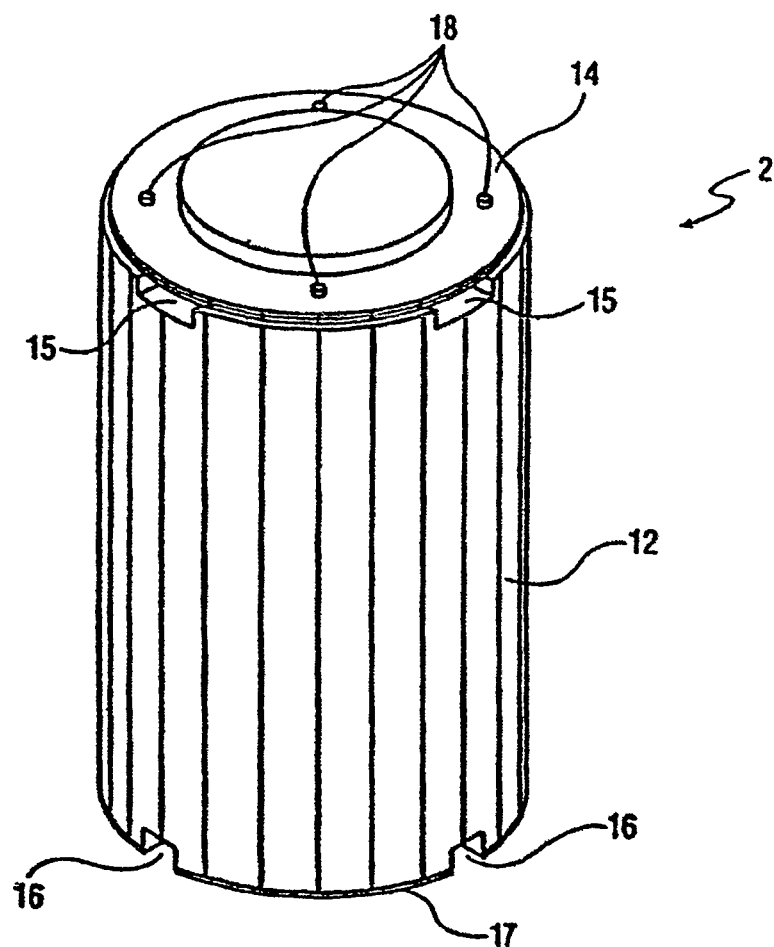


FIG. 1  
TÉCNICA ANTERIOR

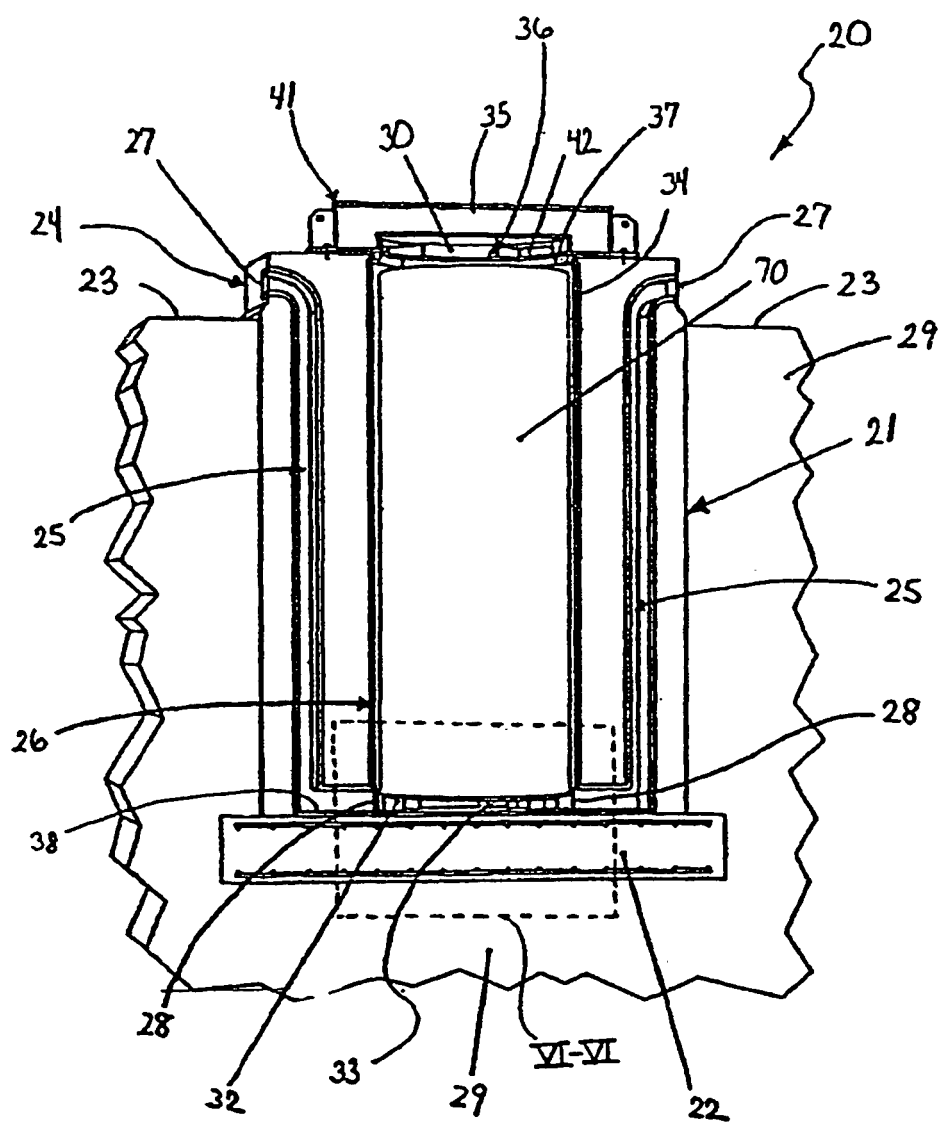


FIG. 2

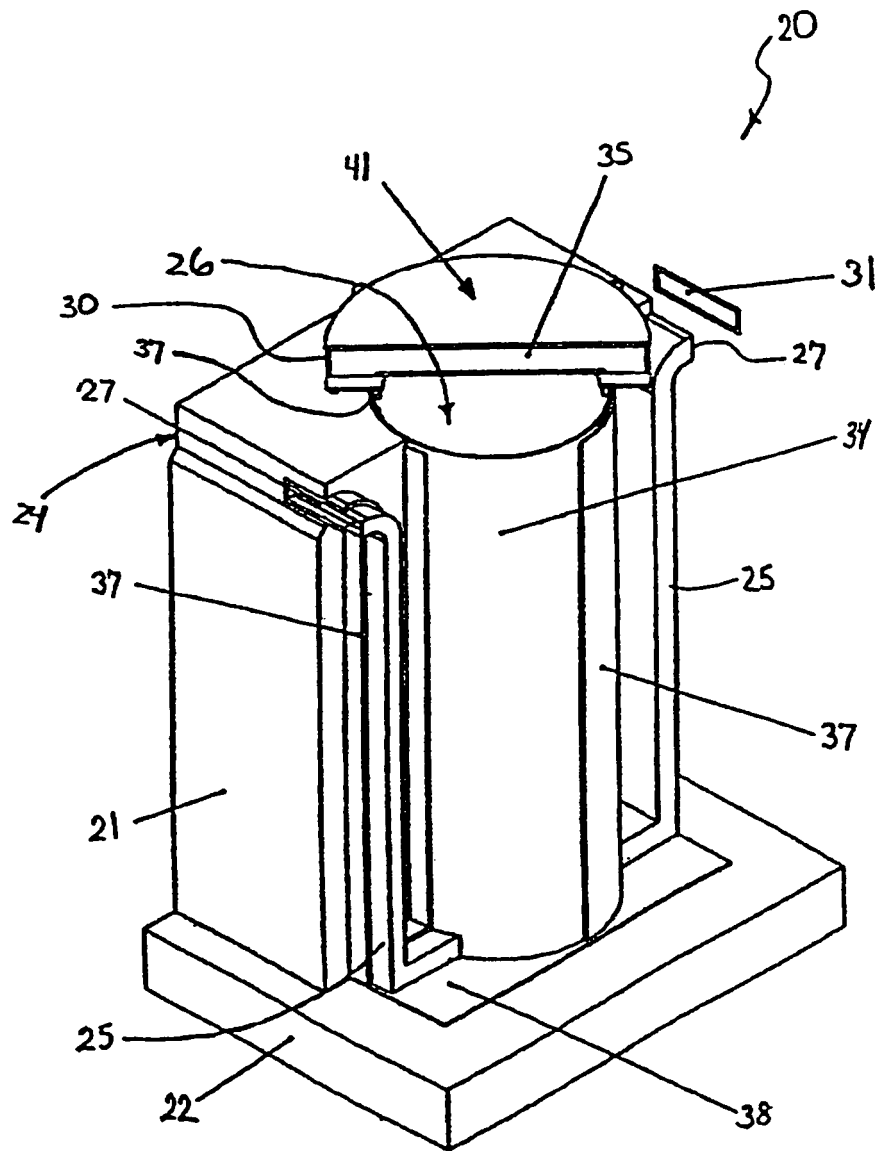


FIG. 3

FIG. 4

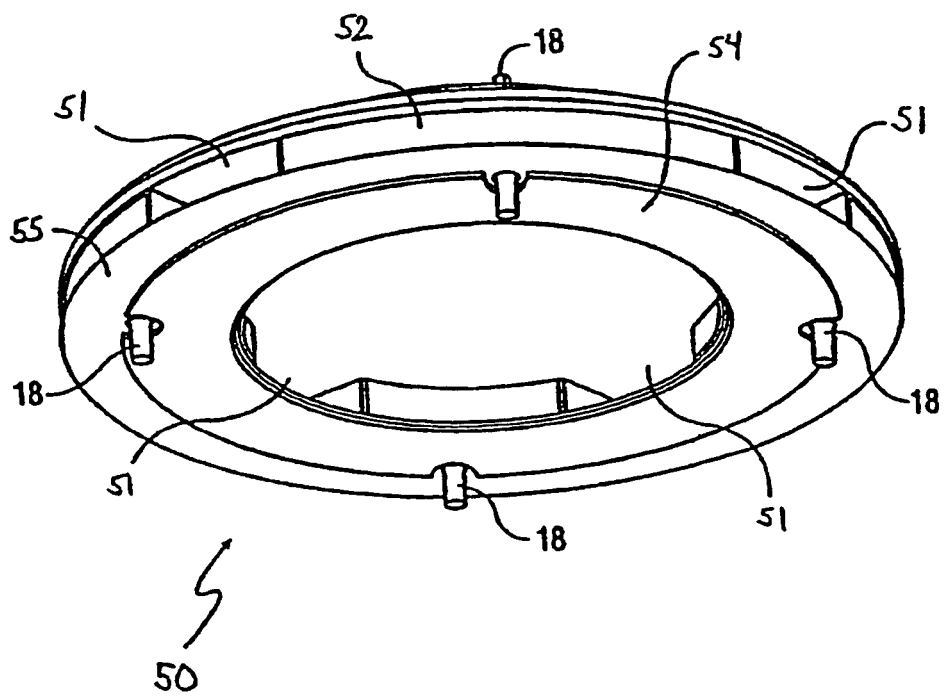
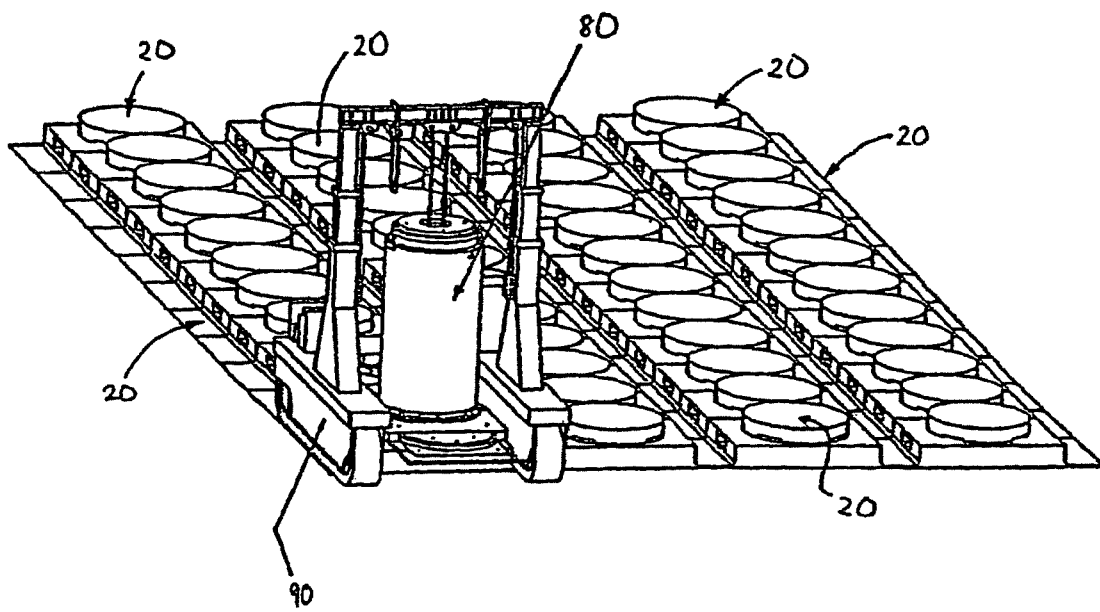


FIG. 5



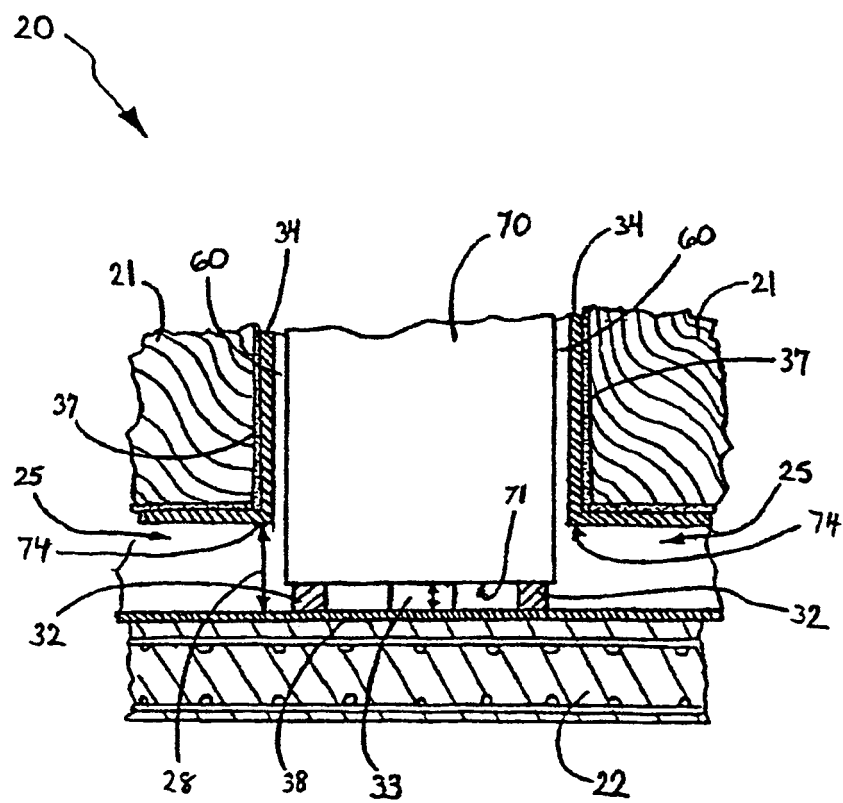


FIG. 6

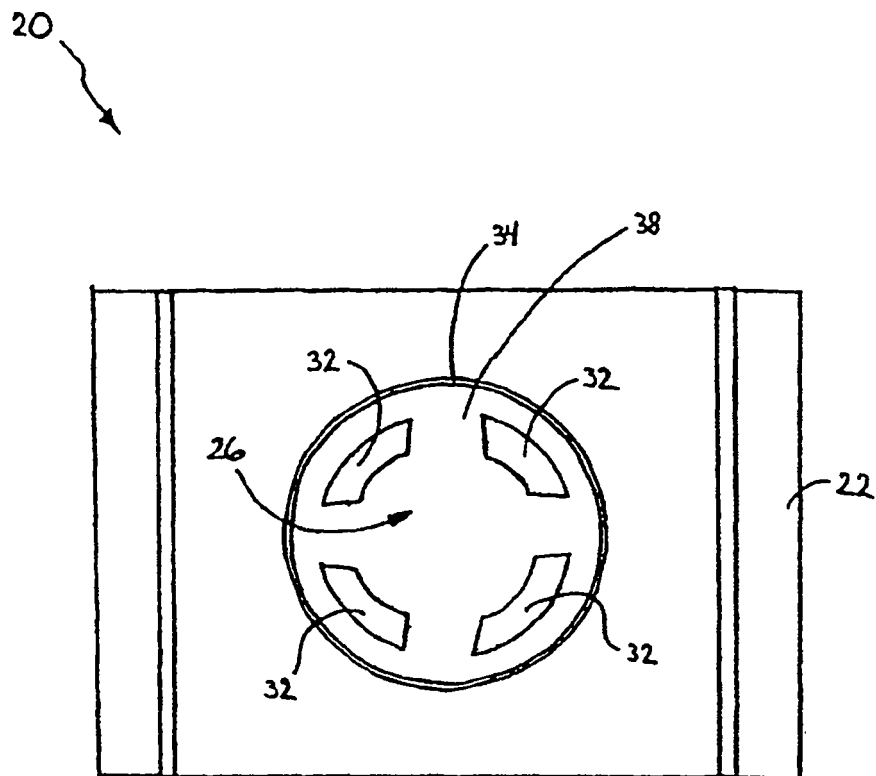


FIG. 7

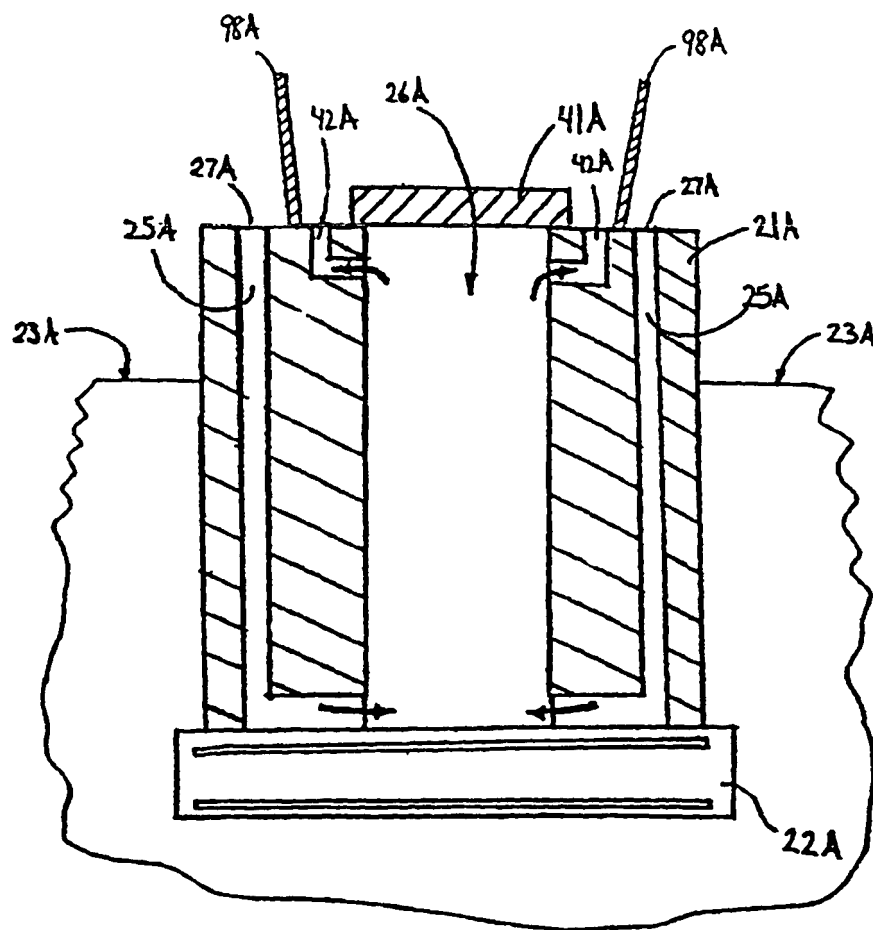


FIG. 8A

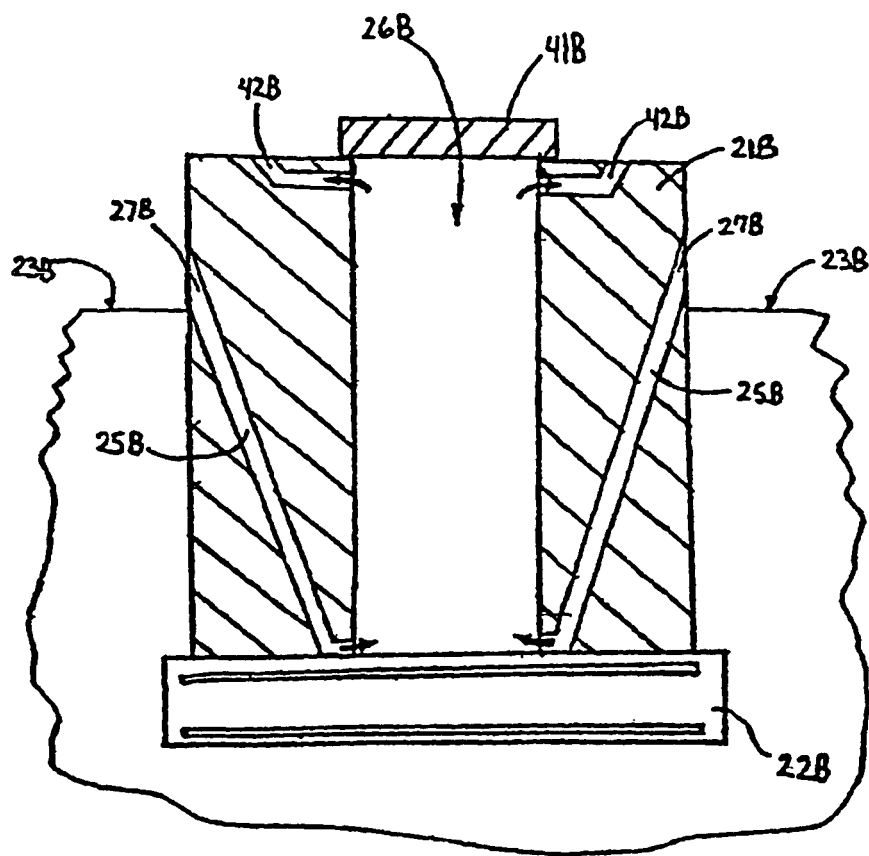


FIG. 8B

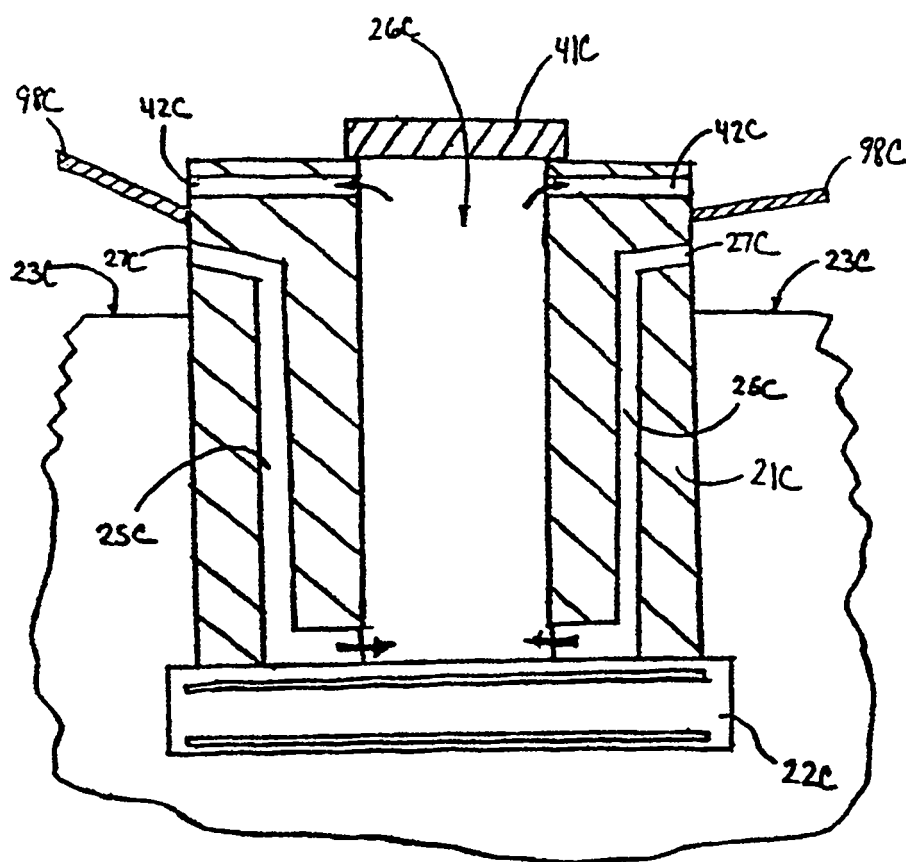


FIG. 8c

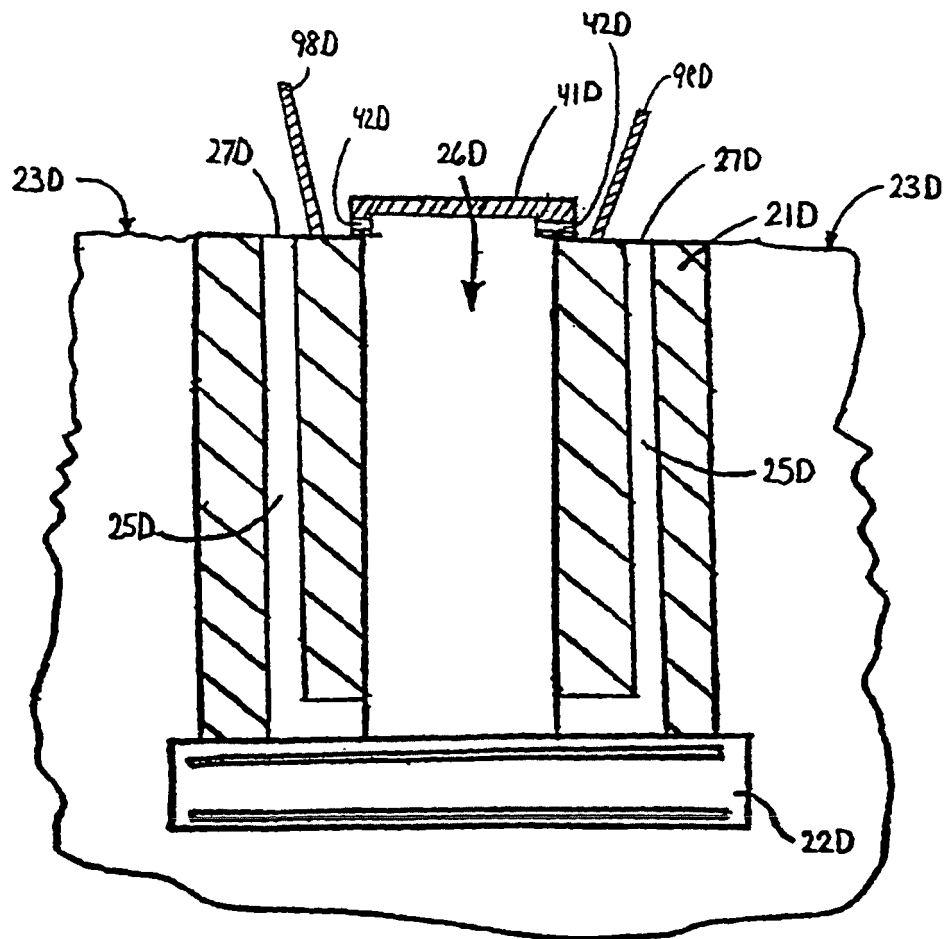


FIG. 8D

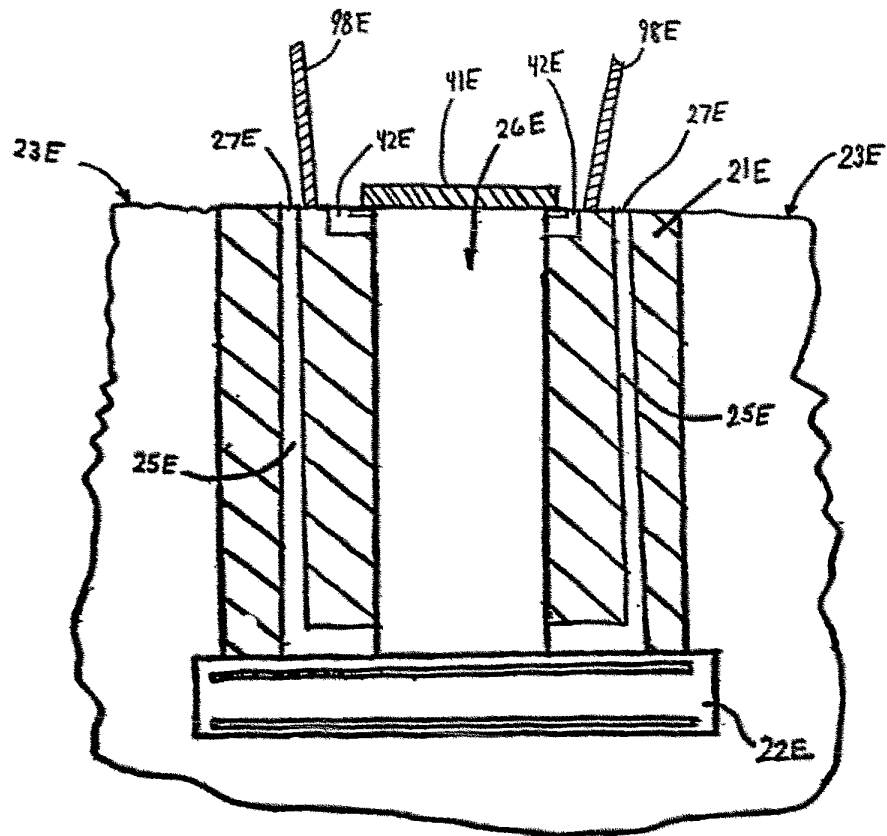


FIG. 8E

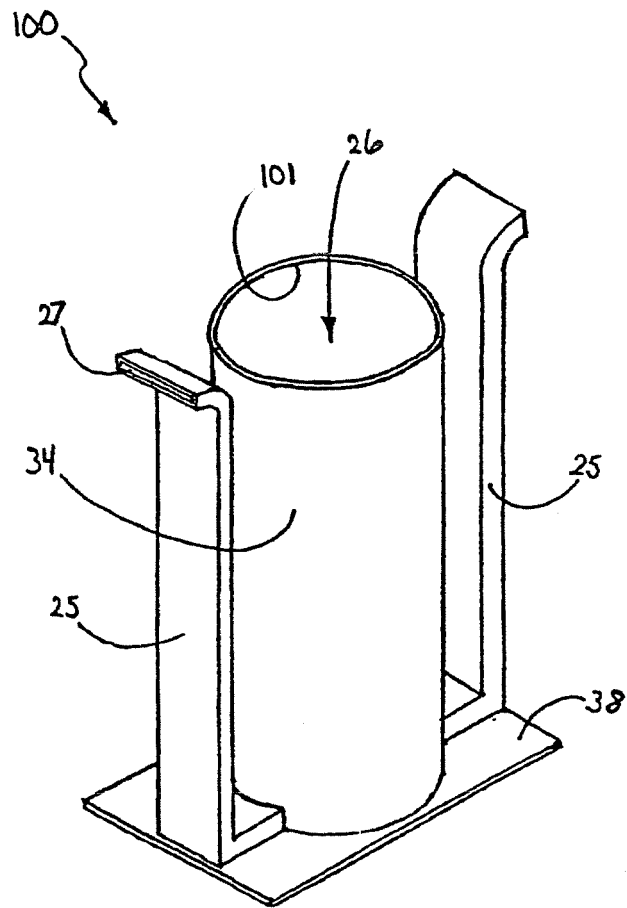


Fig. 9

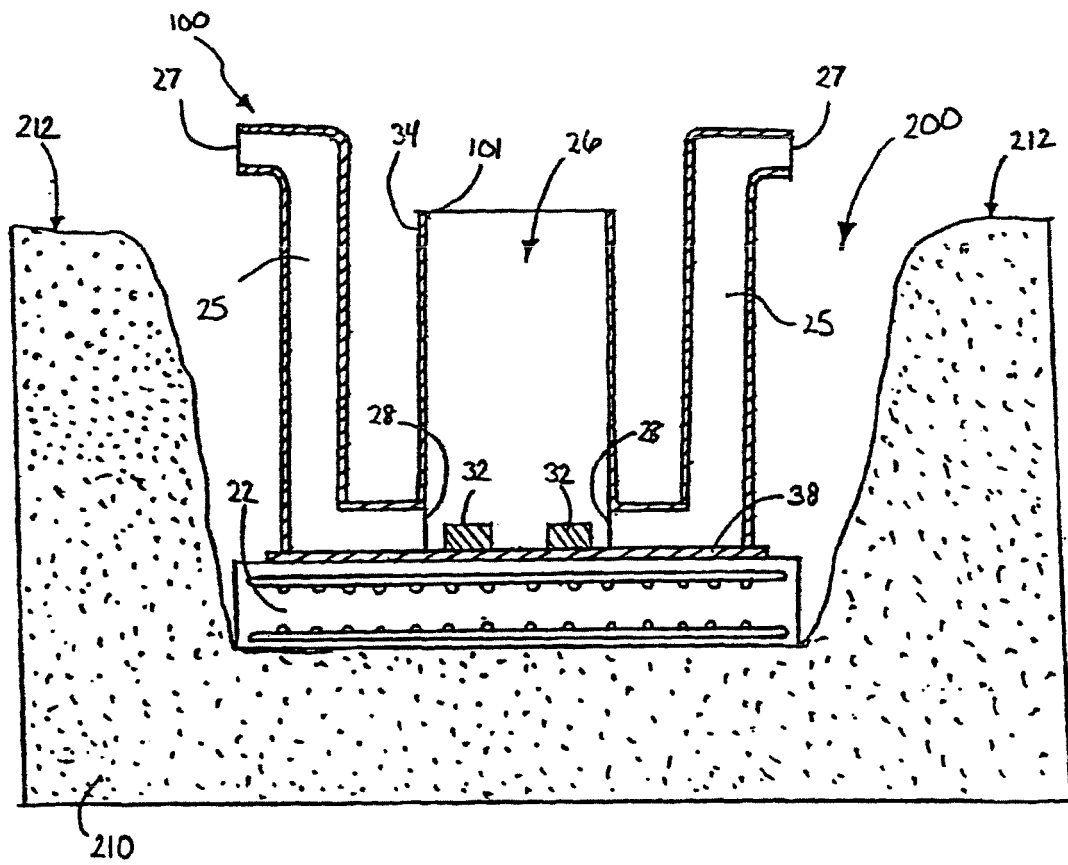


Fig. 10

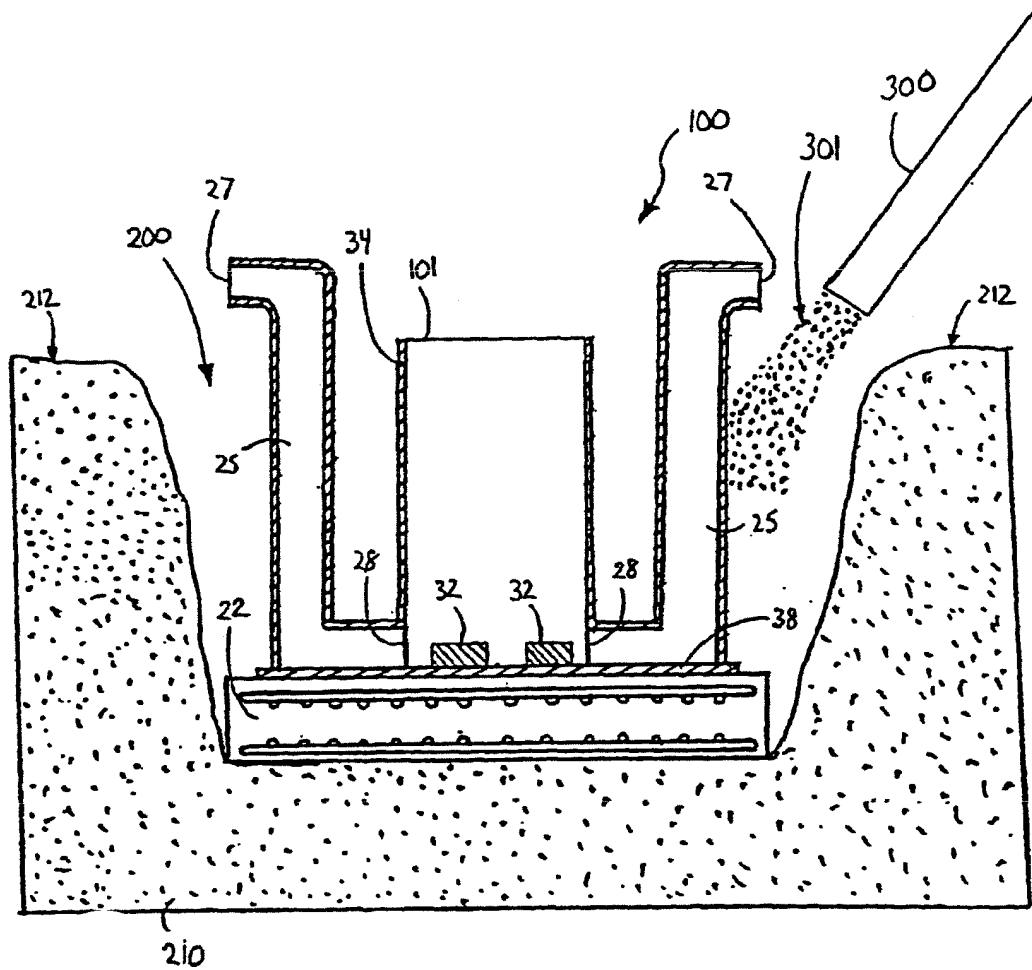


Fig. 11

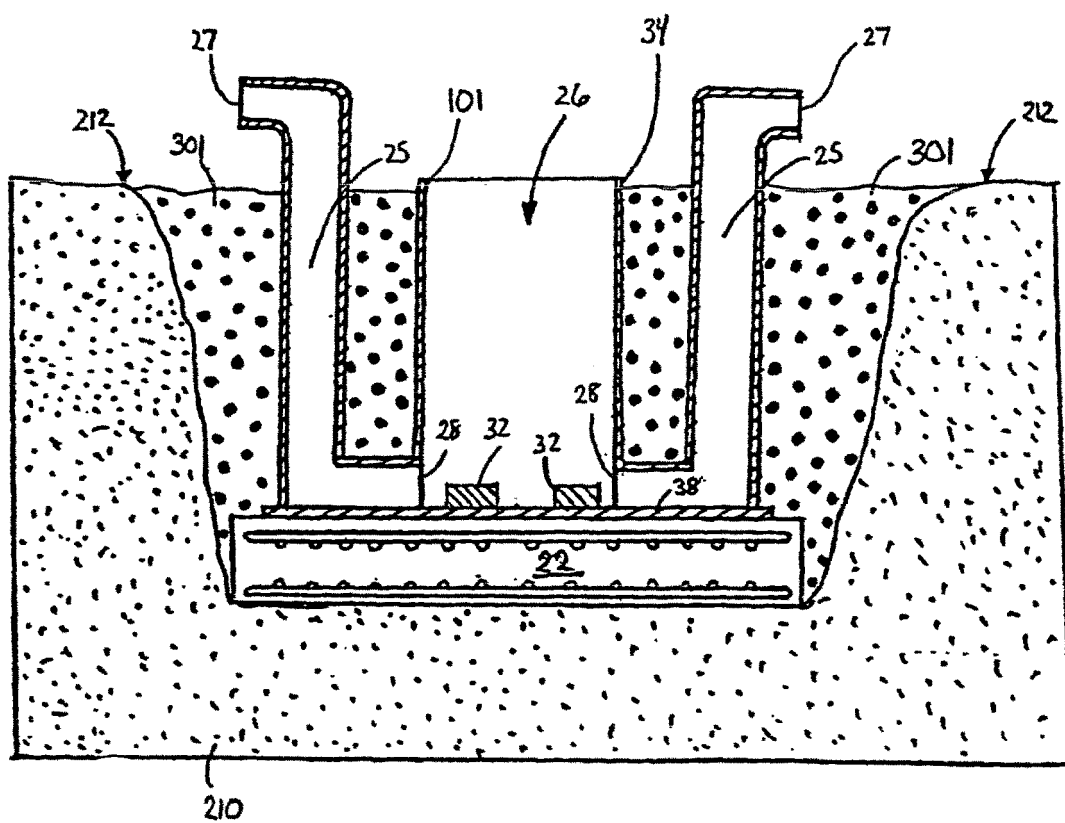


Fig. 12

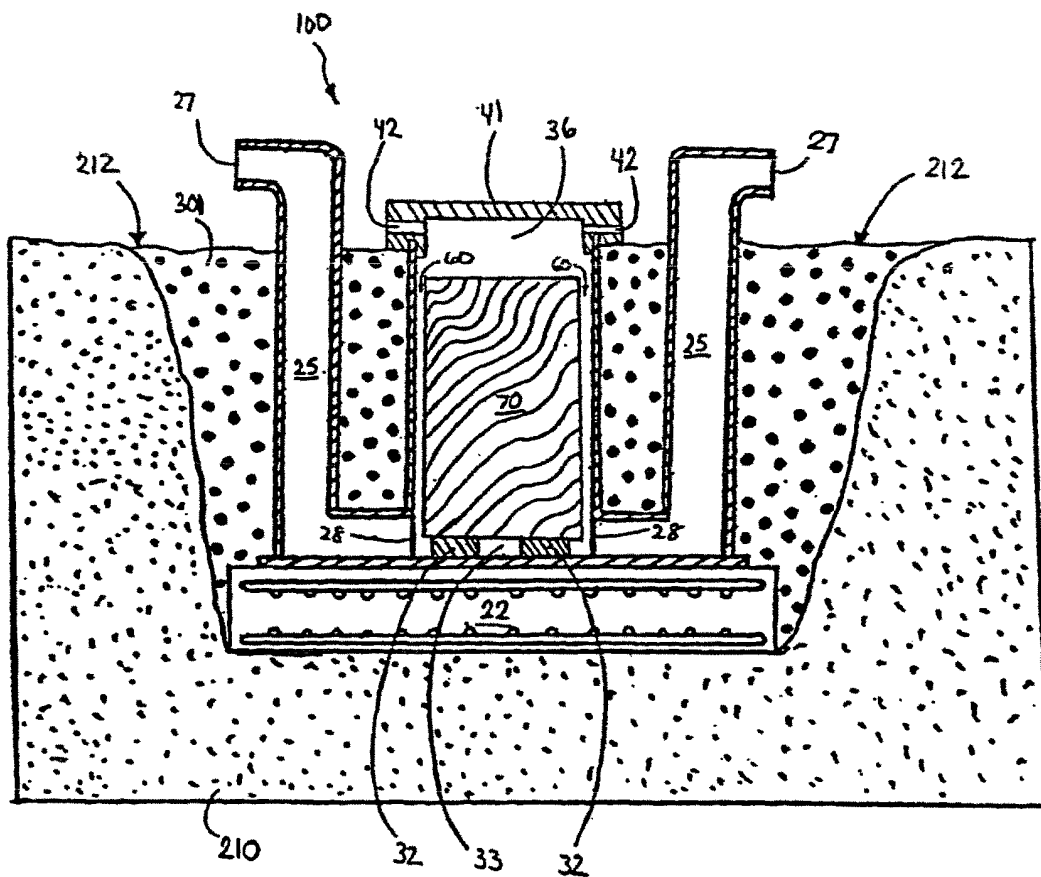


Fig. 13

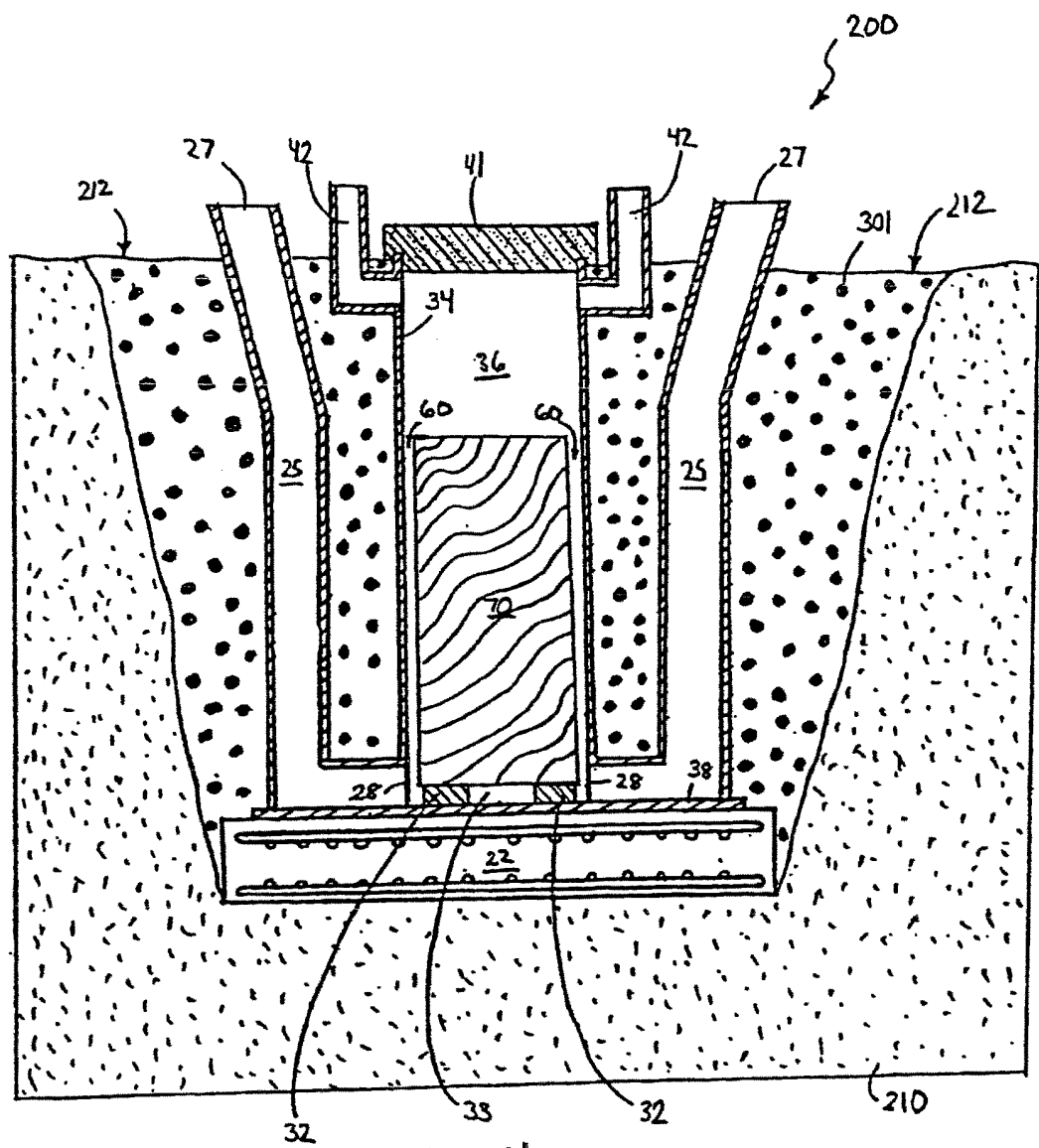


Fig. 14

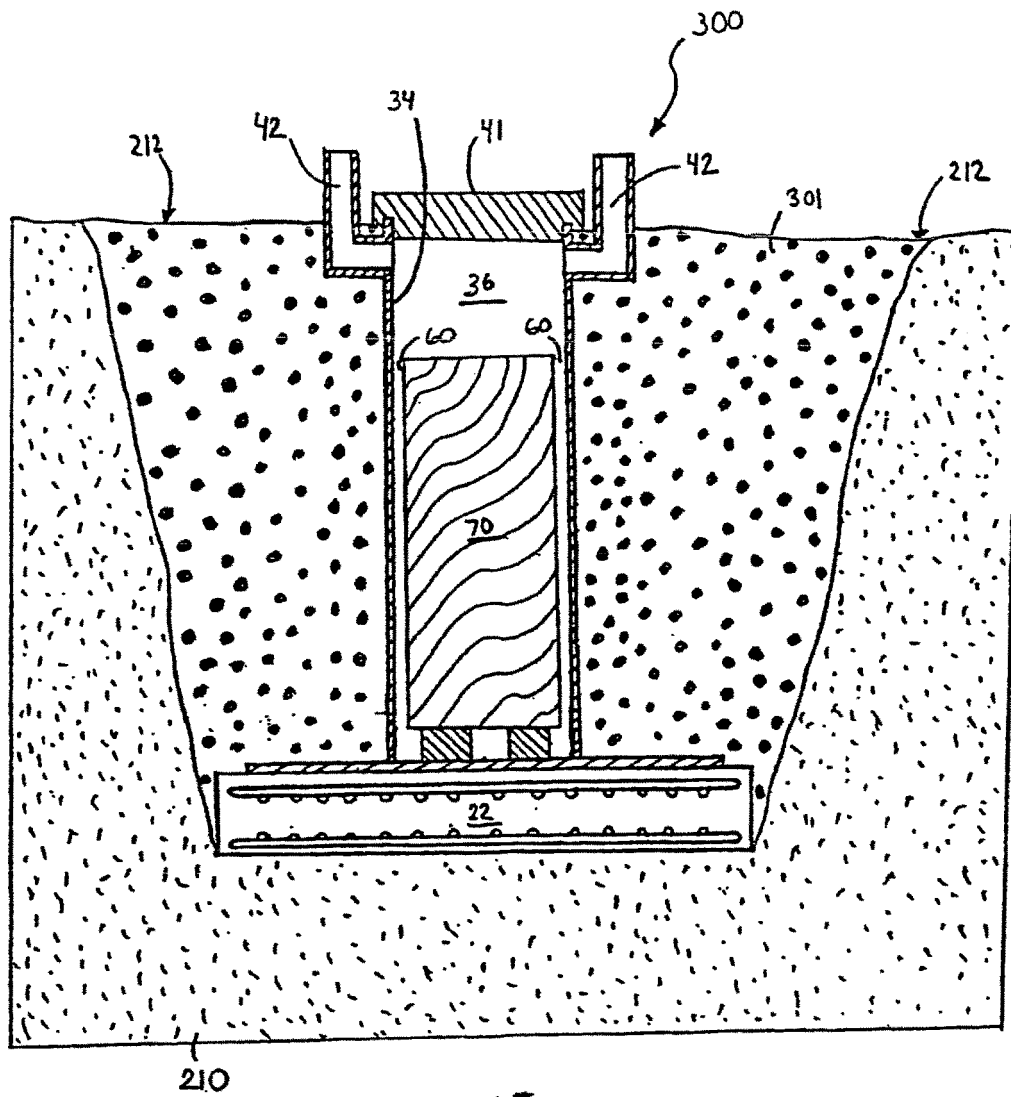


Fig. 15