

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 277**

51 Int. Cl.:

**G21F 5/008** (2006.01)

**G21F 5/12** (2006.01)

**G21C 19/06** (2006.01)

**G21F 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2015 PCT/US2015/027455**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2015 WO15164705**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2015 E 15782253 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3134900**

54 Título: **Sistema de almacenamiento para combustible nuclear**

30 Prioridad:

**24.04.2014 US 201461983606 P**

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

**02.06.2020**

73 Titular/es:

**HOLTEC INTERNATIONAL (100.0%)  
One Holtec Drive  
Marlton, NJ 08053, US**

72 Inventor/es:

**SPRINGMAN, RICHARD M. y  
AGACE, STEPHEN J.**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 764 277 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de almacenamiento para combustible nuclear

### 5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 61/983.606 presentada el 24 de abril de 2014.

### 10 Antecedentes

La presente invención se refiere en general a la contención de combustible nuclear y más en concreto a una cápsula y método relacionado para almacenar o transportar varillas o barras individuales de combustible nuclear incluyendo barras dañadas.

15 Las piscinas de reactor almacenan conjuntos de combustible usados después de la extracción y descarga del reactor. Los conjuntos de combustible y las barras de combustible individuales que contienen pueden dañarse y ponerse en peligro durante las operaciones del reactor, dando lugar a defectos de revestimiento, rotura, alabeo u otro daño. Los conjuntos y las barras de combustible dañados resultantes se colocan en las piscinas de reactor después de la extracción y descarga del núcleo de reactor. Eventualmente, los conjuntos dañados, barras de combustible y/o los residuos de combustible deben sacarse de las piscinas, permitiendo por ello la puesta fuera de servicio de las plantas.

25 Las normas sobre almacenamiento y transporte en muchos países no permiten el almacenamiento o el transporte de conjuntos de combustible dañados sin encapsulación en una cápsula secundaria que proporcione confinamiento. Debido a las altas dosis de los conjuntos de combustible usados después de la descarga, el encapsulamiento de conjuntos de combustible se efectúa tradicionalmente de forma subacuática. Además, algunos países pueden requerir la extracción de barras de combustible individuales dañadas del conjunto de combustible y el almacenamiento separado en tales cápsulas secundarias. Ya existen procesos para sacar barras individuales de un conjunto de combustible usado y para encapsulación. El secado posterior del combustible dañado después de la extracción de la piscina de reactor usando secado al vacío tradicional es un reto insuperable porque puede penetrar agua a través de los defectos del revestimiento y quedar atrapada dentro de los materiales de revestimiento. Ejemplos de procesos conocidos que intentan afrontar los retos relacionados con el secado, el almacenamiento y el transporte de combustible dañado se describen, por ejemplo, en los documentos DE102012212006 y  
35 US2014039235.

Se desea un sistema mejorado de almacenamiento de combustible y un método para secar, almacenar y transportar barras de combustible dañadas.

### 40 Breve resumen

Según la presente invención, se proporciona un sistema mejorado de almacenamiento de combustible nuclear y método relacionado según el conjunto anexo de reivindicaciones.

### 45 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se entenderá más plenamente por la descripción detallada y los dibujos acompañantes, donde los elementos análogos van etiquetados de forma similar y en los que:

50 La figura 1 es una vista en perspectiva de un sistema de almacenamiento de barras de combustible incluyendo una cápsula y una tapa de cierre sellable.

La figura 2 es una vista ampliada del mismo que representa el extremo superior de la cápsula y la tapa instaladas.

55 La figura 3 es una vista ampliada del mismo que representa el extremo superior de la cápsula y la tapa quitadas.

La figura 4 es una vista en perspectiva superior de la tapa.

60 La figura 5 es una vista en perspectiva del mismo que representa conductos de flujo internos formados en la tapa.

La figura 6 es una vista en perspectiva inferior de la tapa.

65 La figura 7 es una vista en perspectiva superior que representa el interior de la cápsula con la tapa quitada, los tubos de almacenamiento de barra de combustible, y un tubo central de drenaje con conjunto de sellado.

La figura 8 es una vista en perspectiva en sección transversal de la cápsula que representa las partes internas.

La figura 9A es una vista en alzado lateral en sección transversal de la misma.

La figura 9B es un detalle ampliado tomado de la figura 9A.

La figura 10A es una vista detallada de una esquina superior de la cápsula que representa la tapa en posición, pero no sellada ni acoplada a la cápsula.

La figura 10B es una vista de la misma que representa la formación de una junta estanca soldada para acoplamiento de la tapa a la cápsula.

La figura 11 es vista en perspectiva superior de una tapa de un contenedor de transporte con dos cápsulas de almacenamiento de barras de combustible montadas.

La figura 12 es una vista en perspectiva ampliada de una de las cápsulas de la figura 11.

La figura 13 es una vista en perspectiva en sección transversal del contenedor de transporte de la figura 11 que muestra las cápsulas.

La figura 14 es una vista ampliada de la figura 11 que representa un par de conjuntos de válvula operados a distancia instalados en la tapa de la cápsula para secar por gas el interior de la cápsula.

La figura 15 es una vista en perspectiva en sección transversal que muestra de las figuras 11 y 14 que muestran una de las cápsulas montadas en la tapa del contenedor de transporte.

La figura 15A es una vista ampliada de la figura 15 que representa el detalle de montaje y soldadura que acopla la tapa al extremo superior de la cápsula.

La figura 16 es una vista en perspectiva de una tapa a prueba de fugas montable en la cápsula.

La figura 17 es una vista en perspectiva de la cápsula y un conjunto de elevación.

Y la figura 18 es una vista ampliada de la conexión de tapa y conjunto de elevación.

Todos los dibujos son esquemáticos y no necesariamente a escala.

### Descripción detallada

Las características y los beneficios de la invención se ilustran y se describen en este documento por referencia a realizaciones ejemplares. Esta descripción de realizaciones ejemplares está destinada a leerse en conexión con los dibujos acompañantes, que se han de considerar parte de toda la descripción escrita. Consiguientemente, la descripción no se deberá limitar expresamente a tales realizaciones ejemplares que ilustran alguna posible combinación no limitativa de características que pueden estar solas o en otras combinaciones de características.

En la descripción de realizaciones descritas en este documento, cualquier referencia a dirección u orientación se hace simplemente por razones de conveniencia de la descripción y no tiene de ninguna forma la finalidad de limitar el alcance de la presente invención. Términos relativos, tales como "inferior", "superior", "horizontal", "vertical", "encima", "debajo", "arriba", "abajo", "superior" e "inferior", así como sus derivados (por ejemplo, "horizontalmente", "hacia abajo", "hacia arriba", etc), se deberán interpretar con referencia a la orientación entonces descrita o representada en el dibujo objeto de explicación. Estos términos relativos son por razones de conveniencia de la descripción solamente y no requieren que el aparato sea construido u operado en una orientación concreta. Términos tales como "unido", "fijado", "conectado", "acoplado", "interconectado" y similares se refieren a una relación donde las estructuras están fijadas o montadas una en otra directa o indirectamente a través de estructuras intervinientes, así como accesorios o relaciones tanto móviles como rígidos, a no ser que se indique expresamente lo contrario.

En el sentido en que se usa en todo este documento, cualquier rango aquí descrito se usa como expresión abreviada para describir cada valor que esté dentro del rango. Cualquier valor dentro del rango puede ser seleccionado como el término del rango.

Cada conjunto de combustible nuclear (también denominado "haces" en la técnica) incluye una pluralidad de varillas o barras de combustible acopladas juntas mecánicamente en una serie que se puede insertar como una unidad en un núcleo de reactor. Los conjuntos de combustible tienen tradicionalmente una configuración rectilínea en sección transversal, tal como una serie cuadrada, y contienen múltiples barras de combustible. Un núcleo de reactor contiene múltiples de tales conjuntos de combustible.

Las barras de combustible son estructuras tubulares metálicas alargadas generalmente cilíndricas formadas de materiales, tales como aleación de circonio. Los tubos contienen una pluralidad de pellets de combustible apilados verticalmente cilíndricos formados de dióxido de uranio sinterizado. Los tubos de barra de combustible tienen un revestimiento metálico externo formado de material resistente a la corrosión para evitar la degradación del tubo y la contaminación del agua refrigerante del reactor. Los extremos opuestos de la barra de combustible están sellados.

Las figuras 1-9B muestran un sistema de almacenamiento de combustible nuclear dañado 100 según la presente descripción. El sistema incluye una cápsula recinto de barra de combustible verticalmente alargada 110 configurada para contener múltiples barras de combustible dañadas y una tapa de cierre 200 montada encima. La tapa 200 está configurada para acoplamiento y sellado permanente a la cápsula 200, como se describe mejor en este documento.

La cápsula 110 tiene un cuerpo alargado y sustancialmente hueco formado por una pluralidad de paredes laterales contiguas 118 que definen una cavidad interna 112 que se extiende desde un extremo superior 114 a un extremo inferior 116 a lo largo de un eje vertical de línea central Cv. El extremo inferior 116 de la cápsula está cerrado por una pared. El extremo superior 114 de la cápsula está abierto para poder introducir las barras dañadas en ella. Las paredes laterales 118 se venden como estructura de modo que la cavidad 112 solamente sea accesible a través del extremo superior abierto 114 antes de fijar la tapa en la cápsula.

En una realización, la cápsula 110 puede tener una forma en sección transversal rectilínea tal como cuadrada que se conforma a la forma de un conjunto de combustible típico. Esto permite el almacenamiento de la cápsula 110 en el mismo tipo de bote o contenedor blindado a la radiación usado para almacenar múltiples conjuntos de combustible gastados, por ejemplo, sin limitación, un bote multiuso (MPC) o contenedor HI-STAR, como los que se pueden obtener de Holtec International de Marlton, NJ. Tales botes o contenedores tienen una cesta interna con una serie de aberturas de forma rectilínea para sujetar conjuntos de combustible de forma cuadrada. Se apreciará, sin embargo, que cápsulas de otras formas 110 pueden ser usadas en otras realizaciones y aplicaciones.

El cuerpo de la cápsula 110 se puede formar de cualquier material adecuado preferiblemente resistente a la corrosión para longevidad y mantenimiento de la integridad estructural. En una realización ejemplar no limitadora, la cápsula 110 se puede hacer de acero inoxidable y tener un grosor de pared nominal de 6 mm.

En algunas realizaciones, la cápsula 110 puede incluir además una pestaña de montaje lateralmente ampliada 111 dispuesta en y adyacente al extremo superior 114, como se representa en las figuras 1-3 y 7-9A. La pestaña de montaje 111 se extiende lateralmente hacia fuera de las paredes laterales 118 en todos los lados y verticalmente hacia abajo del extremo superior 114 a lo largo de las paredes laterales una distancia corta. La pestaña de montaje 111 está configurada y dimensionada para enganchar una abertura de montaje 302 formada en un bote de almacenamiento 300, soportando por ello todo el peso de una cápsula cargada 110 de manera verticalmente en voladizo, como se representa en las figuras 11-13 y se describe mejor en este documento. En otras realizaciones, puede usarse métodos diferentes para soportar la cápsula 110 en el bote de almacenamiento y la pestaña de montaje 111 puede omitirse.

Con referencia ahora en particular a las figuras 3, 7, 8 y 9A, la cápsula 110 incluye además un conjunto de cesta interno configurado para almacenar y soportar una pluralidad de barras de combustible dañadas. El conjunto incluye una hoja de tubo superior 120 y una hoja de tubo inferior 122 espaciada verticalmente de aquella. Las hojas de tubo superior e inferior están orientadas horizontalmente. La hoja de tubo inferior 122 está separada de la superficie interior inferior 116a del extremo inferior 116 de la cápsula 110 por un intervalo vertical formando una cámara inferior de flujo de distribución 124. La hoja de tubo superior 120 está verticalmente espaciada hacia abajo del extremo superior 112 de la cápsula 110 una distancia D1 suficiente para formar una cámara superior de flujo de distribución 126 cuando la tapa de cierre 200 está montada en la cápsula, como se representa en la figura 15. La cámara de distribución superior 126 está formada, por lo tanto, entre la parte inferior 204 de la tapa 200 y la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120. Ambas cámaras de distribución inferior y superior 124, 126 son parte de los recorridos de flujo usados en unión con el proceso de secado/deshidratación de barras de combustible por gas después de que la cápsula ha sido cerrada y sellada, como se describe mejor en este documento.

Múltiples tubos de almacenamiento de barra de combustible 130 son soportados por las hojas de tubo superior e inferior 120, 122 para sujetar las barras de combustible dañadas (es decir, rotas y/o con fugas). En algunas realizaciones, hojas de tubo de soporte intermedias u otros elementos de soporte (no representados) pueden ser usados para proporcionar soporte suplementario y estabilidad lateral a los tubos de almacenamiento 130 para eventos sísmicos. En una realización, cada uno de los tubos de almacenamiento 130 tiene un diámetro y una cavidad interna 131 con una sección transversal configurada y dimensionada para contener no más de una sola barra de combustible. Consiguientemente, los tubos 130 se extienden verticalmente a lo largo y paralelos al eje vertical de línea central Cv de la cápsula 110 desde la hoja de tubo superior 120 a la hoja de tubo inferior 122. Cada uno de los tubos 130 es accesible a través de la hoja de tubo superior 120 (véase, por ejemplo, la figura 9A). En una realización, cada uno de los tubos 130 tienen una guía de entrada maquinada asociada en la hoja de tubo superior 120 para soportar la introducción de las barras de combustible. Por lo tanto, se ha formado una entrada anular ahusada o achaflanada 136 en la hoja de tubo superior 120 adyacente y junto al extremo superior abierto 132 de cada tubo 130. La superficie oblicuamente inclinada (con respecto al eje vertical de línea central Cv) de las entradas

achaflanadas 136 ayuda a centrar y guiar la carga de las barras de combustible dañadas a cada uno de los tubos de almacenamiento 130. Por lo tanto, el extremo superior 132 de los tubos puede estar ligeramente espaciado debajo de la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120, como se representa.

5 Los extremos inferiores 134 de los tubos de almacenamiento de barra de combustible 130 pueden descansar en la superficie inferior interior 116a de la cápsula 110. Cada tubo de almacenamiento 130 incluye una o varias aberturas de flujo 133 de cualquier forma adecuada situadas próximas a los extremos inferiores 134 de los tubos debajo de la hoja de tubo inferior 122. Las aberturas 133 permiten que entre gas a los tubos de la cámara de distribución inferior 124 durante el proceso de deshidratación forzada por gas y que suba hacia arriba a través de los tubos para secar las barras de combustible dañadas.

10 Los tubos de almacenamiento de barra de combustible 130 pueden montarse en las hojas de tubo superior e inferior 120, 122 mediante cualquier método adecuado. En algunas realizaciones, los tubos 130 pueden estar acoplados rígidamente a las hojas de tubo superior y/o inferior 120, 122, por ejemplo, por soldadura, suelta, técnicas de expansión de tubo por explosión, etc. En otras realizaciones, los tubos 130 pueden estar acoplados de forma móvil a las hojas de tubo superior y/o inferior para permitir la expansión térmica cuando sean calentados por el calor residual generado a partir de las barras de combustible en decaimiento y deshidratación forzada por gas calentado. Consiguientemente, un número de posibles escenarios de montaje de tubos rígidos y no rígidos son posibles y la invención no se limita a ninguno concreto.

15 Los tubos de almacenamiento de barra de combustible 130 se pueden disponer en cualquier configuración adecuada a condición de que las barras de combustible puedan ser insertadas fácilmente en cada tubo dentro de la piscina de combustible. En la realización ejemplar no limitadora representada, los tubos 130 están circunferencialmente espaciados y dispuestos en una serie circular alrededor de un tubo central de drenaje 150, como se describe mejor más adelante. Pueden usarse otras disposiciones y configuraciones.

20 Con referencia ahora a las figuras 7, 8, 9A, 9B y 15, el tubo central de drenaje 150 de la cápsula 110 puede montarse en aproximadamente el centro geométrico de la hoja de tubo superior 120 como se representa. El tubo central de drenaje 150 en una disposición es soportado por el eje de línea central Cv de la cápsula desde la hoja de tubo superior 120 a la hoja de tubo inferior 122 y se extiende verticalmente paralelo y coaxialmente con ella. El tubo de drenaje 150 puede estar acoplado rígidamente a las hojas de tubo 120, 122 usando las mismas técnicas descritas en este documento con respecto a los tubos de almacenamiento de barra de combustible. El tubo de drenaje 150 es una estructura hueca que forma un recorrido para introducir gas de secado de inserto al conjunto de tubos para secar el interior de la cápsula 110 después del cierre y el sellado, como se describe mejor en este documento.

25 El tubo de drenaje 150 incluye un extremo superior abierto 151 y un extremo inferior abierto 152. El extremo superior funciona como una entrada de gas y el extremo inferior funciona como una salida de gas, con respecto al recorrido de deshidratación del flujo de gas que se describe mejor en este documento. El extremo inferior 152 está abierto a la superficie inferior de la hoja de tubo inferior 122, y puede extenderse ligeramente debajo de ella, para colocar el tubo de drenaje en comunicación de fluido con la cámara de distribución inferior 124 de la cápsula 110, como se representa por ejemplo en las figuras 9A-B. Esto forma un recorrido de fluido para introducir gas de secado a la parte inferior de la cápsula 110. El extremo de salida 152 del tubo de drenaje 150 está verticalmente espaciado de la superficie interior inferior 116a de la cápsula 110.

30 El tubo de drenaje 150 puede incluir una característica de sellado configurada para formar una junta sustancialmente estanca a los gases entre la tapa de cierre 200 y el tubo de drenaje para el proceso de deshidratación forzada por gas. En una realización, la característica de sellado puede ser un conjunto de sellado empujado por muelle 140 configurado para enganchar y formar una junta estanca con la parte inferior de la tapa de cierre 200 para secado por gas. El conjunto de sellado 140 incluye un tubo corto de entrada 141, un elemento de sellado elástico ampliado 142 dispuesto encima del tubo de entrada, y el muelle 143. El tubo de entrada 141 tiene una longitud menor que la longitud del tubo de drenaje 150. El muelle 143 puede ser un muelle helicoidal de compresión en una realización que tiene un extremo superior enganchar el lado inferior 142b del elemento de sellado 142 que se extiende lateralmente (es decir, transversal al eje de línea vertical central Cv) y diametralmente más allá del tubo de entrada 141, y un extremo inferior que engancha la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120. El tubo de entrada 141 está acoplado rígidamente al elemento de sellado 142 y tiene un diámetro ligeramente menor que el tubo de drenaje 150. Esto permite que la parte inferior del tubo de entrada 141 entre en la parte superior del tubo de drenaje 150 a través del extremo superior de entrada 151 para movimiento ascendente/descendente con relación al tubo de drenaje. El muelle 143 opera para empujar el conjunto de elemento de sellado 142 y el tubo de entrada 141 a una posición inactiva sobresaliente hacia arriba lejos de la hoja de tubo superior 120 preparado para enganchar la tapa de cierre 200, como se describe mejor en este documento. Consiguientemente, el conjunto de sellado 140 es axialmente móvil a lo largo del eje vertical de línea central desde la posición inactiva sobresaliente hacia arriba a una posición de sellado inactiva situada hacia abajo.

35 En una realización, el elemento de sellado 142 puede tener una forma circular en vista en planta superior y una superficie de sellado curvada de forma convexa o abovedada 142a en vista lateral en sección transversal (véanse,

por ejemplo, las figuras 9A y 9B). La superficie de sellado curvada 142a asegura el enganche de sellado positivo con un tubo de prolongación de salida de suministro de gas 210 en la tapa de cierre de cápsula 200 (véase la figura 6) para compensar las irregularidades en los bordes de superficie de extremo de tubo de prolongación y un centro menos que exacto del tubo de prolongación con respecto al elemento de sellado 142, evitando por ello el escape sustancial de gas de secado cuando estén acoplados conjuntamente. El elemento de sellado 142 incluye un agujero pasante verticalmente orientado 144 para formar un recorrido de fluido a través del elemento de sellado al tubo de drenaje 150.

En una realización, el elemento de sellado 142 se puede hacer de un material elastomérico elásticamente deformable adecuado para el entorno de una cápsula de almacenamiento de barras de combustible radiactivas dañadas. La junta estanca elastomérica proporciona un sellado suficiente y una interfaz resistente a fugas entre el tubo central de drenaje 150 y la tapa de cierre 200 para que el gas inerte de secado (por ejemplo, helio, nitrógeno, etc) sea bombeado por el tubo central de drenaje a la parte inferior de la cápsula 110 durante el proceso de deshidratación forzada por gas.

Se apreciará que se puede usar otros tipos de juntas estancas y disposiciones. Consiguientemente, en algunas realizaciones, se puede usar elementos de sellado metálicos o compuestos de metal-elastomérico. El elemento de sellado también puede tener otras configuraciones o formas en lugar de forma convexa abovedada, tal como un disco conformado con una superficie superior plana u otra forma. En otras realizaciones se puede usar un conjunto de sellado no activado por muelle. Consiguientemente, la invención no se limita por el material de construcción o el diseño de la junta estanca y el conjunto de sellado a condición de que se pueda formar una junta relativamente estanca a los gases entre el tubo de prolongación de salida de gas 210 de la tapa de cierre y el tubo de drenaje 150 para deshidratación forzada por gas de la cápsula 110.

El conjunto de cesta de barras combustible, incluyendo las hojas de tubo anteriores, los tubos de almacenamiento de barras, el tubo central de drenaje y el conjunto de sellado, se puede hacer de cualquier material adecuado preferiblemente resistente a la corrosión tal como acero inoxidable. Pueden usarse otros materiales apropiados.

La tapa de cierre 200 se describirá mejor ahora.

Con referencia a las figuras 1-6 y 15, la tapa 200 en una realización puede tener un cuerpo en forma de cubo generalmente rectilíneo para complementar la forma de la cavidad 112 en la cápsula 110 en la que se recibe al menos una parte de la tapa. Consiguientemente, en una realización, la tapa 200 y la cápsula 110 pueden tener una forma cuadrada en vista en planta superior. La tapa 200 tiene además una estructura interna sustancialmente sólida excepto para los conductos de flujo de gas formados en ella, como se describe mejor más adelante. La tapa 200 está formada de un metal preferiblemente resistente a la corrosión, tal como acero inoxidable. Pueden usarse otros materiales.

La tapa 200 incluye una superficie superior 202, una superficie inferior 204 y lados laterales 206 que se extienden entre las superficies superior e inferior. Los lados laterales 206 de la tapa tienen una anchura dimensionada para permitir la introducción de la mayor parte de la altura de la tapa a la cavidad 112 de la cápsula. La parte inferior de la tapa 200 incluye una faldilla periférica 212 que se extiende alrededor del perímetro de la superficie inferior 204 que engancha y descansa en la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120 de la cápsula 110 cuando la tapa está montada en la cápsula. En una realización, la faldilla 212 es de estructura continua y se extiende alrededor de todo el perímetro sin interrupción. La faldilla 212 sobresale hacia abajo una distancia de la superficie inferior 204 de la tapa que está rebajada encima del borde inferior 212a de la faldilla. Forma un espacio abierto hacia abajo 211 que tiene una profundidad proporcional con la altura de la faldilla 212. Cuando el borde inferior 212a de la faldilla 212 descansa en la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120, la cámara de distribución superior 126 está formada entre la superficie inferior 204 de la tapa 200 y la hoja de tubo superior dentro y en el interior de la faldilla 212. El borde inferior 212a de la faldilla 212 forma por ello una junta estanca entre la hoja de tubo superior 120 y la tapa 200 para deshidratación forzada por gas de la cápsula 110.

Una pestaña de asiento ampliada 208 se extiende alrededor de todo el perímetro de la tapa 200 adyacente a la superficie superior 202 y sobresale lateralmente más allá de los lados 206. La superficie superior 202 puede estar rebajada debajo del borde superior 208a de la pestaña de asiento 208 como se representa. Entre la pestaña de asiento 208 y los lados 206 está formado un saliente escalonado 213 que engancha y asienta en un saliente de acoplamiento 113 formado dentro de la pestaña de montaje 111 de la cápsula 110 en la cavidad 112 (véase en particular la figura 15A). Ambos salientes de acoplamiento 213 y 113 se extienden alrededor de todas las zonas perimétricas de la tapa 200 y la cápsula 110 respectivamente y limitan la profundidad de introducción de la tapa en la cápsula.

En una realización, los bordes superiores 111a y 208a de la pestaña de montaje 111 y la pestaña de asiento 208 respectivamente están a nivel uno con otro y están en aproximadamente el mismo plano horizontal cuando la tapa de cierre 200 está completamente montada en la cápsula 110 (véanse, por ejemplo, las figuras 10A, 10B y 15A). Esto facilita la formación de una soldadura de ranura en V abierta 205 para sellar herméticamente la tapa a la cápsula. Cada una de las pestañas de montaje y asiento 111, 208 incluye caras biseladas opuestas 115, 208

respectivamente para formar la ranura en V. A causa de la superficie rebajada superior 202 de la tapa 200 y la pestaña de montaje 111, se dispone de acceso a ambos lados de la soldadura acabada que permite ventajosamente la plena inspección volumétrica de la soldadura, por ejemplo, por prueba ultrasónica no destructiva u otros métodos. Por lo tanto, la fuente y el detector del equipo de prueba ultrasónica (UT) pueden colocarse en lados opuestos de la soldadura para un examen completo. Puede usarse un proceso de soldadura multipasada que evita cualquier agrietamiento potencial de una sola línea de soldadura en el caso de un defecto no detectado. Esto concuerda con los procesos de soldadura usados en los Estados Unidos para Botes multifinalidad (MPCs), pero se ha modificado para permitir el examen volumétrico de la soldadura (una consideración clave para la aceptación de la integridad de la soldadura por algunos reguladores internacionales). Cada pasada va seguida de una Prueba de Penetración de Líquido (LPT) para identificar defectos en la capa de soldadura cuando se forma la soldadura. La soldadura acabada se comprueba entonces volumétricamente usando UT. A diferencia de una unión empernada sellada con juntas estancas, una unión soldada con inspección volumétrica no requiere típicamente comprobaciones o supervisión de fugas antes del transporte futuro. Las figuras 10A y 10B muestran la tapa 200 y la cápsula 110 antes y después de la soldadura, respectivamente. Esto no limita la cápsula a tener una tapa empernada, similar a contenedores metálicos de doble finalidad usados para almacenamiento y transporte de combustible nuclear gastado. En tal realización, la cápsula tendría una o más juntas estancas, por ejemplo, elastoméricas o metálicas, que se comprimirían durante el apriete de los pernos de tapa en la cápsula, formando una junta estanca hermética.

Según otro aspecto de la invención, la tapa de cierre 200 está configurada para permitir la deshidratación forzada por gas de la cápsula 110 y la pluralidad de barras de combustible dañadas contenidas en ella después de soldar y sellar la tapa a la cápsula. Consiguientemente, la tapa 200 incluye una combinación de orificios de gas y conductos internos de fluido para formar un bucle de flujo cerrado a través de la cápsula 110. Con referencia ahora a las figuras 1-6 y 15, la tapa 200 incluye un orificio de suministro de gas 220 y el orificio de retorno de gas 222 formado en la superficie superior 202 de la tapa, y una salida de suministro de gas 224 y una entrada de retorno de gas 226 formadas en la superficie inferior 204 de la tapa. En una configuración, la salida de suministro de gas 224 y la entrada de retorno 226 pueden estar situadas en zonas de esquina opuestas en diagonal de la superficie superior 202 de la tapa 200 próxima a los lados laterales 206. El orificio de suministro de gas 220 está acoplado fluidicamente a la salida de suministro de gas 224 mediante un conducto interno de flujo 228. El orificio de retorno de gas 222 está acoplado fluidicamente a la entrada de retorno de gas 226 mediante otro conducto de flujo interno separado 230 que está aislado fluidicamente del conducto de flujo 228.

En una realización, cada uno de los conductos de flujo 228, 230 sigue un recorrido multidireccional tortuoso a través de la tapa para evitar la corriente continua de neutrones. En una configuración, el conducto de flujo 228 incluye una sección vertical 222a conectada a la salida de suministro de gas 224, la primera sección horizontal 228b conectada a ella, la segunda sección horizontal 228c conectada a ella, y la segunda sección vertical 228d conectada a ella y el orificio de suministro de gas 220. Las secciones de conducto de flujo 228a-d se pueden disponer en una configuración rectilínea. El conducto de flujo 228 incluye una sección vertical 230a conectada al orificio de retorno de gas 222, la sección horizontal 230b conectada a ella, y la segunda sección vertical 230c conectada a ella y la entrada de retorno de gas 226. Las secciones de conducto de flujo 230a-c también se pueden disponer en una configuración rectilínea. Dado que la tapa 200 tiene una estructura sólida interna, los conductos de flujo se pueden formar taladrando o perforando agujeros a través de los lados laterales 206 y las superficies superior e inferior 202, 204 de la tapa a puntos de intersección entre los conductos como se representa mejor en las figuras 5 y 15. Después de la formación de los conductos de flujo, las penetraciones 232 en los lados laterales 206 de la tapa pueden cerrarse usando tapones de sellado metálicos enroscados y/o soldados aplicados antes de montar y soldar la tapa 200 a la cápsula 110. Las penetraciones 232 en la superficie inferior 204 de la tapa pueden permanecer abiertas. Las penetraciones de los orificios de suministro y retorno de gas 232 en la superficie superior 202 de la tapa se pueden enroscar y cerrar usando tapones roscados 234 para permitir la extracción y la instalación de conjuntos remotos de operación de válvula 240 (RVOAs) para deshidratación forzada por gas de la cápsula, como se representa en las figuras 14 y 15.

Se deberá indicar que la salida de suministro de gas 224 en la tapa 200 está acoplada fluidicamente al tubo de prolongación de salida de suministro de gas 210. El tubo de prolongación 210 compensa la altura de la faldilla inferior 212 de la tapa para permitir el acoplamiento físico del tubo al conjunto de sellado 140 cuando la faldilla descansa en la superficie superior 128 de la hoja de tubo superior 120. En una realización, el tubo de prolongación 210 y la salida de suministro de gas 224 están centrados en la superficie inferior 204 de la tapa 200. En otras realizaciones, el tubo de prolongación puede omitirse y la penetración de la salida de suministro de gas 224 puede acoplarse directamente al conjunto de sellado 140.

Un método para almacenar y secar barras de combustible usando la cápsula 110 se describirá ahora brevemente. El método puede ser usado para almacenar barras de combustible intactas o dañadas, que pueden almacenarse en la cápsula 110.

El proceso comienza abriendo la parte superior de la cápsula 110 de modo que los tubos de almacenamiento 130 sean accesibles para carga. La operación de carga implica insertar las barras de combustible en los tubos de almacenamiento 130. Después de que la cápsula ha sido completamente cargada, se monta la tapa 200 en el

extremo superior 114 y se sella a la cápsula. En una realización preferida, la tapa es soldada y sellada a la cápsula como se describe en otro lugar de este documento para formar una junta estanca a los gases.

5 Después de que la tapa 200 ha sido soldada y sellada a la cápsula 110, el interior de la cápsula y las barras de combustible que contienen pueden ser secadas usando un sistema de deshidratación forzada por gas calentado (FGD) por ejemplo, los que pueden obtenerse de Holtec International de Marlton, Nueva Jersey. Las Patentes de Estados Unidos, en condominio, 7.096.600, 7.210.247, 8.067.659, 8.266.823 y 7.707.741 describen los sistemas y procesos indicados anteriormente.

10 Los conjuntos de válvula operados a distancia 240 se instalan primero en los orificios de suministro de gas y de retorno de gas 220, 222. Las válvulas se conectan entonces a las líneas de suministro de gas y retorno del sistema FGD. Los pasos siguientes, descritos con más detalle en este documento, incluyen bombear el gas inerte de secado del sistema o la fuente FGD a través del conducto de suministro de gas a la cavidad 112 de la cápsula 110 y a la cámara de distribución inferior 124, fluyendo el gas a través de cada uno de los tubos de almacenamiento 130 para  
15 secar las barras de combustible, recogiendo el gas que sale de los tubos de almacenamiento en la cámara de distribución superior 126, y fluyendo el gas a través del conducto de gas de retorno de nuevo a la fuente FGD. El proceso continúa durante un período de tiempo hasta que el análisis del gas de secado presenta un nivel aceptable de extracción de humedad de la cápsula 110.

20 Con referencia ahora a las figuras 5, 9A, 14 y 15, los tapones roscados 234 pueden quitarse primero de los orificios de suministro y retorno de gas 220 y 222 en la tapa 200 que se suelda a la cápsula 110. Un conjunto de válvula operativa remoto 240 se acopla entonces a rosca a cada orificio 220, 222. Las líneas de suministro de gas y retorno desde el patín del sistema FGD que soporta el equipo del sistema de deshidratación se acoplan entonces fluidicamente a los conjuntos de válvula. El proceso de deshidratación y secado se prepara ahora para comenzar  
25 bombeando el gas de secado inerte y caliente del sistema FGD a través de la cápsula 110 para secar las barras de combustible en los tubos de almacenamiento 130, como se describe mejor en este documento.

El gas suministrado desde el sistema FGD fluye primero a través del primer conjunto de válvula 240 a la tapa 200 a través del orificio de suministro de gas 220. El gas de suministro fluye entonces a través del conducto de flujo 228 a la salida de suministro de gas 224 y luego al tubo de prolongación de salida de suministro de gas 210. El gas de suministro entra en el conjunto de sellado 140 y fluye hacia abajo a través del tubo central de drenaje 150 a la cámara de distribución inferior 124 de la cápsula 110. El gas en la cámara de distribución inferior entra en la parte inferior de los tubos de almacenamiento de barra de combustible 120 a través de aberturas 133 formadas en y  
30 próximas a los extremos inferiores 134 de los tubos. El gas fluye y sube a través de cada uno de los tubos de almacenamiento 120 para secar las barras de combustible dañadas almacenada en ellos. El gas entra entonces en la cámara de distribución superior 126 encima de la hoja de tubo superior 120 debajo de la tapa 200. Desde aquí, el gas sale de la cámara de distribución superior y entra en la entrada de retorno de gas 226 en la tapa. El gas fluye a través del conducto de flujo 230 al orificio de retorno de gas 222 y al conjunto de válvula operativa remoto 240 conectado a él. El gas de retorno vuelve entonces a través de la línea de retorno al patín del sistema FGD para  
40 completar el bucle de flujo cerrado.

Ventajosamente, la presente invención permite el secado de múltiples barras de combustible dañadas en la cápsula 110 simultáneamente en vez de en base a piezas individuales. Esto ahorra tiempo, dinero y dosis de radiación del  
45 operador.

Según otro aspecto de la invención, la tapa 200 incluye un orificio de elevación roscado 340 configurado para el acoplamiento temporal a un conjunto de elevación 342 que puede ser usado para mover y transportar la cápsula 110 alrededor de la piscina de combustible y cargarla en contenedores de transporte o botes multiuso. El conjunto de elevación 342 en una realización puede incluir una varilla de elevación 344 incluyendo un extremo inferior roscado  
50 346 para acoplamiento rotativo al orificio de elevación roscado 340 y un extremo operativo superior opuesto 348 configurado para acoplamiento a equipo tal como una grúa que puede ser usada para elevar y maniobrar la cápsula 110.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema de almacenamiento de cápsula a base de tapa que está configurado para contener y soportar una pluralidad de cápsulas 110. El sistema de almacenamiento de cápsulas incluye una tapa de carga de contenedor 400 que puede estar configurada para reconversión y sustitución de las tapas usadas en contenedores de transporte y transferencia existentes usados para carga, almacenamiento y transporte de haces de combustible no dañados. Usando la tapa temporal, los contenedores existentes pueden ser  
55 usados para proporcionar blindaje contra la radiación durante las operaciones de secado y cierre de la cápsula 110 descritas en este documento.

Con referencia a las figuras 11-15, la tapa de carga 400 puede diseñarse para cualesquiera contenedores metálicos de doble aplicación, como los suministrados por Holtec, TNI o GNS o contenedores de transferencia, como el HI-STRAC usado por Holtec International en Marlton, NJ. La tapa de carga 400 puede tener múltiples muescas o aberturas de montaje 302 que se extienden completamente a través de la tapa, cada una de las cuales está diseñada para permitir la introducción de una sola cápsula 110. Las aberturas de montaje 302 son de dimensiones  
65

- más pequeñas que la pestaña de montaje 111 de la cápsula 110 de modo que la pestaña permanece encima de la superficie superior 402 de la tapa 400. Un saliente 404 está formado debajo de cada pestaña de montaje 111 entre la pestaña y las paredes laterales 118 de la cápsula que engancha la superficie superior 402 de la tapa 400. Esto permite que las cápsulas cuelguen de la tapa 400 verticalmente en voladizo. La parte superior de la cápsula 110 se coloca, por lo tanto, aproximadamente 10-15 mm encima de la superficie 402 de la tapa en una realización representativa no limitadora para que los operarios puedan acceder fácilmente a la parte superior de las cápsulas para realizar las operaciones de cierre. La posición de las aberturas de montaje 302 puede ser optimizada para permitir el fácil acceso de los operarios a las cápsulas durante las operaciones de secado y cierre.
- 5
- 10 Según otro aspecto de la invención representado en la figura 16, se proporciona una tapa a prueba de fugas 500 que puede estar acoplada y sellada a la pestaña de montaje 111 de la cápsula 110. La tapa 500 montada en la pestaña de montaje 111 de la cápsula 110 e incluye un conjunto de conexión de tubos 502 que permite el enganche a equipo de prueba de fugas para la realización de una prueba de fugas integrada de toda la cápsula sellada 110.
- 15 Aunque la cápsula de encapsulación de barras de combustible se describe aquí para uso con barras de combustible dañadas, se apreciará que la cápsula tiene además aplicabilidad para uso con barras de combustible intactas o también el almacenamiento de residuos. Consiguientemente, la invención no se limita expresamente al uso con barras de combustible dañadas únicamente.
- 20 Aunque la descripción anterior y los dibujos representan algunos sistemas ejemplares, se entenderá que se puede hacer en ellos varias adiciones, modificaciones y sustituciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones acompañantes. En particular, será claro a los expertos en la técnica que la presente invención puede realizarse en otras formas, estructuras, disposiciones, proporciones, tamaños, y con otros elementos, materiales y componentes, sin apartarse de sus características esenciales. Además, se pueden hacer numerosas variaciones en los métodos/procesos aquí descritos. Los expertos en la técnica apreciarán asimismo que la invención puede ser usada con muchas modificaciones de estructura, disposición, proporciones, tamaños, materiales, y componentes y otros, usados en la práctica de la invención, que están especialmente adaptados para entornos específicos y requisitos operativos sin apartarse de los principios de la presente invención. Por lo tanto, las realizaciones actualmente descritas se han de considerar en todos los aspectos como ilustrativas y no restrictivas, definiéndose el alcance de la invención por las reivindicaciones anexas y sin limitación a la descripción o las realizaciones anteriores. Más bien, las reivindicaciones anexas se deberán interpretar ampliamente, incluyendo otras variantes y realizaciones de la invención, que los expertos en la técnica pueden hacer sin apartarse del alcance de la invención.
- 25
- 30

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de almacenamiento de combustible (100) para almacenar barras de combustible nuclear, incluyendo el sistema:
- 5 una cápsula alargada (110) que define un eje vertical de línea central (Cv), incluyendo la cápsula un extremo superior (114), un extremo inferior (116), y paredes laterales (118) que se extienden entre los extremos superior e inferior;
- 10 una cavidad interna (112) formada dentro de la cápsula;
- una tapa (200) montada en el extremo superior de la cápsula, incluyendo la tapa una superficie superior expuesta (202) y una superficie inferior (204);
- 15 una hoja de tubo superior (120) y una hoja de tubo inferior (122) dispuestas en la cavidad (112);
- una pluralidad de tubos de almacenamiento de barra de combustible orientados verticalmente (130) que se extienden entre las hojas de tubo superior e inferior (120, 122), conteniendo cada uno de los tubos de almacenamiento de barra de combustible (130) una barra de combustible;
- 20 un tubo central de drenaje (150) que se extiende entre las hojas de tubo superior e inferior (120, 122); donde cada tubo de almacenamiento (13) tiene una sección transversal configurada y dimensionada para mantener no más de una barra de combustible;
- 25 una cámara de distribución superior (126) formada entre la tapa (200) y la hoja de tubo superior (120);
- una cámara de distribución inferior (124) formada entre la hoja de tubo inferior y el extremo inferior (116) de la cápsula (110), donde la tapa (200) incluye un primer conducto de flujo de suministro de gas (228) en comunicación de fluido con la cámara de distribución inferior a través del tubo central de drenaje (150) y un segundo conducto de flujo de retorno de gas (230) en comunicación de fluido con la cámara de distribución superior; y
- 30 un sistema de deshidratación forzada por gas acoplado fluidicamente al primer conducto de flujo de suministro de gas (228) adaptado para suministrarle un gas calentado, de tal manera que el gas calentado fluya a través del tubo central de drenaje (150) a la cámara inferior de flujo de distribución (124);
- 35 estando acoplado rigidamente el tubo central de drenaje (150) a las hojas de tubo superior e inferior (120, 122).
2. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 1, donde el conducto de flujo de suministro de gas (228) incluye un orificio de suministro de gas (220) formado en la superficie superior (202) de la tapa (200) y una salida de suministro de gas (224) formada en la superficie inferior (204) de la tapa.
- 40 3. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 2, incluyendo además un conjunto de sellado (140) que acopla fluidicamente la salida de suministro de gas (224) en la tapa (200) al tubo central de drenaje (150) para formar una conexión sin escapes.
- 45 4. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 3, donde el conjunto de sellado (140) incluye un elemento de sellado empujado por muelle (142) configurado para enganchar la salida de suministro de gas (222) en la tapa (200).
- 50 5. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 4, donde el elemento de sellado (142) está formado de un material elastomérico o metálico.
6. El sistema de almacenamiento según alguna de las reivindicaciones 3-5,
- 55 incluyendo además un tubo de prolongación de salida de gas (210) que se extiende hacia abajo desde la superficie inferior (204) de la tapa (200), estando acoplado fluidicamente el tubo de prolongación al conjunto de sellado (140).
7. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 6, donde el tubo central de drenaje (150) y el tubo de prolongación de gas (210) están alineados coaxialmente con el eje vertical de línea central (Cv) de la cápsula (110).
- 60 8. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 1, incluyendo además una faldilla periférica (212) que se extiende alrededor de un perímetro de la superficie inferior (204), descansando la faldilla en la hoja de tubo superior (120) para definir la cámara de distribución superior (126) cuando la tapa (200) está montada en la cápsula (110).
- 65 9. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 1, donde la tapa (200) incluye un orificio de suministro de gas (220) formado en la superficie superior (202) de la tapa en comunicación de fluido con el conducto de flujo de

suministro de gas (228), y un orificio de retorno de gas (222) formado en la superficie superior de la tapa en comunicación de fluido con el conducto de flujo de retorno de gas (230), estando configurado cada uno de los orificios de suministro y retorno de gas para montar en ellos un conjunto de válvula operativa remoto (240) para deshidratación forzada por gas de las barras de combustible.

5 10. El sistema de almacenamiento según la reivindicación 1, donde la tapa (200) está completamente insertada en el extremo superior (114) de la cápsula (110) de modo que la tapa no sobresalga sustancialmente por encima del borde superior de la cápsula.

10 11. Un método para almacenar y secar barras de combustible nuclear, incluyendo el método:

proporcionar una cápsula alargada orientada verticalmente (110) incluyendo un extremo superior abierto (114), un extremo inferior (116), y una cavidad interna (112), incluyendo además la cápsula una pluralidad de tubos de almacenamiento de barra de combustible orientados verticalmente (130) teniendo cada uno un extremo superior (132) espaciado debajo del extremo superior de la cápsula, teniendo cada uno de los tubos de almacenamiento una sección transversal configurada y dimensionada para mantener no más de una sola barra de combustible;

15 insertar una barra de combustible en cada uno de los tubos de almacenamiento (130);

20 montar una tapa (200) en el extremo superior (114) de la cápsula (110), incluyendo la tapa un conducto de flujo de suministro de gas (228) que se extiende entre las superficies superior e inferior (202, 204) de la tapa (200) y un conducto de flujo de retorno de gas (230) que se extiende entre las superficies superior e inferior (202, 204) de la tapa;

25 sellar la tapa (200) a la cápsula (110) para formar una junta estanca a los gases;

bombear un gas inerte de secado desde una fuente a través del conducto de suministro de gas (228) a la cavidad (112) de la cápsula (110);

30 hacer fluir el gas a través de cada uno de los tubos de almacenamiento (130);

recoger el gas que sale de los tubos de almacenamiento (130); y

35 hacer fluir el gas a través del conducto de gas de retorno (230) de nuevo a la fuente;

**caracterizado porque** el gas que fluye a través del conducto de suministro de gas (228) es bombeado directamente a una cámara de distribución inferior (124) en la cápsula (110) a través de un tubo central de drenaje (150) y pone en derivación los tubos de almacenamiento (130), y donde los tubos de almacenamiento están verticalmente orientados y el gas entra en un extremo inferior (134) de cada tubo de almacenamiento y sale a través de un extremo superior (132) de cada tubo de almacenamiento.

40 12. El método según la reivindicación 11, donde el paso de recogida incluye hacer fluir el gas que sale de los tubos de almacenamiento (130) a una cámara de distribución superior (126) formada entre los extremos superiores (132) de los tubos y la tapa (200).

45 13. El método según la reivindicación 11, donde el paso de sellado incluye soldar la tapa a la cápsula.

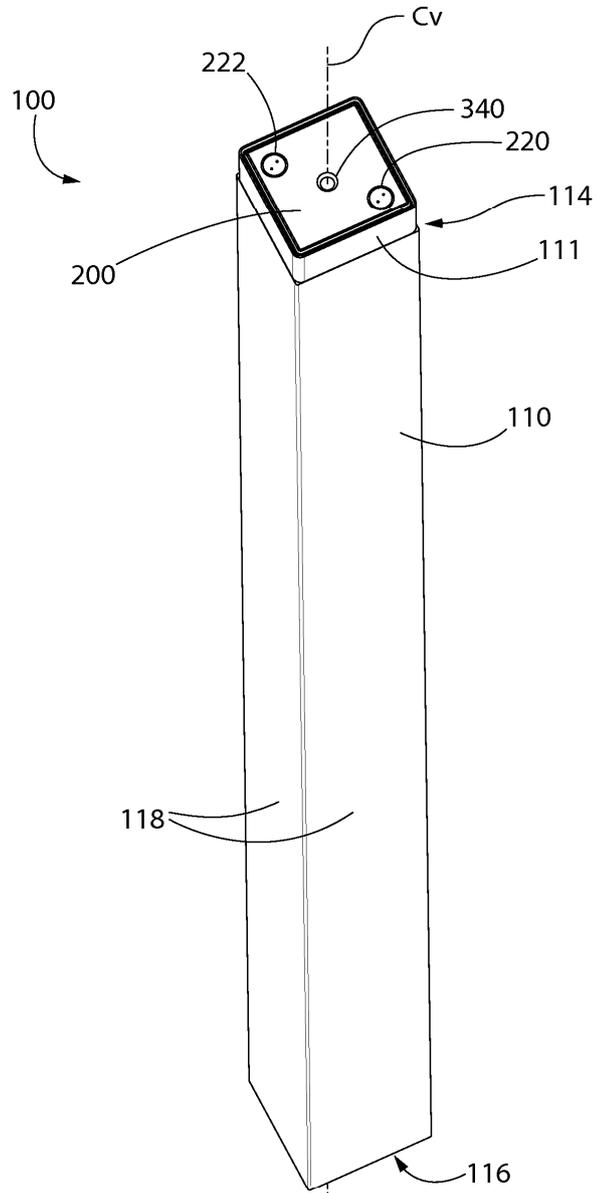


FIG. 1

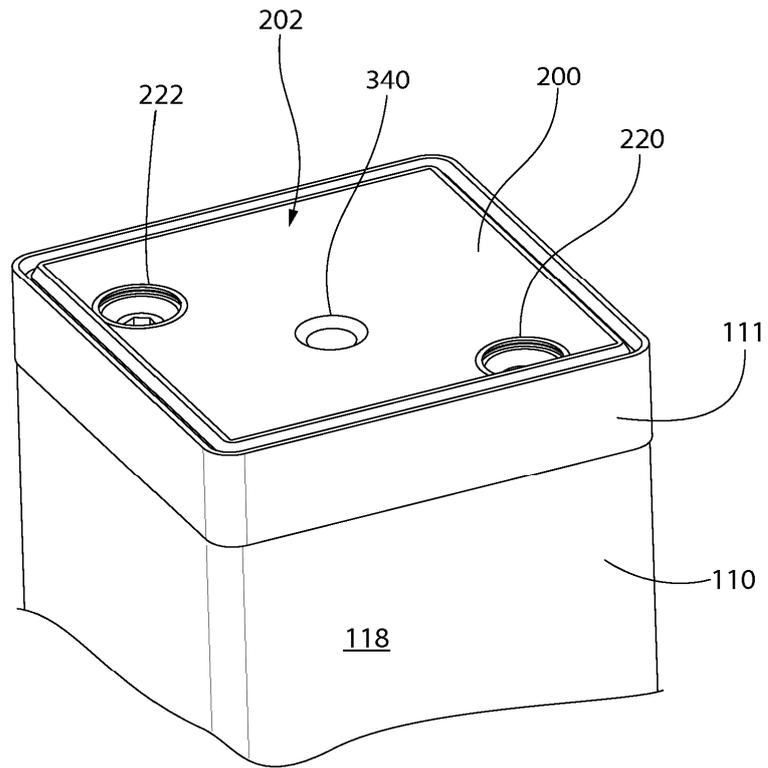


FIG. 2

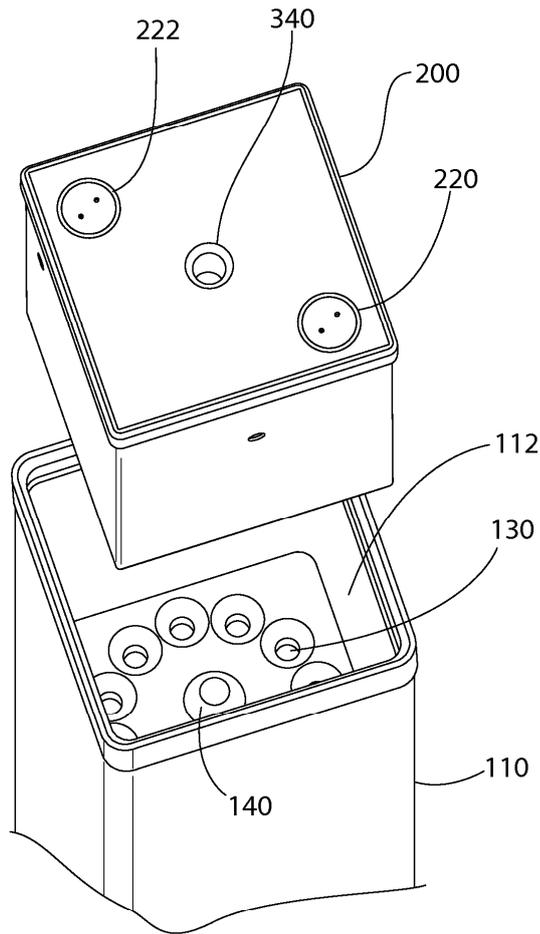


FIG. 3

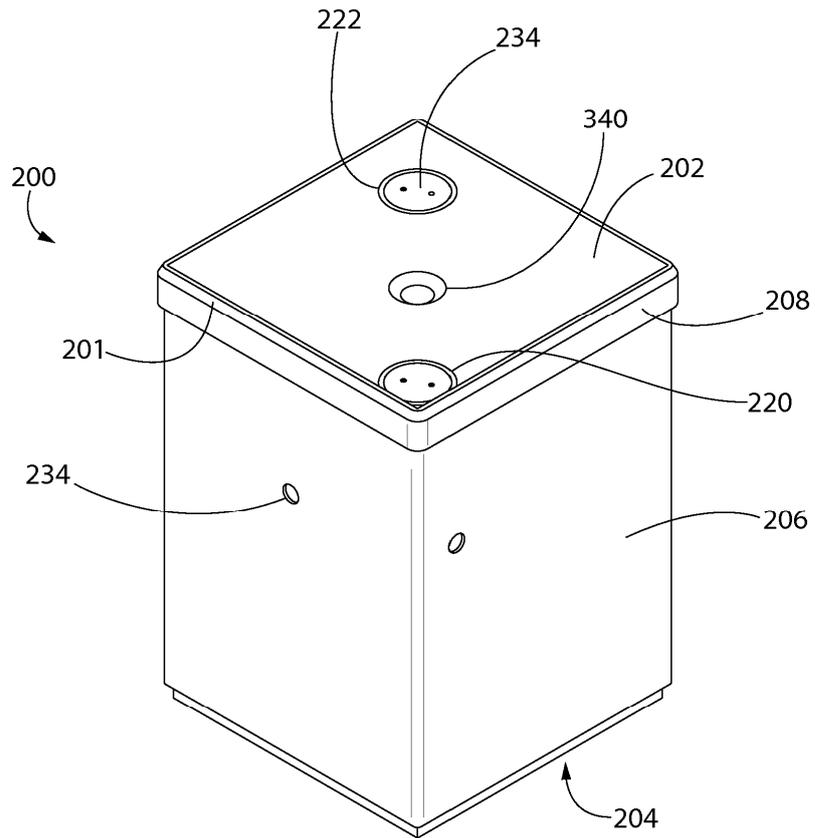


FIG. 4

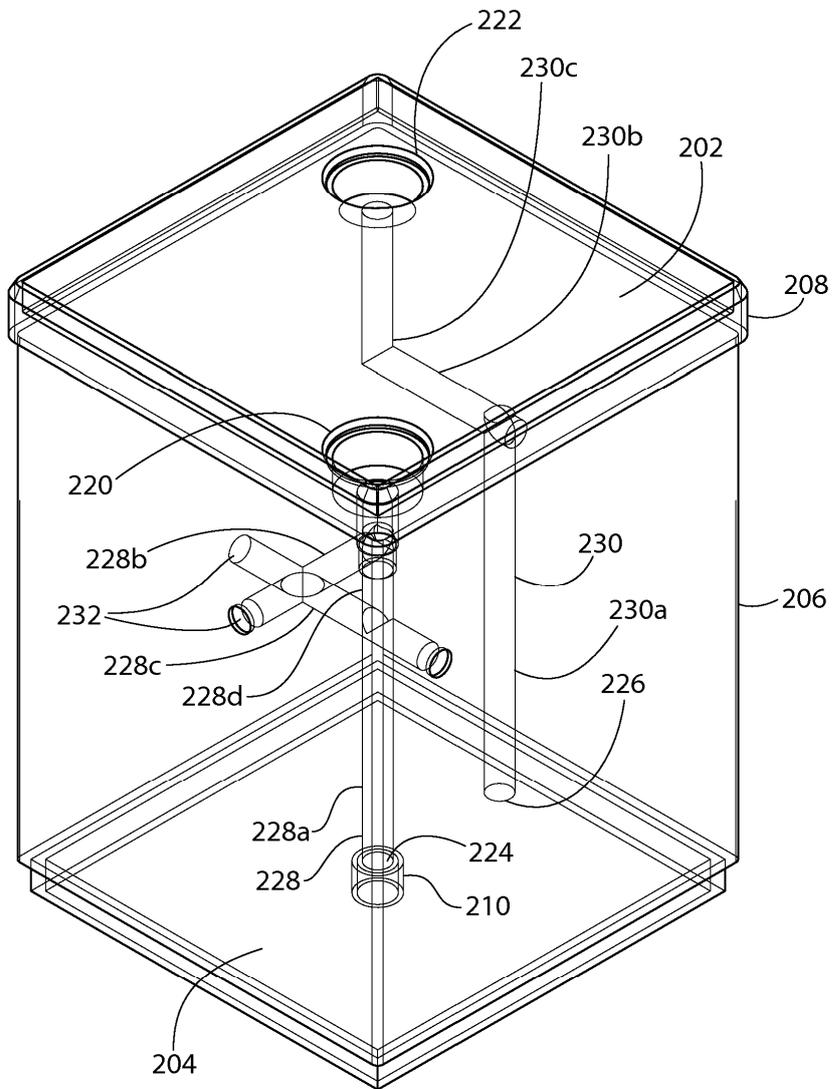


FIG. 5

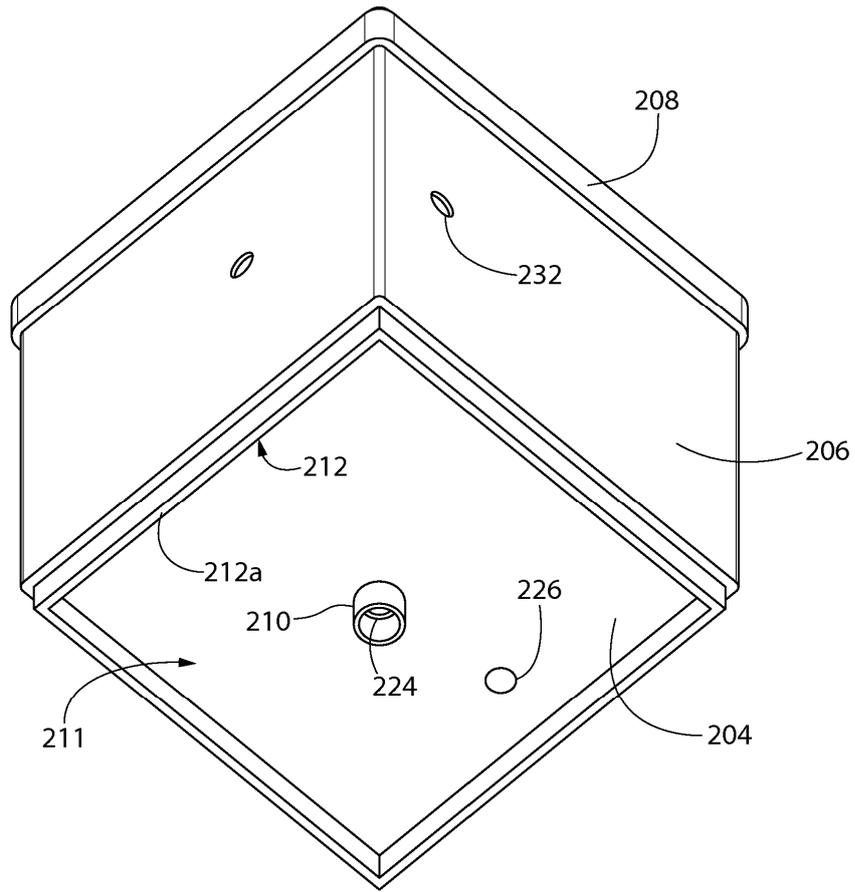


FIG. 6

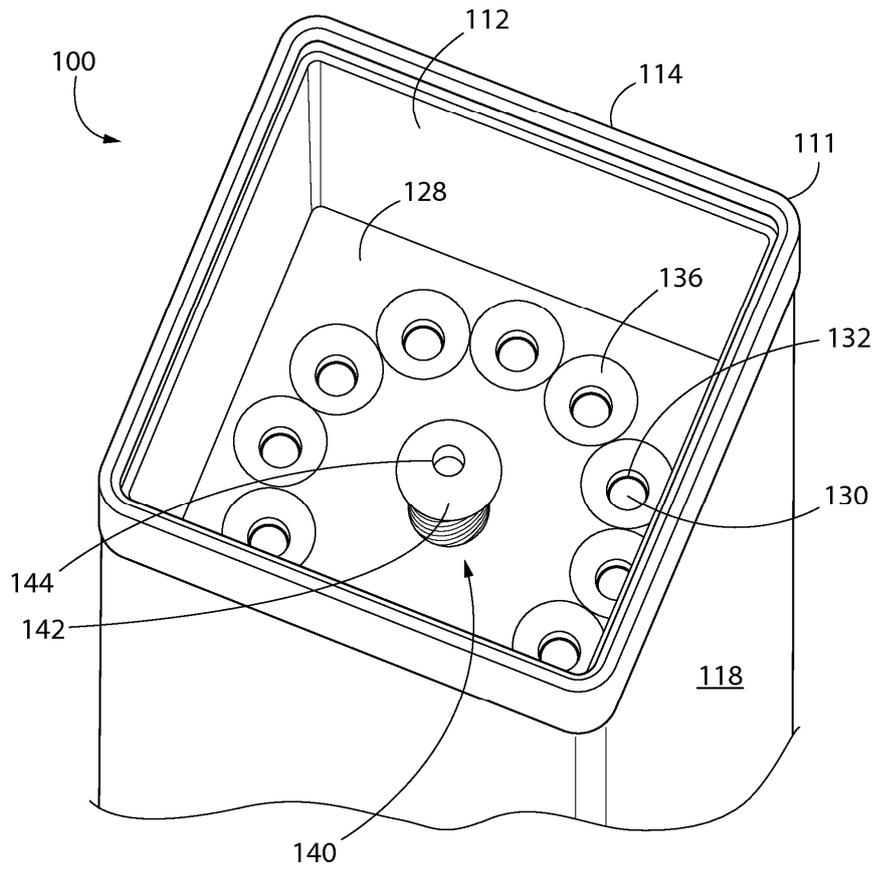


FIG. 7

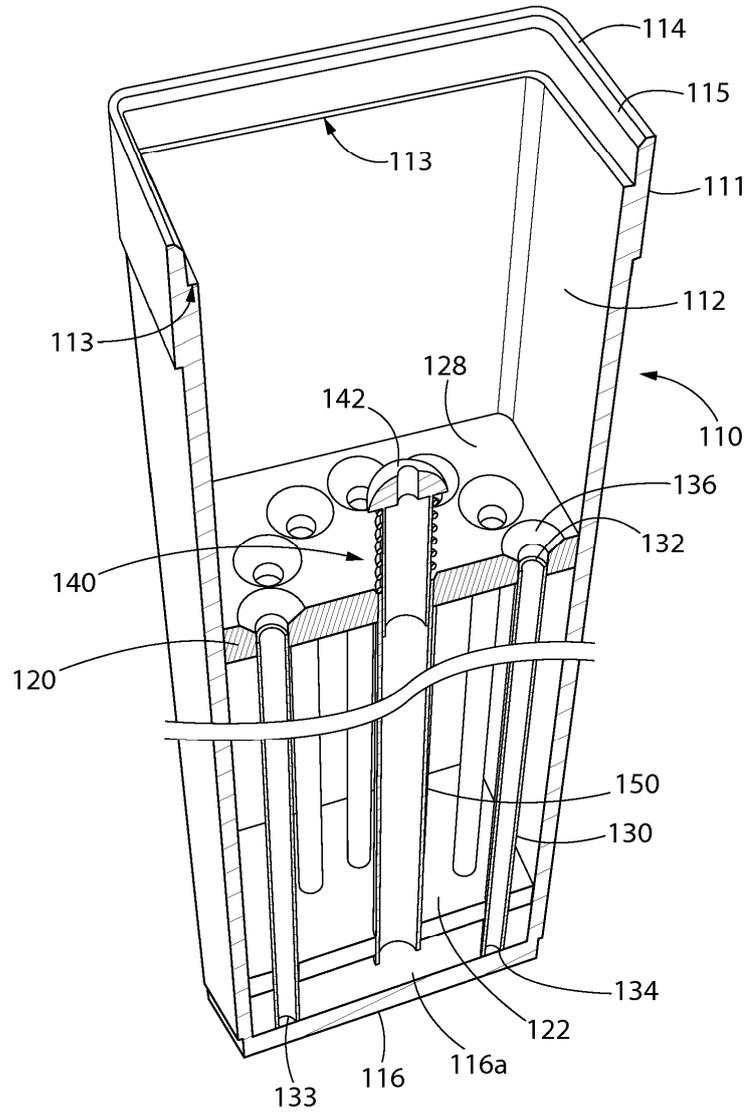


FIG. 8

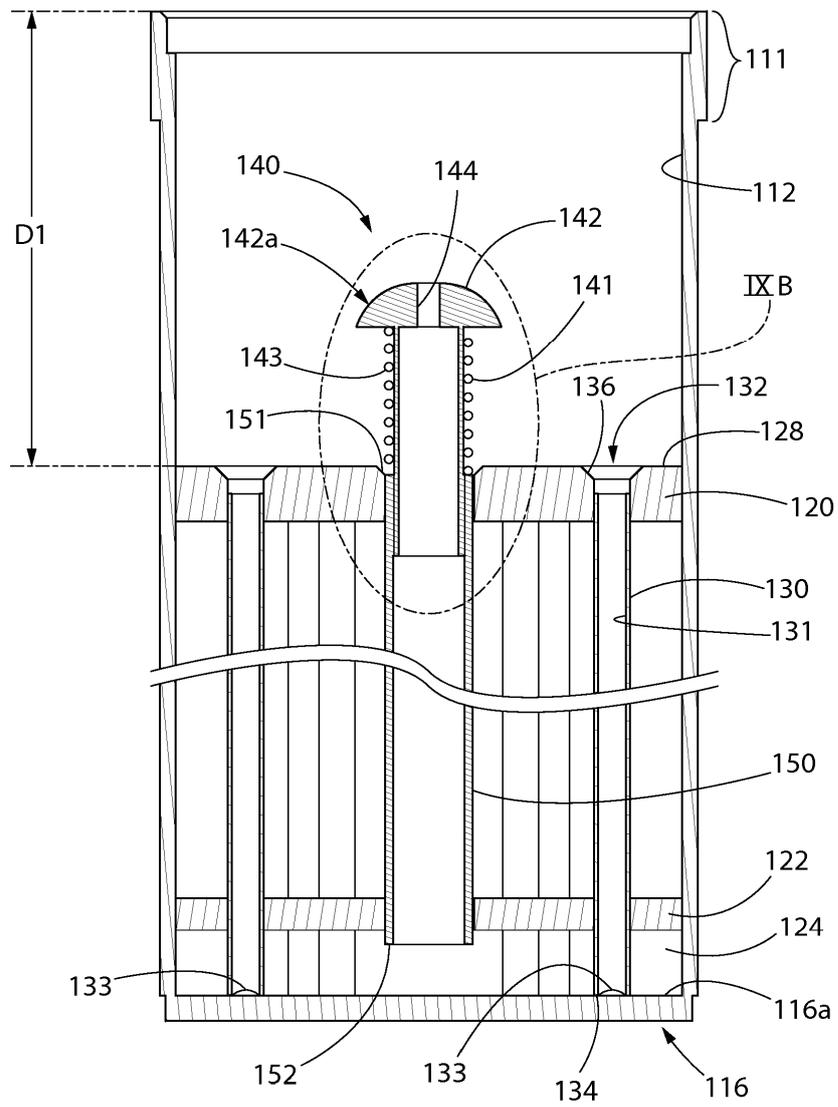


FIG. 9A

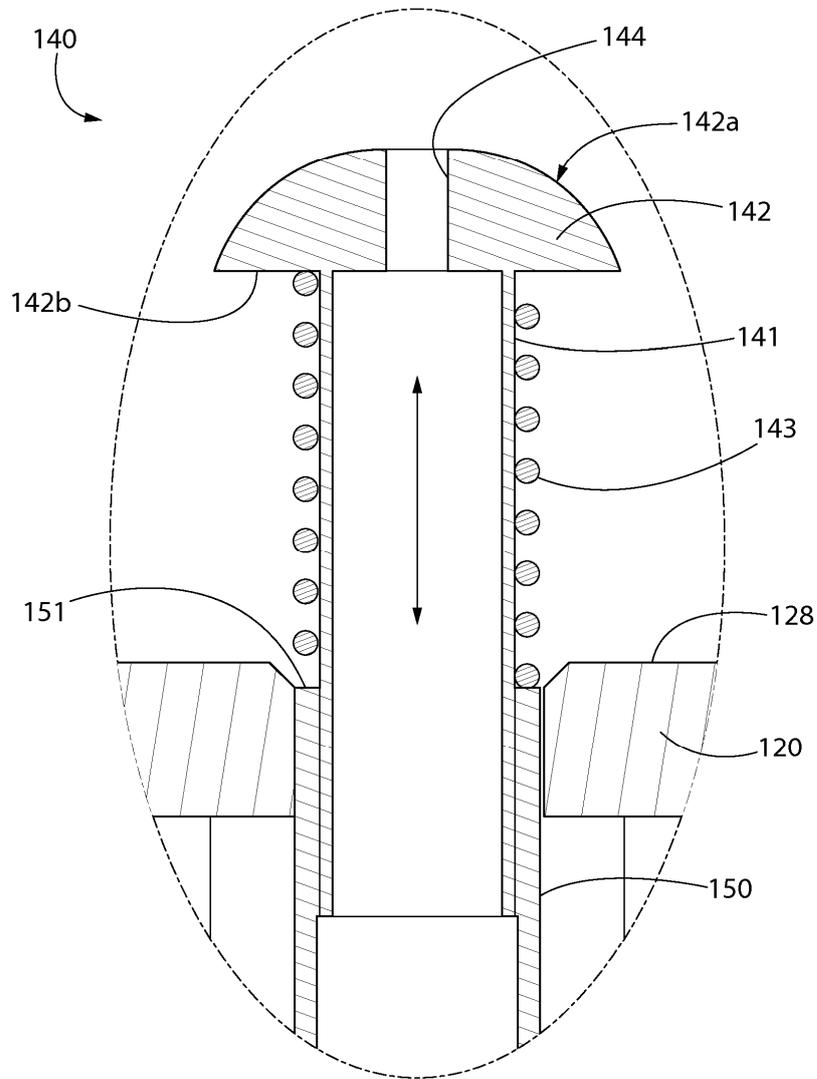


FIG. 9B

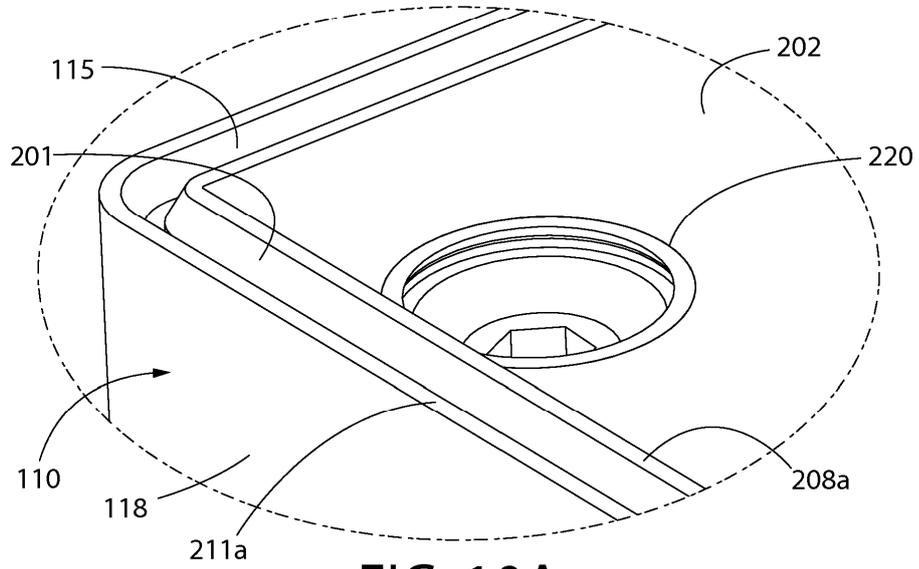


FIG. 10A

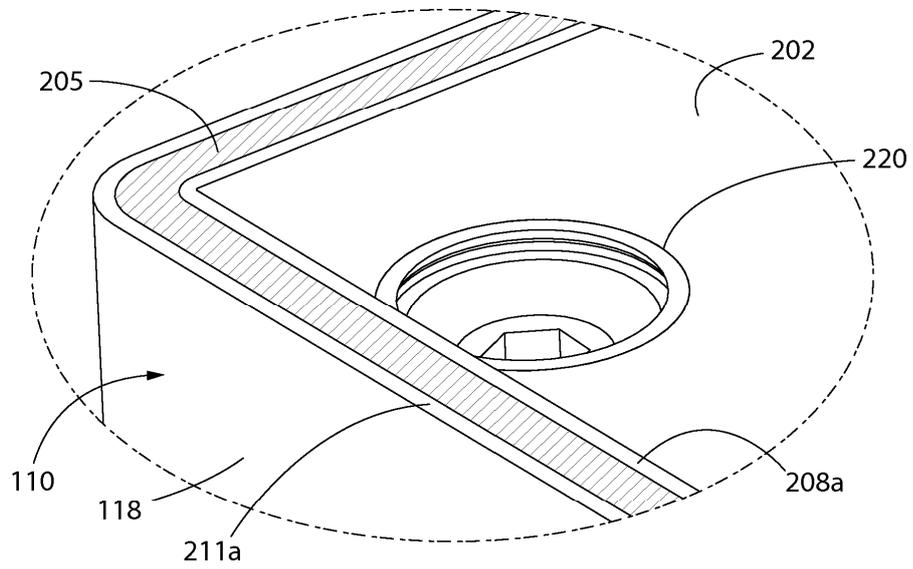


FIG. 10B

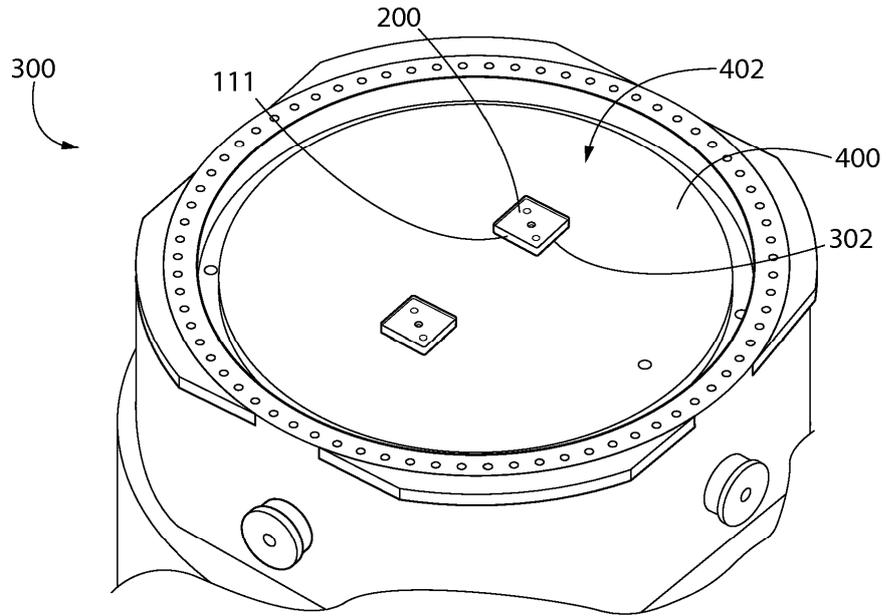


FIG. 11

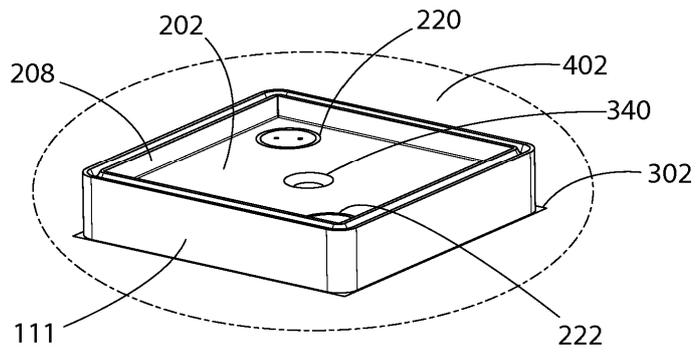


FIG. 12

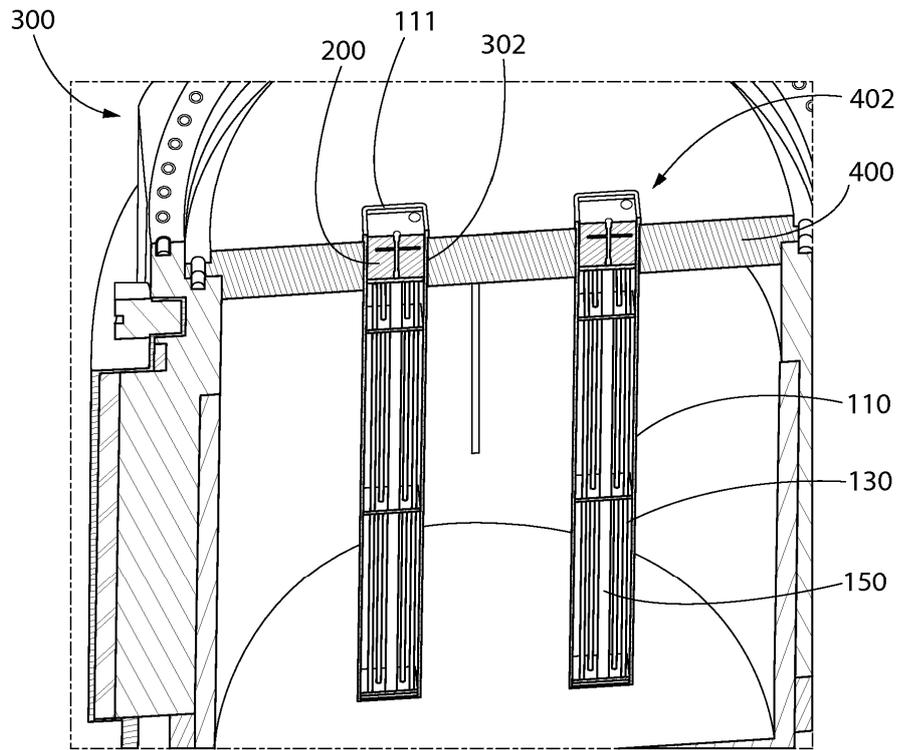


FIG. 13

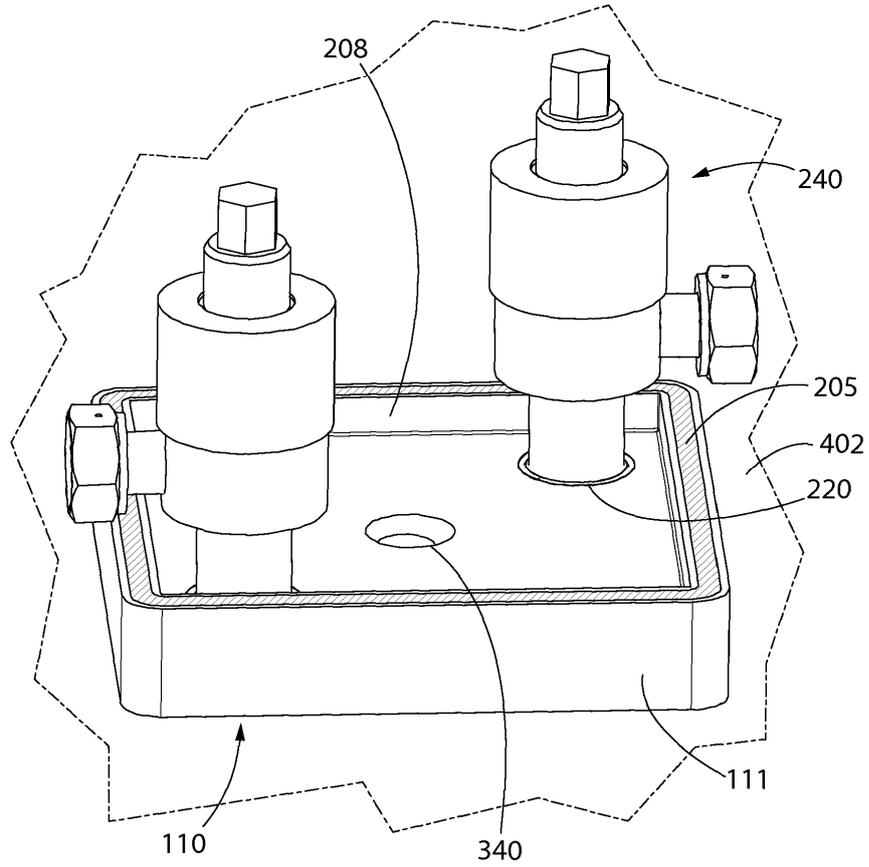


FIG. 14

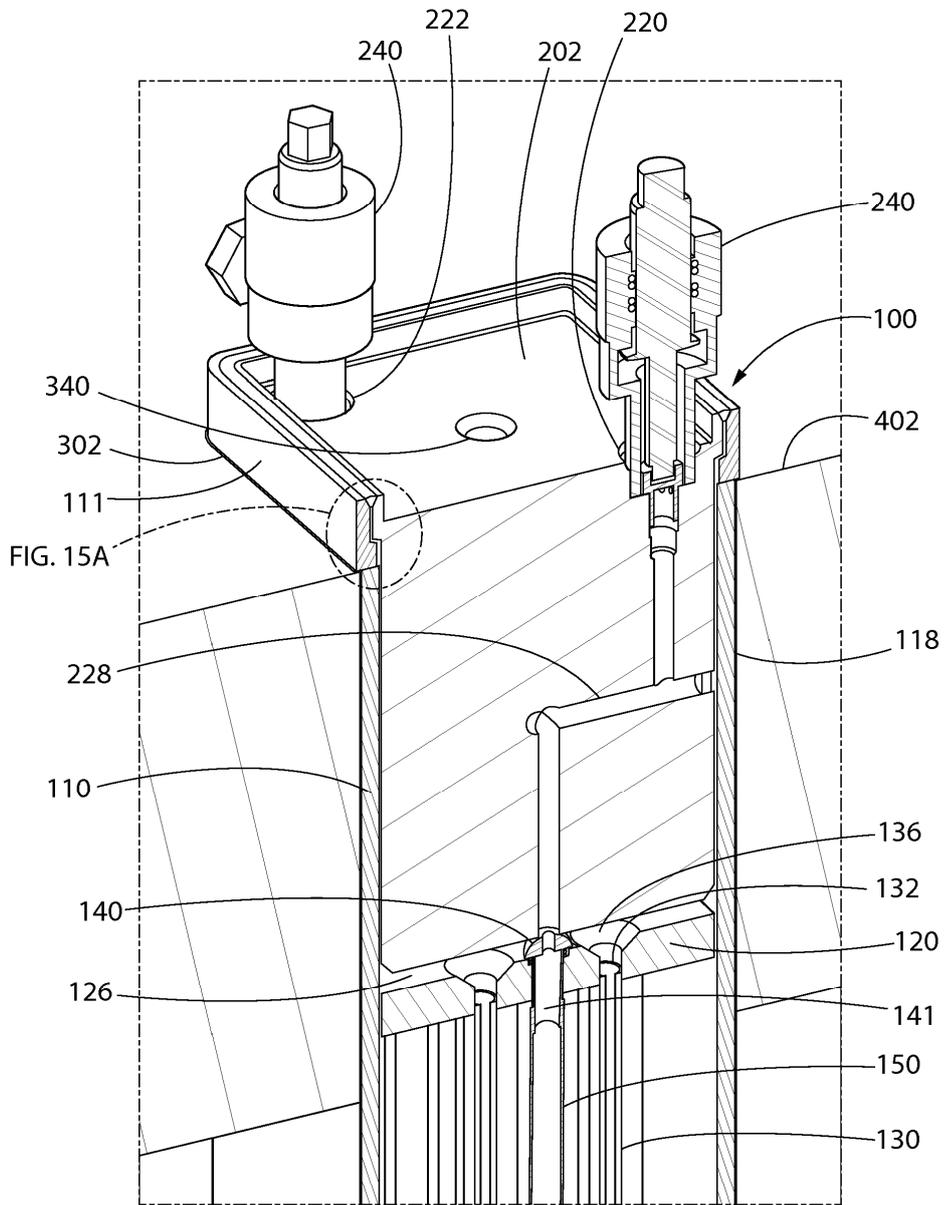


FIG. 15

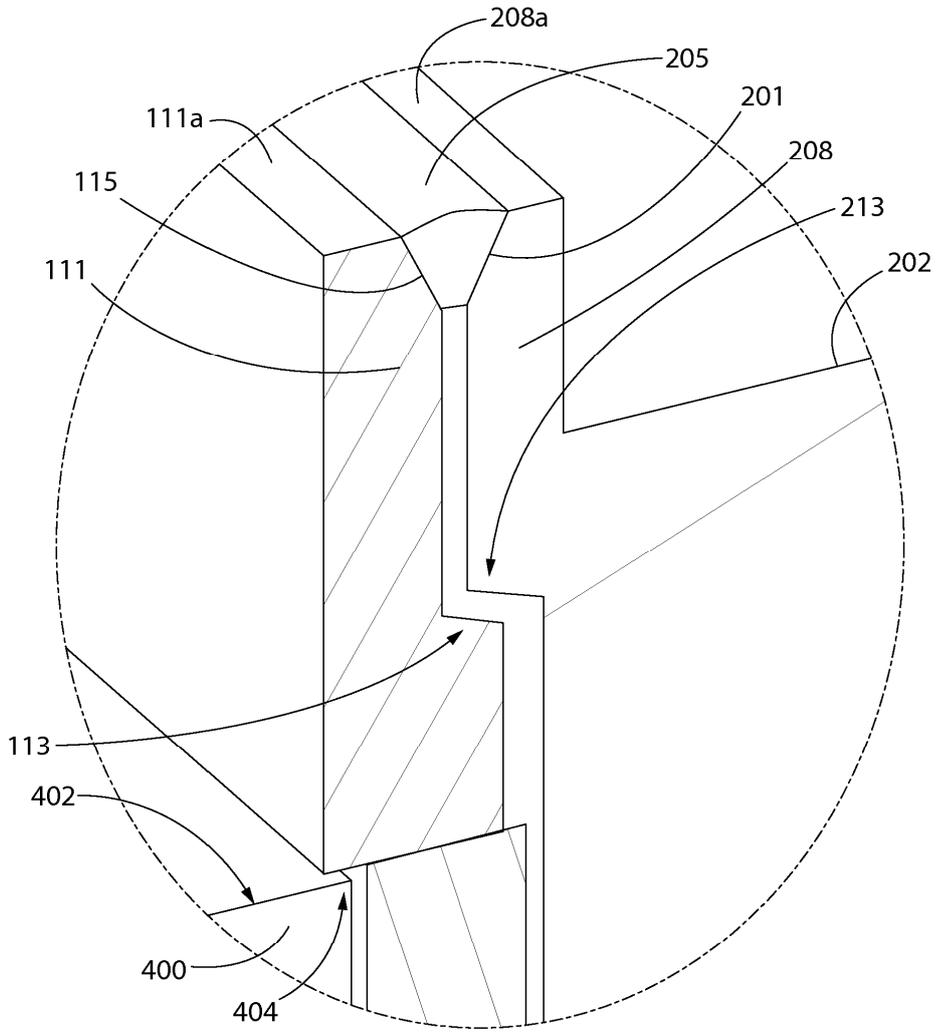


FIG. 15A

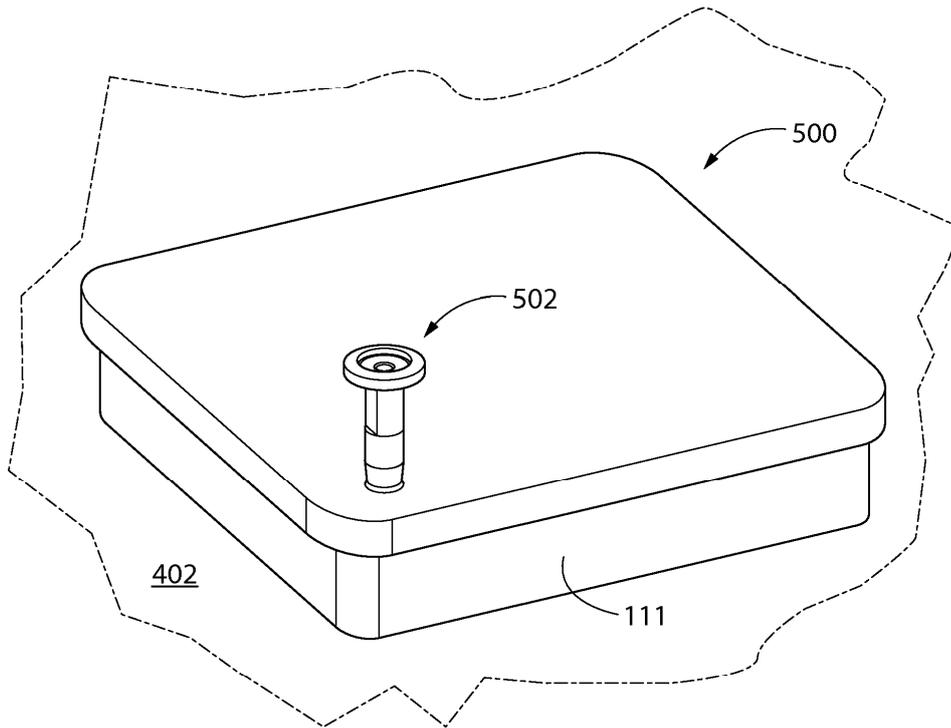


FIG. 16

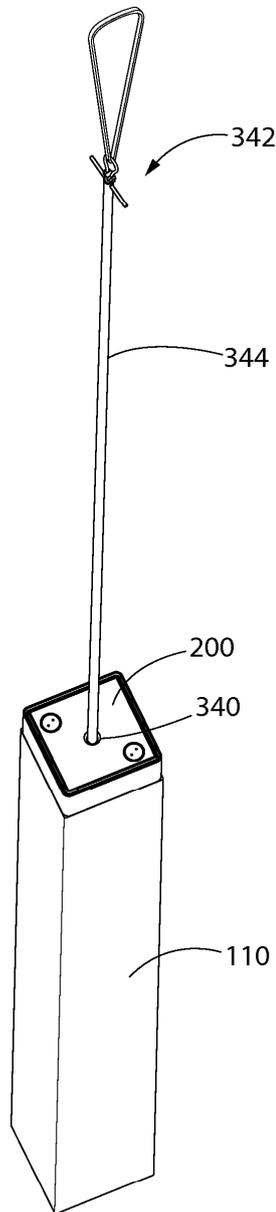


FIG. 17

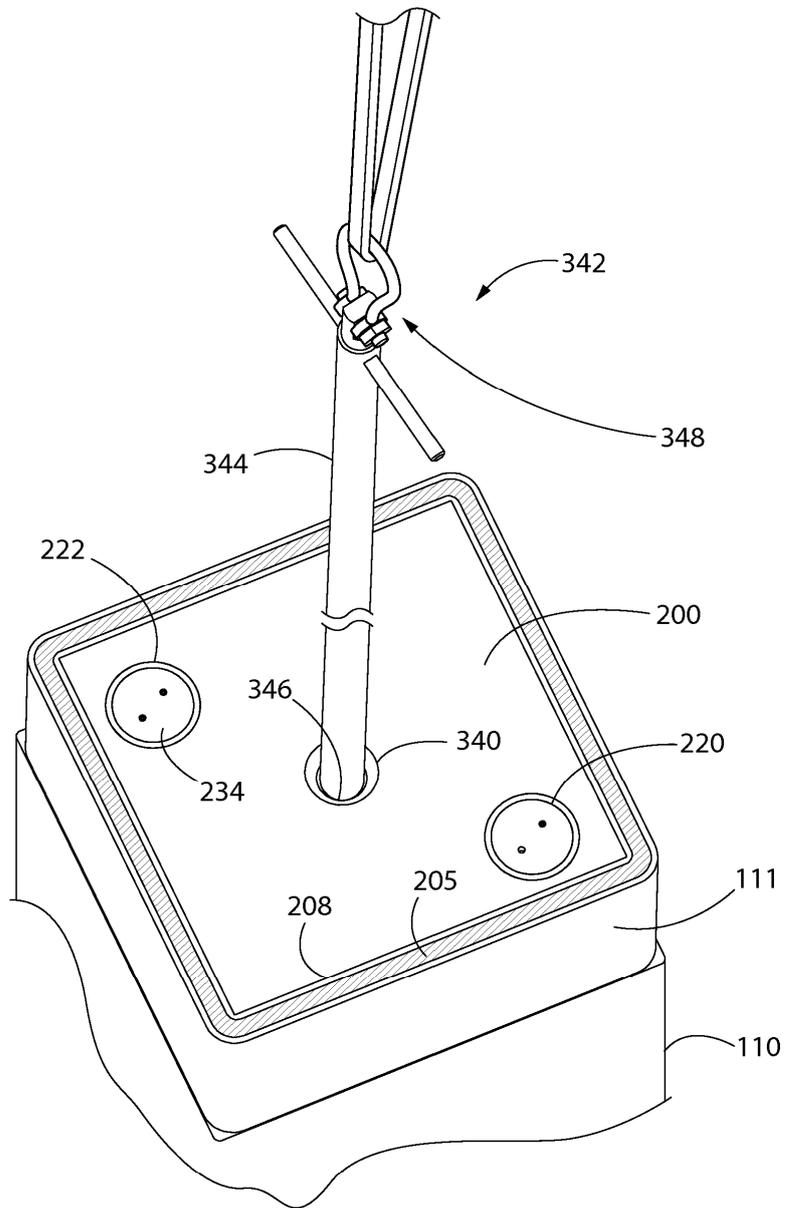


FIG. 18