(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 970 017**

(51) Int. Cl.:

G21F 5/10 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.07.2019 PCT/ES2019/070462**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2020 WO20016466**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2019 E 19838751 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.08.2023 EP 3822989**

(54) Título: **Sistema de almacenamiento de materiales radioactivos**

(30) Prioridad:

15.07.2018 ES 201830710

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2024

(73) Titular/es:

INGECID, S.L. (100.0%)
Avda. de los Castros 44, Torre Anexa, Planta 3ª
39005 Santander (Cantabria) ES

(72) Inventor/es:

RICO ARENAL, JOKIN y
BALLESTER MUÑOZ, FRANCISCO

(74) Agente/Representante:

GARCÍA GÓMEZ, José Donato

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 de materiales radioactivos

Objeto de la invención

El objeto de la invención es un sistema de almacenamiento de materiales radioactivos, que comprende: una cápsula o canister que contiene materiales radioactivos; un contenedor exterior que alberga el mencionado canister; y un sistema de ventilación provisto de unas entradas y salidas de aire configuradas en el contenedor para garantizar una ventilación helicoidal ascendente, por convección, dentro del contenedor y alrededor del mencionado canister.

La invención también incluye un contenedor especifico, configurado por una sucesión continua de materiales, dispuestos de forma expresa para optimizar la eficiencia del blindaje frente a radiación gamma y neutrónica.

Campo de aplicación de la invención

Esta invención es aplicable en el sector dedicado al almacenaje de residuos radioactivos, por ejemplo, procedentes de centrales nucleares, tales como: combustible gastado, materiales activados u otros que puedan ser considerados como una fuente de emisión radioactiva.

Estado de la técnica

Son conocidos diferentes antecedentes de dispositivos de almacenaje de residuos radioactivos que disponen de un sistema de ventilación provisto de unas entradas de aire procedente del exterior y de unas salidas de aire para la evacuación del calor liberado por la fuente de emisión radioactiva.

También son conocidos antecedentes de dispositivos de almacenaje de residuos radioactivos provistos de un cuerpo con diferentes capas para el blindaje de la radiación.

Concretamente, el documento JP2000275396A describe un contenedor de hormigón que aloja un canister que almacena el combustible usado. El aire se introduce desde la parte inferior del contenedor y pasa alrededor del canister para enfriar el combustible caliente. El contenedor está compuesto por un cilindro interior extraíble y un cilindro exterior.

El documento US8798224 describe un contenedor con sistema de ventilación con varias entradas y salidas. Las salidas parten de la zona interior de la tapa y terminan en la parte exterior. Las entradas de aire tienen la sección en la superficie interior y exterior alineadas. Entre ellas, existen dos conductos que describen una trayectoria circunferencial. El hueco entre virolas se rellena con material de protección radiológica.

Los sistemas de ventilación pasiva utilizados actualmente en los dispositivos de almacenamiento de residuos radioactivos presentan entradas y salidas de aire rectilíneas, o bien entradas de sección constante cuadrada que sigue la generatriz de un cilindro. Todas ellas generan en el interior un flujo vertical de aire ascendente, lo que favorece la existencia de zonas con falta de flujo de aire en las que se producen incrementos de temperatura por la acumulación de calor desprendido por el material radioactivo.

Adicionalmente, estas entradas y salidas, debido a su geometría y disposición, causan una drástica disminución en el blindaje de aquellos dispositivos con un sistema multicapa de material, debido a la presencia de dichas aperturas.

Existen en el estado de la técnica contenedores o protectores contra la radiación mediante hormigones que dotan de protección únicamente frente a un tipo de radiación (gamma o neutrónica), no siendo eficaces en la protección frente a otro tipo de radiaciones.

El hormigón es un material compuesto por una matriz de pasta de cemento en la que se incrustan los áridos. Los hormigones para protección radiológica deben contener materiales que atenúen la radiación gamma (fotónica) y la radiación neutrónica. Se conoce el hormigón para protección radiológica que se emplea en centrales nucleares, hospitales con radioterapia, centros de investigación nuclear y contenedores para

almacenamiento de residuos radiactivos; en estos casos se emplean hormigones que contienen áridos de alta densidad, apropiados para blindar contra la radiación gamma, junto con áridos con alto contenido en Hidrógeno y componentes que contienen boro, composición (hidrógeno + boro) apropiada para el blindaje frente a la radiación neutrónica, actuando el hidrógeno como atenuador-moderador de la velocidad de los neutrones y el boro como absorbente de los neutrones. Pero se trata de un único bloque de hormigón que contiene conjuntamente estos materiales para blindar ambas radiaciones (neutrónica y fotónica) y que busca un equilibrio en la combinación de estos materiales.

La patente española ES2296522 reivindica una protección contra la radiación gamma, mediante una masa pesada con áridos de alta densidad, como la magnetita.

La patente española ES2344290, describe una protección contra la radiación neutrónica mediante una masa de cemento mezclado con sulfato de calcio, áridos, agua y aditivos químicos. Con esta masa se fabrican ladrillos, hormigón vertido u otro material que ofrece esta protección frente a este tipo de radiación.

La patente US 2014/329455 (SINGH KRISHNA) divulga un sistema y método para almacenar desechos radiactivos de alto nivel, tales como combustible nuclear gastado, en el que el método comprende colocar un recipiente metálico que contiene desechos radiactivos de alto nivel, una tapa de barril colocada encima del cuerpo del barril, y una pluralidad de conductos de entrada; y b) sellar unos conductos seleccionados de la pluralidad de conductos de entrada a lo largo del tiempo para disminución de la tasa de generación de calor para mantener más un porcentaje predeterminado por encima de una temperatura umbral predeterminada.

La patente DE 11 46 209 B (SIEMENS AG) da a conocer un contenedor de transporte para sustancias radiactivas que generan calor por desintegración, en particular para elementos combustibles gastados, que están alojados dentro de una pieza preferiblemente cilíndrica hecha de un material que protege la radiación, con un espacio entre el cilindro y la pared del recipiente y con un refrigerante que circula por convección natural.

La patente FR 2 872 956 describe un dispositivo externo de evacuación de calor destinado a equipar un bulto para el almacenamiento y transporte de material nuclear.

El problema de las soluciones conocidas es que ambos tipos de radiación (gamma y neutrónica) precisan de soluciones diferentes, y contrarias, pues los materiales que blindan frente a la radiación gamma no son apropiados e implican un detrimento en el blindaje de la radiación neutrónica, y viceversa.

Descripción de la invención

La invención trata de un sistema de almacenamiento de materiales radioactivos que comprende: un canister portador de los residuos radioactivos; un sistema de ventilación; y un contenedor exterior, que comprende una base, una envolvente proyectada verticalmente y una tapa, delimitando dicho contenedor una cavidad para el alojamiento del canister que contiene los residuos radioactivos; y que presenta unas características orientadas a resolver los inconvenientes de los antecedentes citados.

Un objetivo de la invención es el desarrollo de un sistema de almacenamiento de materiales radioactivos, que disponga de un sistema mejorado de ventilación por convección, capaz de garantizar una circulación de aire por la totalidad del espacio comprendido entre el canister que contiene el residuo radioactivo y el contenedor exterior, evitando puntos de calentamiento y que las entradas y salidas del sistema de ventilación supongan una disminución drástica del blindaje del contenedor contra radiaciones.

Otro objetivo de la invención es un contenedor específico para el sistema de almacenamiento, con una especialización de hormigones que permita mejorar la eficiencia del blindaje de dicho contenedor, de modo que la combinación de hormigones, en multicapa, logre blindar tanto las radiaciones gamma como las radiaciones neutrónicas.

El sistema de almacenaje incorpora un sistema de ventilación pasiva helicoidal por convección, configurado por:

- unas entradas de aire en la base del contenedor, que atraviesan la pared del mismo;

- una zona de circulación helicoidal del aire en sentido ascendente comprendida entre el canister y el contenedor exterior; y

- unas salidas del aire a través de una pared de la tapa, pudiendo también atravesar las superficies horizontales de la misma.

De acuerdo con la invención, al menos las entradas de aire presentan una variación decreciente de sección, en el sentido de circulación del aire a través de las mismas; es decir, una sección decreciente en la dirección de entrada del aire al contenedor, y, opcionalmente, las salidas una sección decreciente en la dirección de salida del aire.

Esta variación de sección produce, por efecto Venturi, un gradiente de presiones y velocidades, al menos, en el flujo de aire entrante, facilitando tanto la entrada de aire al contenedor como la posterior salida del mismo al exterior.

Dichas entradas y salidas, además de la mencionada variación decreciente de sección en el sentido de circulación del aire, se encuentran orientadas en dirección oblicua respecto a la dirección radial del contenedor, provocando que el aire describa entre las entradas y las salidas una trayectoria helicoidal ascendente, por convección, alrededor del canister; garantizando una circulación helicoidal del aire por la totalidad del espacio comprendido entre el canister y la superficie interior del contenedor.

Según la invención, cada una de las entradas y salidas de aire presentan una boca exterior y una boca interior desalineadas lateralmente y que, de forma preferente, también están dispuestas geométricamente a diferente cota o altura.

De este modo, las bocas exterior e interior, de una misma entrada o salida, se disponen desfasadas tanto en dirección radial como en altura, y este diseño evita una drástica disminución del blindaje proporcionado por el contenedor.

Por tanto, el sistema de ventilación consiste en un sistema de ventilación pasiva helicoidal, que funciona por convección, gracias al diseño de las entradas y salidas de

aire, que mejora la circulación de aire por el interior del contenedor que genera un efecto Venturi y, además, evita una drástica disminución en el blindaje del contenedor debido a la presencia de dichas aperturas.

El flujo helicoidal ascendente de aire garantiza una circulación del aire por toda la zona comprendida entre el canister y superficie interior del contenedor, mejorando la transferencia de calor del canister al exterior y evitando la existencia de zonas sin circulación de aire y de sobrecalentamiento.

Además, tanto la orientación de las entradas y de las salidas de aire como su diseño proporcionan una elevada eficiencia hidráulica y con ello una mejora térmica. De este modo, se minimiza la radiación directa que pasa a través de dichas entradas y salidas desde la fuente radioactiva, contenida en el canister, hacia el exterior del contenedor. Ello se consigue:

.- orientando la forma curva de las entradas el flujo de aire que genera una trayectoria helicoidal ascendente;

.- la función de la forma curva de las salidas, con una geometría semejante a la de la entrada, colocando la sección mayor en el interior del ducto, facilita la canalización del aire al exterior;

.- con el diseño desalineado de su bocas de entrada y salida.

Esta invención incluye un contenedor específico, en el que la envolvente, la tapa y la base del contenedor están configuradas con varias capas, multicapa, de hormigones especializados en el blindaje de diferentes tipos de radiaciones; para ello se dispone de varias capas, cada una de diferente material, o del mismo material con composiciones diferentes. Con ello se consigue otro objetivo de la invención, configurar un contenedor con un blindaje óptimo de las radiaciones gamma y neutrónica, mediante la combinación de diferentes capas de hormigón, cada una de las cuales está destinada al blindaje de un tipo de radiación.

El almacenamiento de materiales radiactivos exige que los sistemas utilizados para

albergarlos en su interior sean construidos con materiales capaces de conseguir que la radiación en el exterior de los mismos sea tan baja como sea posible. Las principales radiaciones que deben ser blindadas por el contenedor de almacenamiento son: radiación gamma y radiación neutrónica.

El contenedor está destinado a contener el canister, y está configurado por una sucesión continua de materiales dispuestos de forma expresa para optimizar la eficiencia del blindaje frente a radiación gamma y neutrónica del material radioactivo alojado en el canister.

En una realización, dicho contenedor comprende una envolvente con, al menos, una virola de acero que sirve, entre otras funciones, de encofrado perdido al sistema multicapa de los hormigones especializados en la protección contra radiaciones gamma y radiaciones neutrónicas.

Se podrían dar otras configuraciones, como varias virolas concéntricas con diferentes radios, albergando en su interior los hormigones especializados; o bien, dos virolas, una exterior, de modo análogo a la anterior, y la otra en el interior configurando la superficie interior del contenedor.

La tapa se compone de una estructura metálica que contiene los accesos libres del aire que circula por el interior del contenedor, ayudando a la evacuación hacia el exterior del flujo de aire que circula por el interior del contenedor. Esta estructura sirve de encofrado perdido para el hormigonado posterior de la misma.

La base del contenedor presenta una porción periférica con una estructura análoga a la pared lateral de la envolvente del contenedor y una placa de acero que cierra el conjunto y conforma una superficie de apoyo del contenedor en posición vertical.

En lo que se refiere al sistema multicapa, el contenedor de la invención se diferencia sobre las soluciones existentes en que se identifica la disposición y especialización de los hormigones que son, cada uno de ellos resistentes a altas temperaturas, siendo dosificados y posicionados en el contenedor de una forma específica, teniendo cada uno de ellos una función, permitiendo alcanzar una mejora cuantitativa en el blindaje a

las radiaciones gamma y neutrónicas procedentes de la fuente radioactiva.

El efecto multicapa de la tapa del contenedor se logra por hormigonado diferenciado en fases que permita la no homogeneidad de las diferentes capas que la componen.

Este sistema multicapa puede disponer de un número variable de capas de diferentes materiales, o bien del mismo material con composiciones diferentes.

De acuerdo con la invención, el contenedor multicapa del sistema de almacenamiento comprende: - al menos, una capa de hormigón especializado de alta densidad, que incluye en su composición áridos de alta densidad, para blindar la radiación gamma y reducir la energía de parte de la radiación neutrónica, y; - al menos, otra capa de hormigón especializado en radiación neutrónica que reduce la energía de la radiación neutrónica (termalización) y la absorbe, y que incluye en su composición áridos con alto contenido de hidrógeno y áridos con un contenido significativo de un absorbente neutrónico; encontrándose, preferentemente, la capa de hormigón especializado en el blindaje frente la radiación gamma dispuesto entre el canister y el hormigón especializado en el blindaje frente a la radiación neutrónica.

La capa de hormigón especializado para el blindaje frente a la radiación gamma constituye un medio material que debido a su alta densidad bloquea total o parcialmente los fotones provenientes de la fuente de radiación, fundamentándose en los mecanismos de interacción de la radiación gamma con la materia: Efecto fotoeléctrico (fotones de baja energía), Efecto Compton (fotones de energías intermedias) y Creación de Pares (fotones de muy altas energías).

El objetivo del blindaje neutrónico es bloquear total o parcialmente los neutrones provenientes de la fuente de radiación. Para ello, este contenedor comprende una combinación de materiales que actúan como moderadores de la velocidad de los neutrones y como frenado o termalización de los neutrones, materiales altamente hidrogenados (agua, parafina, fibras poliméricas), con otros que actúen como absorbentes, que capturan los neutrones.

Los fundamentos de estos blindajes neutrónicos se hallan en los mecanismos de interacción de la radiación neutrónica con la materia: Colisiones (frenado de los neutrones rápidos, termalización) y Reacciones nucleares - absorción o fisión- (capturan los neutrones).

Las características de la invención se comprenderán con mayor facilidad a la vista del ejemplo de realización mostrado en las figuras adjuntas que se describen a continuación.

Descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

- La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un ejemplo de realización del sistema de almacenamiento de materiales radiactivos según la invención.

- La figura 2 muestra una vista análoga a la anterior en la que se ha seccionado una porción lateral del contenedor que alberga el canister.

- La figura 3 muestra una vista esquemática en planta del sistema de las figuras anteriores en el que se ha seccionado la mitad derecha del contenedor por un plano horizontal que corta las entradas inferiores del sistema de ventilación y la mitad izquierda por un plano horizontal que corta las salidas superiores del sistema de ventilación.

- La figura 4 muestra una vista en perspectiva de una de las entradas de aire del sistema de ventilación.

- La figura 5 muestra una vista en perspectiva de una de las salidas de aire del sistema de ventilación.

- La figura 6 muestra una vista esquemática en perspectiva de la estructura metálica de

la base, en la que se puede observar la disposición de las entradas de aire del sistema de ventilación.

Realización preferida de la invención

Como se puede observar en la figura 1 el sistema de almacenamiento de materiales radioactivos, objeto de esta invención, comprende un contenedor (C) con una envolvente (1), una base (2) y una tapa (3) que delimitan una cavidad para el alojamiento de un canister (4) visible en la figura 2, que contiene residuos radioactivos.

En las figuras 2 y 3, se observa el sistema de ventilación pasiva helicoidal, por convección, provisto de: unas entradas (5) de aire definidas en la base (2) del contenedor (C); una zona (6) de circulación helicoidal del aire en sentido ascendente comprendida entre el canister (4) y la envolvente (1) del contenedor (C), y unas salidas (7) de aire al exterior, comprendidas en la tapa (3).

En la figura 3, las entradas (5) disponen de una boca exterior (51) y de una boca interior (52), presentando una variación decreciente de sección en el sentido de entrada del aire; mientras que las salidas (7) disponen de una boca interior (71) y de una boca exterior (72) que también presentan una sección decreciente en el sentido de salida del aire por el interior de las mismas.

En dicha figura 3, las entradas (5) y las salidas (7) se encuentran orientadas en una dirección oblicua respecto a la dirección radial del contenedor, es decir, con una componente tangencial, de modo que la circulación del aire por el interior del contenedor (C), entre en las entradas (5) y las salidas (7), define una trayectoria helicoidal ascendente alrededor del canister (4), tal como se representa en la figura 2.

Como se aprecia en las figuras 4 y 6, la boca exterior (51) y la boca interior (52) de la entrada (5) están dispuestas geométricamente a diferente cota o altura.

Esta variación de sección produce, por efecto Venturi, un gradiente de presiones y velocidades en el flujo de aire entrante y saliente, facilitando tanto la entrada de aire al sistema como la posterior salida del mismo al exterior. Concretamente, en la entrada (5)

se produce un aumento de la velocidad (V2>V1) y una diminución de la presión (P2<P1) y la temperatura (T2<T1) del aire circulante.

De igual modo, tal como se muestra en la figura 5, la boca interior (71) y boca exterior (72) de las salidas (7) también están a diferente cota o altura, produciéndose en las mismas un aumento de la velocidad (V4 >V3) y una diminución de la presión (P4 < P3) y la temperatura (T4 < T3) del aire circulante.

Como se puede observar en las figuras 2 y 3, la envolvente (1) del contenedor (C) comprende en este ejemplo de realización: una virola exterior (11), una virola interior (12) y una virola intermedia (13), todas ellas de acero, y que conforman un encofrado perdido para una capa de hormigón (14) de alta densidad, especializado para blindar la radiación gamma y reducir la energía de parte de la radiación neutrónica; y de otra capa de hormigón (15) especializado en radiación neutrónica y, preferentemente, dispuesta exteriormente respecto a la primera capa de hormigón (14).

La capa de hormigón (14), de alta densidad, especializado para blindar la radiación gamma y reducir la energía de parte de la radiación neutrónica, incluye en su composición áridos de alta densidad; en este caso concreto minerales de hierro, por ejemplo: hematita, ilmenita, lepidocrocita, goetita, limonita, magnetita u otros similares.

La capa de hormigón (15), especializado en radiación neutrónica, incluye en su composición áridos con alto contenido de hidrógeno que, por ejemplo, pueden ser de: serpentina, limonita, goetita, bauxita u otros similares; y áridos con un contenido significativo de un absorbente neutrónico, que pueden ser de: colemanita, boro calcita, ferro boro, frita de boro, witherita u otros similares.

De este modo, la capa de hormigón (14), especializado contra radiaciones gamma, está dispuesto entre la fuente radioactiva contenida en el canister (4) y la otra capa de hormigón (15), especializado en el blindaje frente a radiación neutrónica.

Como se puede observar en la figura 2, la base (2) del contenedor (C) tiene una porción periférica con una estructura de capas análoga a la pared de la envolvente (1) y dispone

de una placa de cierre (21), representada en figura 6, que conforma una superficie para el apoyo de un canister (4), situado en posición vertical en el interior del contenedor.

La tapa (3) del contenedor (C) dispone de una estructura metálica, similar a la de la base (2) y contiene las salidas (7) del sistema de ventilación, conformando un encofrado perdido para el hormigonado diferenciado de la misma con hormigones especializados contra radiaciones, los mismos a los utilizados en la envolvente (1).

Una vez descrita suficientemente la naturaleza de la invención, así como un ejemplo de realización preferente, se hace constar a los efectos oportunos que los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos descritos podrán ser modificados, siempre y cuando ello no suponga una alteración de las características esenciales de la invención que se reivindican a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de almacenamiento de materiales radioactivos, que comprende: un canister (4) que contiene residuos radioactivos; un contenedor (C) provisto de una envolvente (1), una base (2), y una tapa (3), delimitando dicho contenedor (C) una cavidad para el alojamiento del canister (4); y un sistema de ventilación por convección, provisto de: unas entradas (5) de aire, inferiores; una zona (6) de circulación ascendente de aire definida entre el canister (4) y la superficie interior del contenedor de almacenamiento, y unas salidas (7) de aire, superiores; **caracterizado** porque el sistema de ventilación consiste en un sistema de ventilación pasiva helicoidal por convección, en el que las entradas (5) y las salidas (7) del sistema de ventilación presentan una boca exterior (51, 72) y una boca interior (52, 71); en el que al menos las entradas presentan una variación decreciente de sección en el sentido de circulación del aire por el interior de las mismas, produciendo un incremento de la velocidad y una disminución de la presión y de la temperatura del aire circulante a través de las mismas; y en el que dichas entradas (5) y salidas (7) son curvas y se encuentran orientadas en una dirección oblicua respecto a la dirección radial del contenedor, de modo que el aire describe entre las entradas (5) y las salidas (7) una trayectoria helicoidal ascendente alrededor del canister (4).

2. Sistema, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la boca exterior (51, 72) y la boca interior (52, 71) de una misma entrada (5) o salida (7) de aire están desalineadas lateralmente.

3. Sistema, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la boca exterior (51, 72) y la boca interior (52, 71) de una misma entrada (5) o salida (7) de aire están dispuestas geométricamente a diferente cota o altura.

4. Sistema, según reivindicación 1, **caracterizado** porque la envolvente (1) del contenedor comprende, al menos:

- una virola exterior (11) de acero;

- una capa de hormigón (14) de alta densidad, especializado para blindar una radiación gamma y reducir parcialmente la energía de una radiación neutrónica, y que incluye en su composición minerales de hierro y;

- una capa de hormigón (15), que reduce la energía de una radiación neutrónica (termalización) y la absorbe; y que incluye en su composición áridos con alto contenido de hidrógeno y áridos con un absorbente neutrónico.

5.- Sistema, según la reivindicación 4, **caracterizado** porque la envolvente (1) del contenedor comprende varias virolas: exterior (11), interior (12) e intermedia (13), de acero, concéntricas, conformantes de un encofrado perdido de las capas de hormigón (15).

6. Sistema, según la reivindicación 4; **caracterizado** porque la base (2) tiene una porción periférica con una estructura análoga a la pared de la envolvente (1) y dispone de una placa de cierre (21) que conforma una superficie adecuada para el apoyo del canister (4).

7. Sistema, según la reivindicación 4; **caracterizado** porque la tapa (3) se compone de una estructura metálica que contiene las salidas (7) de aire y conforma un encofrado perdido para el hormigonado diferenciado de la misma, en fases, con los mismos hormigones usados en el canister (1).

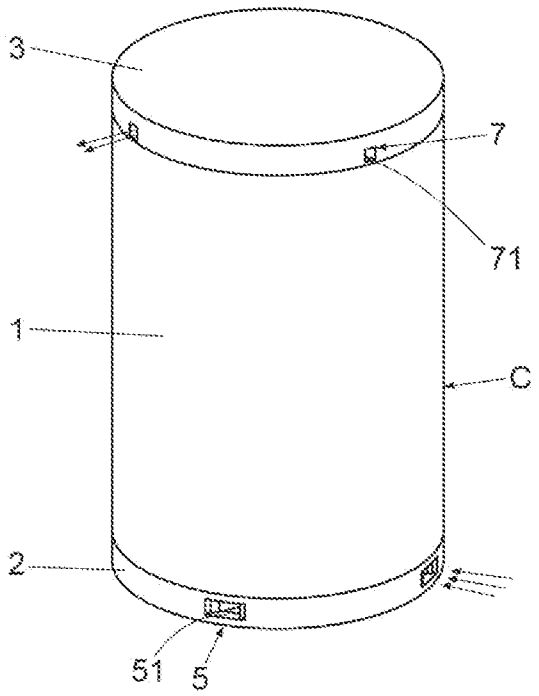

Fig. 1

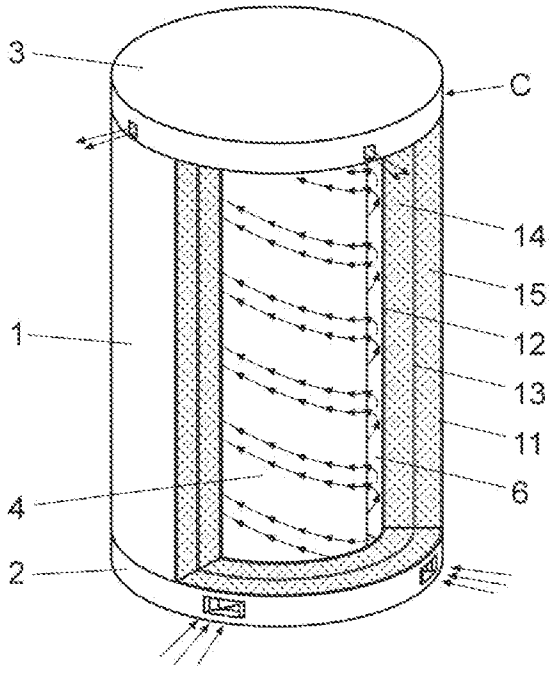

Fig. 2

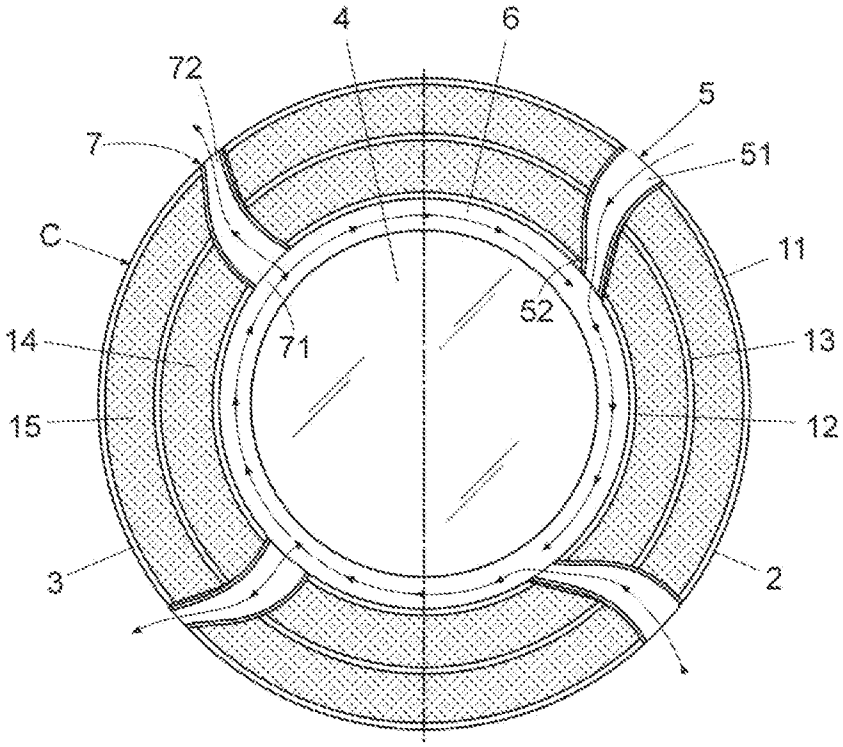

Fig. 3

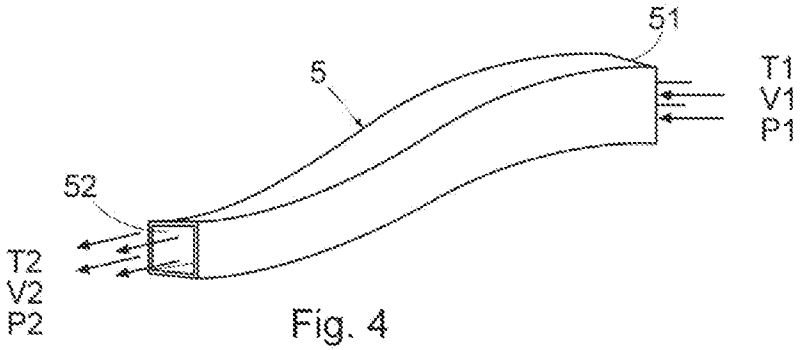

Fig. 4

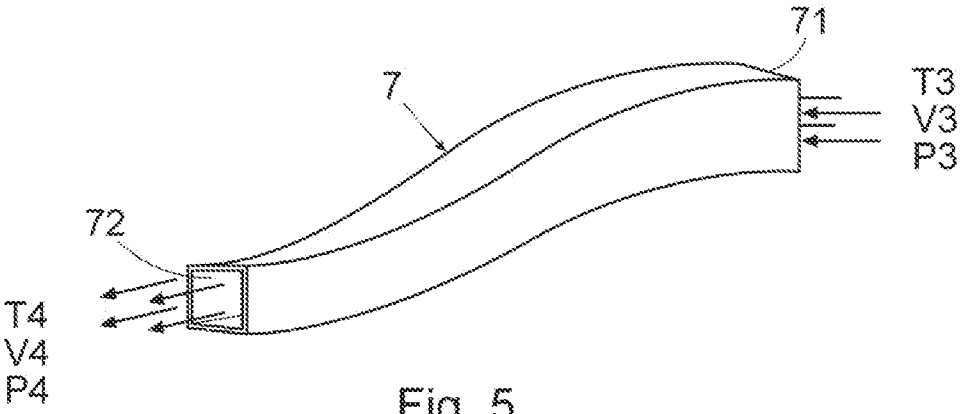

Fig. 5

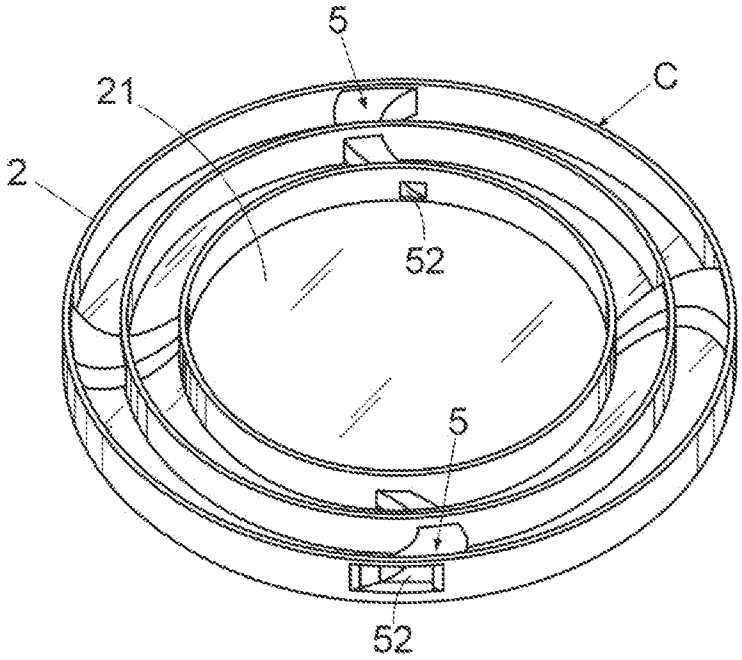

Fig. 6