

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 308**

51 Int. Cl.:

G21C 15/257 (2006.01)

F28D 15/02 (2006.01)

F28D 15/04 (2006.01)

F28D 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.10.2021** **PCT/US2021/072105**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.05.2022** **WO22094593**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2021** **E 21831464 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024** **EP 4252256**

54 Título: **Dispositivos, sistemas y métodos para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear**

30 Prioridad:

29.10.2020 US 202017084440

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.12.2024

73 Titular/es:

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC
(100.00%)

1000 Westinghouse Drive Suite 141
Cranberry Township, PA 16066, US

72 Inventor/es:

DULLOO, ABDUL R.;
LEVINSKY, ALEX y
WRIGHT, RICHARD F.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 993 308 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

Dispositivos, sistemas y métodos para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear

5 REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUD RELACIONADA

Esta solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud no provisional estadounidense n.º de serie 17/084.440 presentada el 29 de octubre de 2020, titulada "DISPOSITIVOS, SISTEMAS Y MÉTODOS PARA EXTRAER EL CALOR DEL NÚCLEO DE UN REACTOR NUCLEAR".

10 CAMPO

La presente divulgación está generalmente relacionada con la generación de energía nuclear y, más particularmente, está dirigida a dispositivos, sistemas y métodos mejorados configurados para extraer energía térmica del núcleo de un reactor nuclear.

15 ANTECEDENTES

La patente estadounidense n.º 3.414.475 divulga una tubería de calor tubular que comprende una zona de evaporación, con una fuente de calor fisible montada interiormente, y una zona de condensación, con medios de refrigeración secundarios externos. La tubería se llena, al menos parcialmente, con un refrigerante líquido que se evapora en la zona de evaporación y regresa, después de condensarse, a lo largo de la superficie interior de las paredes de la tubería hasta la zona de evaporación. La patente estadounidense n.º 5.000.252 divulga un sistema de gestión térmica que incluye microtuberías de calor que se extienden radialmente hacia fuera desde un sumidero de calor que rodea una fuente de calor, para conducir energía térmica desde la fuente de calor, y medios para disipar energía térmica desde el sumidero de calor a un disipador de calor final.

La patente estadounidense n.º 10.559.389 B2 divulga un reactor nuclear modular que comprende una pluralidad de secciones dispuestas en un patrón, cada una de las cuales incluye un tanque que comprende una placa frontal, una placa posterior, placas laterales, una placa superior y una placa inferior, y un material reflector lateral que rodea las secciones. Las placas de rejilla, cada una compuesta por aberturas, están posicionadas dentro del tanque separadas verticalmente de una placa de rejilla adyacente. El tanque incluye además elementos de combustible que se extienden a través de cada placa de rejilla. Las tuberías de calor se extienden a través de cada placa de rejilla, la placa superior y un reflector superior.

35 SUMARIO

El siguiente sumario se proporciona para facilitar la comprensión de algunas de las características innovadoras exclusivas de los aspectos aquí divulgados, y no pretende ser una descripción completa. Una apreciación completa de los diversos aspectos se puede obtener al considerar la especificación completa, las reivindicaciones y el resumen en su conjunto.

En varios aspectos, se divulga una celda unitaria configurada para extraer calor generado por un reactor nuclear. La celda unitaria incluye un material de bloque de núcleo y una pluralidad de dispositivos dispuestos a lo largo del material de bloque de núcleo. Al menos un dispositivo de la pluralidad de dispositivos incluye una tubería de calor que incluye: una longitud y un alojamiento interior que incluye una superficie exterior. El alojamiento interior define un volumen interior configurado para alojar una fuente de calor. La tubería de calor incluye además un alojamiento exterior que incluye una superficie interior, en la que el alojamiento exterior está configurado alrededor del alojamiento interior y la fuente de calor. La tubería de calor incluye además una mecha posicionada entre el alojamiento interior y el alojamiento exterior y que se extiende a lo largo de al menos una porción de la longitud de la tubería de calor, en la que la mecha incluye un material capilar, en la que la mecha está configurada para entrar en contacto con al menos una porción de la superficie exterior del alojamiento interior, en la que la mecha está configurada para entrar en contacto con al menos una porción de la superficie interior del alojamiento exterior, y en la que la mecha define un volumen intermedio entre el alojamiento interior y el alojamiento exterior. La tubería de calor incluye además un fluido de trabajo dentro del volumen intermedio, en el que el fluido de trabajo está configurado para evaporarse en un primer extremo de la tubería de calor, en el que el fluido de trabajo está configurado además para condensarse en un segundo extremo de la tubería de calor adyacente a un intercambiador de calor, en el que la mecha está configurada para devolver el fluido de trabajo que se ha condensado en el segundo extremo de la tubería de calor al primer extremo de la tubería de calor, y en el que la evaporación y condensación del fluido de trabajo está configurada para transferir calor desde el primer extremo de la tubería de calor al segundo extremo de la tubería de calor para su disipación a través del intercambiador de calor.

Estos y otros objetos, funciones y características de la presente invención, así como los métodos de operación y funciones de los elementos relacionados de estructura y la combinación de partes y economías de fabricación, se harán más evidentes al considerar la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, todos los cuales forman parte de esta especificación, donde números de referencia similares designan partes

correspondientes en las diversas figuras. No obstante, se debe entender expresamente que los dibujos solo tienen el propósito de ilustración y descripción y no se pretenden como una definición de los límites de la invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Varias características de los aspectos aquí descritos se exponen con particularidad en las reivindicaciones adjuntas. Los diversos aspectos, sin embargo, tanto en cuanto a la organización y métodos de operación, junto con las ventajas de los mismos, puede ser entendido de acuerdo con la siguiente descripción tomada en conjunción con los dibujos adjuntos a continuación:

La figura 1 ilustra una vista en sección de un dispositivo configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear, de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación.

La figura 2 ilustra una vista en sección de otro dispositivo configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear, de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación.

La figura 3 ilustra una vista superior de una celda unitaria que incluye una pluralidad de dispositivos configurados para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear, de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación.

La figura 4 ilustra una vista lateral de un sistema configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear, de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación.

La figura 5 ilustra una vista lateral de otro sistema configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear, de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación.

Los caracteres de referencia correspondientes indican las partes correspondientes en las distintas vistas. Las ejemplificaciones aquí expuestas ilustran diversos aspectos de la invención, en una forma, y tales ejemplificaciones no se deben confundir como limitativas del alcance de la invención de ninguna manera.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión completa de la estructura general, función, fabricación y uso de los aspectos como se describen en la divulgación e ilustrados en los dibujos adjuntos. No se han descrito en detalle operaciones, componentes y elementos bien conocidos para no oscurecer los aspectos descritos en la especificación. El lector comprenderá que los aspectos descritos e ilustrados en el presente documento son ejemplos no limitativos y, por lo tanto, se puede apreciar que los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en el presente documento pueden ser representativos e ilustrativos. Se pueden introducir variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. Además, se debe entender que términos como "hacia delante", "hacia atrás", "izquierda", "derecha", "hacia arriba", "hacia abajo" y similares son palabras de conveniencia y no se deben interpretar como términos limitativos.

En la siguiente descripción, los caracteres de referencia similares designan partes similares o correspondientes en las diversas vistas de los dibujos. También en la siguiente descripción, se debe entender que términos como "hacia delante", "hacia atrás", "izquierda", "derecha", "hacia arriba", "hacia abajo" y similares son palabras de conveniencia y no se deben interpretar como términos limitativos.

Antes de explicar en detalle varios aspectos del manipulador articulado, se debe tener en cuenta que los ejemplos ilustrativos no están limitados en su aplicación o uso a los detalles de construcción y disposición de las partes ilustradas en los dibujos y descripción adjuntos. Los ejemplos ilustrativos se pueden implementar o incorporar en otros aspectos, variaciones y modificaciones, y se pueden practicar o llevar a cabo de diversas maneras. Además, a menos que se indique lo contrario, los términos y expresiones empleados en el presente documento se han elegido con el propósito de describir los ejemplos ilustrativos para comodidad del lector y no con el propósito de limitarlos. Asimismo, se apreciará que uno o más de los aspectos, expresiones de aspectos y/o ejemplos descritos a continuación se pueden combinar con uno o más de los otros aspectos, expresiones de aspectos y/o ejemplos descritos a continuación.

La presente divulgación está dirigida a dispositivos, sistemas y métodos para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear. La gestión de la energía térmica dentro de un núcleo es importante para los reactores nucleares. Por ejemplo, si el núcleo de un reactor nuclear se sobrecalienta, el reactor puede quedar fuera de servicio para su posterior reparación, la vida útil del núcleo se puede acortar y el funcionamiento del reactor puede resultar potencialmente peligroso. La extracción de calor del núcleo de un reactor nuclear se convierte en un reto aún mayor -y crítico- a medida que los reactores disminuyen de tamaño y se vuelven más modulares.

Algunos reactores compactos funcionan como una "batería nuclear" que utiliza la energía procedente de la fisión de materiales nucleares (por ejemplo, uranio) para generar electricidad. Por consiguiente, los reactores compactos pueden optimizar el rendimiento del reactor mientras se reduce su tamaño. Sin embargo, a medida que se reduce el tamaño del reactor, resulta cada vez más difícil extraer calor del sistema. La gestión térmica dentro de un reactor compacto se puede realizar mediante una configuración de tuberías de calor. Por ejemplo, cada tubería de calor de un reactor compacto puede incluir una pequeña cantidad de un fluido de trabajo (por ejemplo, líquido de sodio) configurado para mover calor desde el núcleo del reactor a un intercambiador de calor, donde puede ser utilizado para

generar electricidad. A diferencia de los reactores tradicionales, que requieren bombear un gran volumen de refrigerante a través del núcleo, los reactores basados en tuberías de calor requieren una cantidad relativamente pequeña de fluido de trabajo, la mayor parte del cual está contenido en las mechas de las propias tuberías de calor. Por consiguiente, los reactores basados en tuberías de calor no requieren bombas mecánicas, válvulas, tuberías de bucle ni los sistemas auxiliares asociados necesarios para refrigerar un reactor convencional, lo que reduce aún más el tamaño del reactor en su conjunto.

Como tal, el rendimiento y la configuración de las tuberías de calor siguen siendo una consideración clave en el diseño de reactores compactos. Dado que las tuberías de calor racionalizan el sistema de gestión térmica al eliminar la necesidad de componentes auxiliares de refrigeración, la propia configuración de las tuberías de calor se convierte en una limitación para reducir aún más el tamaño del reactor. Las tuberías de calor convencionales incluyen un único tubo que define un volumen de tubo interior lleno de fluido de trabajo, y una fuente de calor y un sumidero posicionados fuera de la tubería de calor convencional. En la Universidad de Newcastle se han realizado investigaciones teóricas sobre el uso de tuberías de calor anulares concéntricas con una sola mecha posicionada en la pared interior de la tubería de calor. Además, en los revestimientos de los hornos isotérmicos se utilizan tuberías de calor anulares, no para transportar grandes cantidades de calor, sino para crear una distribución uniforme de la temperatura para su calibración. No se ha demostrado que ninguna de las tuberías de calor mencionadas anteriormente extraiga eficazmente calor de un reactor compacto, y mucho menos que lo haga de forma tan eficiente que permita reducir aún más el tamaño del reactor. Por consiguiente, se necesitan tuberías de calor mejoradas que puedan extraer eficazmente calor de un reactor compacto y, al mismo tiempo, reducir su tamaño y su huella total.

Haciendo referencia ahora a la figura 1, se representa una vista en sección de un dispositivo 100 configurado para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación. Por ejemplo, el dispositivo 100 puede ser una tubería de calor configurada para su implementación dentro de un reactor nuclear compacto. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 1, la tubería de calor 100 puede incluir un alojamiento interior 104 y un alojamiento exterior 108. El alojamiento interior 104 de la figura 1 puede incluir además una superficie exterior 106 posicionada dentro de la tubería de calor 100 de tal manera que se orienta hacia una superficie interior 110 del alojamiento exterior 108. Como se puede ver en el aspecto no limitativo de la figura 1, la tubería de calor 100 puede incluir una configuración anular con un alojamiento circular exterior 108 posicionado concéntricamente alrededor de un alojamiento circular interior 104. Una longitud de la tubería de calor 100 se puede extender a lo largo de la línea central alrededor de la cual se posicionan concéntricamente el alojamiento interior 104 y el alojamiento exterior 108, formando así una configuración similar a un tubo. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 1, el alojamiento interior 104 puede incluir un diámetro exterior D1 menor que un diámetro interior D2 del alojamiento exterior 108 para lograr la configuración anular mencionada anteriormente. Sin embargo, se debe apreciar que el aspecto configurado circularmente no limitante de la figura 1 se presenta exclusivamente con propósitos ilustrativos. Se debe apreciar que el término "diámetro", tal como se utiliza en la presente divulgación, incluirá cualquier dimensión que se extienda fuera de un punto central del dispositivo 100. Como tal, se debe apreciar que el término "diámetro" no pretende limitar el dispositivo 100 a una configuración circular.

Aunque el aspecto no limitante de la figura 1 representa una tubería de calor 100 con alojamientos 104, 108 circulares y orientados concéntricamente, aunque se debe apreciar que se puede implementar cualquier configuración geométrica para el alojamiento interior 104 y el alojamiento exterior 108. En consecuencia, otros aspectos no limitantes de la presente divulgación incluyen un alojamiento interior 104 y un alojamiento exterior 108 de configuraciones variables (por ejemplo, cuadrada, rectangular, triangular, octogonal). Aún en otros aspectos no limitantes, el alojamiento interior 104 puede incluir una primera configuración geométrica y el alojamiento exterior 108 puede incluir una segunda configuración geométrica diferente de la primera. Por ejemplo, el alojamiento interior 104 puede incluir una configuración octogonal y el alojamiento exterior 108 puede incluir una configuración circular, de tal manera que al menos una porción la superficie exterior 106 del alojamiento interior 104 no sea paralela a una porción correspondiente de la superficie interior 110 del alojamiento exterior 108.

En referencia adicional a la figura 1, el alojamiento interior 104 puede definir además un volumen 103 configurado para alojar una fuente de calor interna 102, de tal manera que la tubería de calor 100 rodea sustancialmente la fuente de calor 102 cuando se inserta correctamente dentro del volumen 103. Por ejemplo, la fuente de calor 102 puede incluir cualquier material configurado para generar energía térmica, como una fuente de combustible (por ejemplo, nitrato de uranio) o un moderador (por ejemplo, un moderador basado en hidruro) del reactor nuclear. Además, cuando se inserta adecuadamente dentro del volumen 103, la fuente de calor 102 se puede posicionar adyacente a una superficie interior 107 del alojamiento interior 104. De acuerdo con algunos aspectos no limitantes, la fuente de calor 102 puede estar en contacto físico con la superficie interior 107 del alojamiento interior 104 cuando se inserta correctamente. De acuerdo con otros aspectos no limitantes, el volumen 103 se puede rellenar con un material intermedio configurado para mejorar la transferencia de calor entre la fuente de calor 102. Independientemente de ello, la interfaz entre la fuente de calor 102 y la tubería de calor 100 se puede configurar para transferir eficazmente el calor fuera de la fuente de calor 102.

Aun haciendo referencia a la figura 1, la tubería de calor 100 puede incluir además una mecha 112 posicionada dentro del volumen intermedio 111 entre el alojamiento interior 104 y el alojamiento exterior 108. La mecha 112 puede estar configurada para contactar al menos una porción de la superficie exterior 106 del alojamiento interior 104 y al menos

una porción de la superficie interior 110 del alojamiento exterior 108. Por ejemplo, de acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 1, la mecha 112 puede incluir una superficie interior 116 posicionada en comunicación térmica con la superficie exterior 106 del alojamiento interior 104 y una superficie exterior 118 posicionada en comunicación térmica con la superficie interior 110 del alojamiento exterior 108. En algunos aspectos no limitantes, las superficies 116, 118 de la mecha 112 se pueden configurar para contactar mecánicamente con las superficies 106, 110 de los alojamientos 104, 108. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 1, la mecha 112 puede incluir además una pluralidad de nervaduras 120 acopladas mecánicamente a al menos una porción de la superficie interior 116 y de la superficie exterior 118 de la mecha 112. La pluralidad de nervaduras 120 puede incluir ya sea el mismo o un material de mecha similar a la mecha 112. Sin embargo, de acuerdo con otros aspectos no limitantes, las nervaduras 120 pueden estar configuradas para contactar directamente con las superficies 106, 110 de los propios alojamientos 104, 108. Aunque las nervaduras 120 representadas en la figura 1 se extienden radialmente hacia fuera desde el centro de los alojamientos interior y exterior orientados concéntricamente 104, 108, se debe apreciar que la presente divulgación contempla otros aspectos no limitantes en los que las nervaduras 120 están orientadas en cualquier número de configuraciones variables (por ejemplo, en zigzag, circular, cruciforme).

De acuerdo con el aspecto no limitante de la figura 1, un fluido de trabajo (por ejemplo, líquido sódico) se puede posicionar dentro del volumen intermedio 111 de la tubería de calor 100 y la mecha 112 puede estar compuesta de uno o más materiales que incluyan propiedades capilares (por ejemplo, cualquier material poroso). La tubería de calor 100 se puede posicionar dentro del reactor nuclear de forma que uno de sus extremos se posicione dentro de un condensador del reactor nuclear. Como tal, el fluido de trabajo que se ha condensado en un lado frío de la tubería de calor 100 puede ser devuelto a un lado caliente de la tubería de calor 100 para su evaporación debido a las propiedades capilares de la mecha 112, renovando así el ciclo de transferencia de calor. En otras palabras, la tubería de calor 100 de la figura 1 se puede configurar para extraer calor de la fuente de calor 102 posicionada dentro de la tubería de calor 100. Se apreciará que la integración de la fuente de calor 102, el alojamiento interior 104, el alojamiento exterior 108 y la mecha 112 -cuando se posicionan adecuadamente en relación con el evaporador y el condensador del reactor nuclear- puede facilitar la transferencia eficiente de energía térmica fuera del núcleo del reactor nuclear. En consecuencia, la tubería de calor 100 de la figura 1 puede gestionar más eficazmente la energía térmica producida por un reactor nuclear compacto en comparación con las configuraciones conocidas de tuberías de calor de un solo tubo. Esto puede mejorar el rendimiento y la fiabilidad y dar lugar a reactores compactos de tamaño reducido.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se representa una vista en sección de otro dispositivo 200 configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 2, el dispositivo 200 puede estar configurado de forma similar a la tubería de calor 100 de la figura 1. Por ejemplo, el dispositivo 200 puede incluir una tubería de calor configurado para su implementación dentro de un reactor nuclear, con un alojamiento interior 204 y un alojamiento exterior 208. Similar a la tubería de calor 100 de la figura 1, el alojamiento interior 204 de la figura 2 puede incluir una superficie exterior 206 posicionada dentro de la tubería de calor 200 de tal manera que está orientada hacia una superficie interior 210 del alojamiento exterior 208. Una vez más, la tubería de calor 200 puede incluir una configuración anular con un alojamiento exterior circular 208 posicionado concéntricamente alrededor de un alojamiento interior circular 204, y la tubería de calor 200 una vez más se extiende en una configuración similar a un tubo. Sin embargo, la configuración anular de la figura 2 sólo pretende tener propósitos ilustrativos. Por consiguiente, en otros aspectos no limitantes, la tubería de calor 200 puede incluir cualquier número de configuraciones geométricas (por ejemplo, cuadrada, rectangular, triangular, octogonal). Independientemente, el alojamiento interior 204 puede definir un volumen 203 configurado para alojar una fuente de calor interna 202.

En referencia adicional al aspecto no limitante de la figura 2, la tubería de calor 200 puede incluir además una capa de revestimiento 222 orientada concéntricamente alrededor de la fuente de calor 202, el alojamiento interior 204, y el alojamiento exterior 208. La capa de revestimiento 222 puede incluir un diámetro de revestimiento D3 que es mayor que el diámetro interior D1 y el diámetro exterior D1, de tal manera que el revestimiento 222 rodea sustancialmente los componentes de la tubería de calor 200 que se discutieron en referencia a la tubería de calor 100 de la figura 1. Aunque el revestimiento 222 de la figura 2 incluye una configuración circular, también puede incluir cualquier número de configuraciones geométricas diferentes, incluso si el alojamiento interior 204 y el alojamiento exterior 208 son circulares. Independientemente, la capa de revestimiento 222 puede definir un segundo volumen intermedio 217 entre una superficie interior 226 de la capa de revestimiento 222 y una superficie exterior 224 del alojamiento exterior 208. Por ejemplo, la capa de revestimiento 222 puede incluir un tubo de pared delgada hecho de un material configurado para contener cualquier material nuclear posicionado dentro de la tubería de calor 200. En consecuencia, la capa de revestimiento 222 se puede configurar específicamente para evitar la corrosión de la y, por lo tanto, evitar la liberación de materiales perjudiciales y potencialmente peligrosos en un entorno operativo.

Aun haciendo referencia a la figura 2, la tubería de calor 200 puede incluir además una mecha 212 posicionada dentro de un volumen intermedio 211 definido entre el alojamiento interior 204 y el alojamiento exterior 208. La mecha 212 puede estar configurada para contactar al menos una porción de la superficie exterior 206 del alojamiento interior 204 y al menos una porción de la superficie interior 210 del alojamiento exterior 208. Por ejemplo, de acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 2, la mecha 212 puede incluir una superficie interior 216 posicionada en comunicación térmica con la superficie exterior 206 del alojamiento interior 204 y una superficie exterior 218 posicionada en comunicación térmica con la superficie interior 210 del alojamiento exterior 208. En algunos aspectos no limitantes,

las superficies 216, 218 de la mecha 212 se pueden configurar para contactar mecánicamente con las superficies 206, 210 de los alojamientos 204, 208. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 2, la mecha 212 puede incluir además una pluralidad de nervaduras 220 acopladas mecánicamente a al menos una porción de la superficie interior 216 y de la superficie exterior 218 de la mecha 212. La pluralidad de nervaduras 220 puede incluir ya sea el mismo o un material de mecha similar a la mecha 212. Sin embargo, de acuerdo con otros aspectos no limitantes, las nervaduras 220 pueden estar configuradas para contactar directamente con las superficies 206, 210 de los propios alojamientos 204, 208.

Aunque las nervaduras 220 representadas en la figura 2 se extienden radialmente hacia fuera desde el centro de los alojamientos interior y exterior orientados concéntricamente 204, 208, se debe apreciar que la presente divulgación contempla otros aspectos no limitantes en los que las nervaduras 220 están orientadas en cualquier número de configuraciones variables (por ejemplo, en zigzag, circular, cruciforme).

De acuerdo con el aspecto no limitante de la figura 2, un fluido de trabajo (por ejemplo, líquido sódico, y/o similar) se puede posicionar dentro del volumen intermedio 211 de la tubería de calor 200 y la mecha 212 puede estar compuesta de uno o más materiales que incluyan propiedades capilares (por ejemplo, cualquier material poroso). La tubería de calor 200 se puede posicionar dentro del reactor nuclear de forma que uno de sus extremos se posicione dentro de un condensador del reactor nuclear. Como tal, el fluido de trabajo que se ha condensado en un lado frío de la tubería de calor 200 puede ser devuelto a un lado caliente de la tubería de calor 200 para su evaporación debido a las propiedades capilares de la mecha 212, renovando así el ciclo de transferencia de calor. En otras palabras, la tubería de calor 200 de la figura 2 se puede configurar para alejar el calor de la fuente de calor 202 posicionada dentro de la tubería de calor 200. Se apreciará que la integración de la fuente de calor 202, el alojamiento interior 204, el alojamiento exterior 208 y la mecha 212 -cuando se posicionan adecuadamente en relación con el evaporador y el condensador del reactor nuclear- puede facilitar la transferencia eficiente de energía térmica fuera del núcleo del reactor nuclear. En consecuencia, la tubería de calor 200 de la figura 2 puede gestionar más eficazmente la energía térmica producida por un reactor nuclear compacto en comparación con las configuraciones conocidas de tuberías de calor de un solo tubo. Esto puede mejorar el rendimiento y la fiabilidad y dar lugar a reactores compactos de tamaño reducido.

De acuerdo con el aspecto no limitante de la figura 2, la tubería de calor 200 de la figura 2 puede incluir una fuente de calor de tipo moderador 202 (por ejemplo, un moderador basado en hidruros, y/o similares) posicionada dentro del volumen 203, y un combustible 228 (por ejemplo, nitrato de uranio, y/o similares) posicionado dentro del segundo volumen intermedio 217, como se define por la capa de revestimiento 222. En consecuencia, el moderador 202 puede estar rodeado por la mecha 212 de la tubería de calor anular 200 y la mecha 212 de la tubería de calor anular 200 puede estar rodeada por el combustible anular 228. Como tal, la tubería de calor 200 de la figura 2 puede incluir múltiples fuentes de calor 202, 228 integradas dentro de un medio de transferencia de calor, o bloque de núcleo (por ejemplo, grafito, y/o similares), del reactor nuclear. Por consiguiente, en caso de fallo de una tubería de calor 200, las tuberías de calor 200 adyacentes pueden compensar el fallo transfiriendo el exceso de calor fuera del núcleo.

Aunque los aspectos no limitantes de las figuras 1 y 2 incluyen tuberías de calor 100, 200 con fuentes de calor integradas 102, 202, la presente divulgación contempla otros aspectos no limitantes que presentan una amplia variedad de disposiciones de las tuberías de calor 100, 200 y las fuentes de calor 102, 202. Por ejemplo, de acuerdo con algunos aspectos no limitantes, la mecha 212 de la tubería de calor 200 de la figura 2 puede estar rodeada por una fuente de calor 202, dependiendo de si la aplicación prevista y/o las preferencias del usuario se pueden acomodar al uso menos eficiente del espacio. En otros aspectos no limitantes, el combustible 228 puede estar rodeado por la mecha 212 de la tubería de calor 200 de la figura 2 y el moderador 202 pueden estar configurados para rodear la mecha 212 de la tubería de calor 200. En otras palabras, la posición del combustible 228 y del moderador 202 de la figura 2 se puede invertir, dependiendo de si la aplicación prevista y/o las preferencias del usuario pueden dar cabida a una refrigeración menos eficiente en caso de fallo de la tubería de calor. En ambos aspectos, el usuario podría estar motivado para optimizar otras variables a expensas del tamaño del reactor nuclear y/o la eficiencia de la transferencia de calor, lo que proporciona el diseño de la tubería de calor 200 de la figura 2 con un cierto grado de personalización. En última instancia, la optimización del diseño de la tubería de calor 200 depende de la aplicación prevista y/o de la preferencia del usuario por el diseño del reactor nuclear, ambas están cobrando cada vez más importancia debido a la aparición de los microrreactores.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se representa una vista superior de una celda unitaria 300 que incluye una pluralidad de dispositivos 302 configurados para extraer calor del núcleo de un reactor nuclear de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación. Se debe apreciar que, aunque la celda unitaria 300 de la figura 3 incluye 19 dispositivos 302, la presente divulgación contempla otros aspectos no limitantes en los que la celda unitaria 300 incluye cualquier número de dispositivos 302. Adicionalmente y/o alternativamente, la configuración hexagonal de la celda unitaria 300 de la figura 3 se presenta exclusivamente con propósitos ilustrativos. Como tal, se debe apreciar que la celda unitaria 300 de la figura 3 puede incluir cualquier número de configuraciones geométricas, dependiendo del rendimiento deseado y de las propiedades térmicas del núcleo.

De acuerdo con el aspecto no limitante de la figura 3, cada dispositivo 302 de la pluralidad de dispositivos 302 puede estar configurado para rodear sustancialmente una fuente de calor integrada 304 del núcleo. La fuente de calor 304 puede incluir una varilla de combustible, un moderador, o combinaciones de los mismos. Como se ha discutido en

referencia a las figuras 1 y 2, cada dispositivo 302 de la pluralidad de dispositivos 302 puede incluir además un conjunto 306 configurado para rodear la fuente de calor 304 integrada. El conjunto 306 puede incluir cualquiera de las características discutidas en referencia a las figuras 1 y 2, incluyendo una mecha 112, 212 de una tubería de calor 100, 200 y/o una pluralidad de nervaduras 120, 220 configuradas para transferir calor fuera de la fuente de calor 304 integrada. De acuerdo con algunos aspectos no limitantes, el conjunto 306 puede incluir además un revestimiento 222 que define un segundo volumen intermedio 217 configurado para alojar un combustible 228, como se discute en referencia a la figura 2. En otros aspectos no limitantes, cada dispositivo 302 de la pluralidad de dispositivos 302 puede incluir una configuración diferente. Por ejemplo, un primer dispositivo 302 puede incluir la configuración del dispositivo 100 de la figura 1 y un segundo dispositivo 302 puede incluir la configuración del dispositivo 200 de la figura 2.

Aun haciendo referencia a la figura 3, cada dispositivo 302 de la celda unitaria 300 puede estar dispuesto particularmente para ser adyacente a varios otros dispositivos 302. Los dispositivos adyacentes 302 se pueden posicionar a una distancia predeterminada unos de otros, de forma que la energía térmica generada por las fuentes de calor integradas 304 de cualquier dispositivo 302 dado se pueda transferir eficazmente fuera del núcleo en caso de fallo de la tubería de calor. Dado que las tuberías de calor convencionales suelen estar rodeadas por las fuentes de calor que pretenden enfriar, las tuberías de calor adyacentes tienen una capacidad limitada para ayudar a mitigar los aumentos de temperatura si falla una primera tubería de calor. En consecuencia, la configuración de la celda unitaria 300 de la figura 3 ofrece una mejora y un beneficio significativos con respecto a los dispositivos conocidos. Adicionalmente y/o alternativamente, la celda unitaria 300 puede incluir un bloque de núcleo que incluya un material con propiedades térmicas preferibles (por ejemplo, grafito) y uno o más sensores de temperatura configurados para monitorizar una temperatura de funcionamiento de la celda unitaria 300 se pueden posicionar en todo el núcleo del reactor nuclear. En consecuencia, si una tubería de calor falla, el calor de la fuente de calor integrada 304 se puede transferir a través del material. Los sensores de temperatura pueden detectar el aumento de temperatura y determinar si cumple o supera un umbral predeterminado, tras lo cual se puede iniciar un protocolo de parada del reactor nuclear.

Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa una vista lateral de un sistema 400 configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 4, el sistema 400 incluye un dispositivo orientado horizontalmente, como una tubería de calor 401, integrado con un condensador 404 del reactor nuclear. La tubería de calor 401 está configurada alrededor de una fuente de calor 402, como combustible o un moderador, cuya longitud define una sección de evaporación de la tubería de calor 401, que funciona a una temperatura de evaporación T_e . La tubería de calor 401 puede incluir además una o más tapas de extremo internas 408, una de las cuales define una sección adiabática de la tubería de calor 401 que funciona a una temperatura adiabática T_{sat} . De acuerdo con algunos aspectos no limitantes, la tubería de calor 401 puede incluir además una cubierta de gas 410 posicionada dentro de la sección adiabática. La tubería de calor 401 puede terminar en el condensador 404 del reactor nuclear, que funciona a una temperatura de condensación T_c . De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 4, la temperatura de evaporación T_e es mayor que la temperatura adiabática T_{sat} y la temperatura adiabática T_{sat} es mayor que la temperatura de condensación T_c . Colectivamente, la sección de evaporación, la sección adiabática y la sección de condensación de la tubería de calor 401 pueden constituir una longitud L de la tubería de calor 401. En consecuencia, un fluido de trabajo 416 dentro de la tubería de calor 401 se puede evaporar del calor generado por la fuente de calor integrada 402, recorrer la longitud de la tubería de calor 401 a través de la sección adiabática hasta el condensador 404, donde se enfría y condensa. El sistema 400 -y más concretamente, la tubería de calor 401- se puede configurar para alojar un pequeño exceso de fluido de trabajo 418 proximal al condensador para evitar que se sequen la tubería de calor 401 y sus componentes.

Notablemente, la tubería de calor 401 de la figura 4 puede incluir tapas externas 406, así como una primera mecha externa 412 y una segunda mecha interna 414. Ya sea las tapas de extremo externa 406, las tapas de extremo internas 408, o ambas, pueden conectar la mecha externa 412 y la mecha interna 414. Alternativa y/o adicionalmente, una o más nervaduras (por ejemplo, las nervaduras 120, 220 de los dispositivos 100, 200 representados en las figuras 1 y 2) también se pueden configurar para conectar una mecha externa 412 y una mecha interna 414 de la tubería de calor 401. En cualquier caso, la mecha externa 412 y la mecha interna 414 pueden cooperar para conectar las múltiples superficies de la tubería de calor 401, lo que crea una mayor superficie de conducción y convección. Además, la conexión de la mecha externa 412 y la mecha interna 414 puede establecer un volumen común de la tubería de calor 401, conservando sus secciones discretas y temperaturas de funcionamiento. Esta conexión se puede posicionar en un lado del condensador de la tubería de calor 401 para el sistema configurado horizontalmente 500 de la figura 5. Sin embargo, se debe apreciar que la tubería de calor 401 con una fuente de calor integral y/o moderador puede proporcionar los beneficios anteriores con y sin mechas 412, 414, y se puede colocar en cualquier orientación, incluyendo una orientación que utiliza la gravedad para mover el fluido de trabajo dentro de la tubería de calor (por ejemplo, un termosifón), como se discutirá en más detalle con referencia a la figura 5.

Haciendo referencia ahora a la figura 5, se representa una vista lateral de otro sistema 500 configurado para extraer calor de un núcleo de un reactor nuclear de acuerdo con al menos un aspecto no limitante de la presente divulgación. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 5, el sistema 500 incluye un dispositivo orientado verticalmente, como una tubería de calor 501, integrado con un condensador 504 del reactor nuclear. El sistema 500 está configurado de forma similar al sistema 400 de la figura 4. Sin embargo, el sistema 500 de la figura 5 está configurado verticalmente y, por lo tanto, puede funcionar como un termosifón para mover el fluido de trabajo 516. La tubería de calor 501 está configurada alrededor de una fuente de calor 502, como combustible o un moderador, cuya longitud define una sección

de evaporación de la tubería de calor 501, que funciona a una temperatura de evaporación T_e . La tubería de calor 501 puede incluir además una o más tapas de extremo internas 508, una de las cuales define una sección adiabática de la tubería de calor 501 que funciona a una temperatura adiabática T_{sat} . De acuerdo con algunos aspectos no limitantes, la tubería de calor 501 puede incluir además una cubierta de gas posicionada dentro de la sección adiabática. La tubería de calor 501 puede terminar en el condensador 504 del reactor nuclear, que funciona a una temperatura de condensación T_c . Colectivamente, la sección de evaporación, la sección adiabática y la sección de condensación de la tubería de calor 501 pueden constituir una longitud L de la tubería de calor 501. De acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 5, la temperatura de evaporación T_e es mayor que la temperatura adiabática T_{sat} y la temperatura adiabática T_{sat} es mayor que la temperatura de condensación T_c . En consecuencia, un fluido de trabajo 516 dentro de la tubería de calor 501 se puede evaporar del calor generado por la fuente de calor integrada 502, recorrer la longitud de la tubería de calor 501 a través de la sección adiabática hasta el condensador 504, donde se enfría y condensa.

En referencia adicional a la figura 5, la tubería de calor 501 puede incluir tapas de extremo externas 506. Sin embargo, de acuerdo con el aspecto no limitativo de la figura 5, la tubería de calor puede incluir una característica de mecha 512 posicionada exclusivamente dentro de la sección de evaporación. Por ejemplo, la característica de mecha 512 puede incluir ranuras, una mecha parcial, y/o similares. Para la configuración vertical de figura 5, la tubería de calor no requiere tantas características de mecha 412, 414 como el sistema configurado horizontalmente 400 de la figura 4. Esto se debe a que la gravedad puede ayudar en el retorno del fluido de trabajo 516 condensado al evaporador, aunque el sistema 500 configurado verticalmente de la figura 5 puede no ser ideal para reactores de alta potencia.

Una vez más, las tapas de extremo externas 506, las tapas de extremo internas 508, o ambas pueden conectar las características de mecha 512 de la tubería de calor 501 de la figura 5. Alternativa y/o adicionalmente, una o más nervaduras (por ejemplo, las nervaduras 120, 220 de los dispositivos 100, 200 representados en las figuras 1 y 2) se pueden configurar para conectar las características de mecha 512 de la tubería de calor 501. En cualquier caso, las características de mecha 512 pueden cooperar para conectar las múltiples superficies de la tubería de calor 501, lo que crea una mayor superficie de conducción y convección. Además, la conexión de las características de mecha 512 puede establecer un volumen común de la tubería de calor 501, conservando sus secciones discretas y temperaturas de funcionamiento. En consecuencia, la tubería de calor 501 puede proporcionar los beneficios anteriores con características de mecha reducidas 512 y puede funcionar, incluso cuando está orientada verticalmente, para mover el fluido de trabajo 516 dentro de la tubería de calor 501 (por ejemplo, un termosifón).

La presente invención se ha descrito con referencia a varios aspectos ejemplares e ilustrativos. Los aspectos descritos en el presente documento se entienden como características ilustrativas de detalle variable de diversos aspectos de la invención divulgada; y por lo tanto, a menos que se especifique lo contrario, se debe entender que, en la medida de lo posible, una o más características, elementos, componentes, constituyentes, ingredientes, estructuras, módulos y/o aspectos de los aspectos divulgados se pueden combinar, separar, intercambiar y/o reorganizar con o en relación con una o más características, elementos, componentes, constituyentes, ingredientes, estructuras, módulos y/o aspectos de los aspectos divulgados sin apartarse del alcance de la invención divulgada. En consecuencia, se reconocerá por las personas que tienen habilidad ordinaria en la técnica que varias sustituciones, modificaciones o combinaciones de cualquiera de los aspectos ejemplares se pueden hacer sin apartarse del alcance de la invención. Además, los expertos en la técnica reconocerán, o podrán determinar mediante experimentación rutinaria, muchos equivalentes a los diversos aspectos de la invención descritos en el presente documento tras la revisión de esta especificación. Así pues, la invención no está limitada por la descripción de los distintos aspectos, sino por las reivindicaciones.

Cabe señalar que cualquier referencia a "un aspecto", "unos aspectos", "una ejemplificación", "unas ejemplificaciones" y similares significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en relación con el aspecto está incluida en al menos un aspecto. Por lo tanto, la aparición de las frases "en un aspecto", "en unos aspectos", "en una ejemplificación" y "en unas ejemplificaciones" en distintos lugares a lo largo de la especificación no se refieren necesariamente al mismo aspecto. Además, los rasgos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada en uno o más aspectos.

Las frases direccionales utilizadas en el presente documento, tales como, por ejemplo y sin limitación, arriba, abajo, izquierda, derecha, inferior, superior, delante, atrás, y variaciones de las mismas, se referirán a la orientación de los elementos tal y como se muestra en el dibujo adjunto.

Los términos "comprender" (y cualquier forma de comprender, como "comprende" y "comprendiendo"), "tener" (y cualquier forma de tener, como "tiene" y "teniendo"), "incluir" (y cualquier forma de incluir, como "incluye" e "incluyendo") y "contener" (y cualquier forma de contener, como "contiene" y "conteniendo") son verbos de enlace abiertos. Como resultado, un sistema que "comprende", "tiene", "incluye" o "contiene" uno o más elementos posee esos uno o más elementos, pero no está limitado a poseer sólo esos uno o más elementos. Del mismo modo, un elemento de un sistema, dispositivo o aparato que "comprende", "tiene", "incluye" o "contiene" una o más características posee esas una o más características, pero no está limitado a poseer sólo esas una o más características.

REIVINDICACIONES

1. Una celda unitaria configurada para extraer calor generado por un reactor nuclear, comprendiendo la celda unitaria (300):

un material de bloque de núcleo; y
una pluralidad de dispositivos (302) dispuestos a lo largo del material del bloque de núcleo, en el que al menos un dispositivo de la pluralidad de dispositivos (302) comprende una tubería de calor (100; 200; 401; 501) que comprende:

una longitud;
un alojamiento interior (104) que comprende una superficie exterior (106), en la que el alojamiento interior (104) define un volumen interior (103) configurado para alojar una fuente de calor (102; 202);
un alojamiento exterior (108) que comprende una superficie interior (110), en la que el alojamiento exterior (108) está configurado alrededor del alojamiento interior (104) y la fuente de calor (102; 202);
una mecha (112; 212) posicionada entre el alojamiento interior (104) y el alojamiento exterior (108) y que se extiende a lo largo de al menos una porción de la longitud de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), en el que la mecha (112; 212) comprende un material capilar, en el que la mecha (112; 212) está configurada para entrar en contacto con al menos una porción de la superficie exterior (106) del alojamiento interior (104), en la que la mecha (112; 212) está configurada para entrar en contacto con al menos una porción de la superficie interior (110) del alojamiento exterior (108), y en la que la mecha (112; 212) define un volumen intermedio (111) entre el alojamiento interior (104) y el alojamiento exterior (108); y
un fluido de trabajo (416) dentro del volumen intermedio (111), en el que el fluido de trabajo (416) está configurado para evaporarse en un primer extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), en el que el fluido de trabajo (416) está configurado además para condensarse en un segundo extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), en el que la mecha (112; 212) está configurada para devolver el fluido de trabajo (416) que se ha condensado en el segundo extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501) al primer extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), y en el que la evaporación y condensación del fluido de trabajo (416) está configurada para transferir calor desde el primer extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501) al segundo extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501) para su disipación a través de un intercambiador de calor.

2. La celda unitaria de la reivindicación 1, en la que el material del bloque de núcleo comprende grafito.

3. La celda unitaria de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en la que la mecha (112; 212) comprende una pluralidad de nervaduras (120; 220), en la que al menos una primera nervadura de la pluralidad de nervaduras (120; 220) contacta con al menos una porción de la superficie exterior (106) del alojamiento interior (104), y en la que al menos una segunda nervadura de la pluralidad de nervaduras (120; 220) contacta con al menos una porción de la superficie interior (110) del alojamiento exterior (108).

4. La celda unitaria de la reivindicación 3, en la que la tubería de calor (100; 200; 401; 501) comprende una configuración de tubo, en la que el alojamiento exterior (108) y el alojamiento interior (104) comprenden cada uno una configuración circular, en la que el alojamiento exterior (108) está orientado concéntricamente con respecto al alojamiento interior (104), y en el que la pluralidad de nervaduras (120; 220) están configuradas para extenderse radialmente desde un punto central del alojamiento interior (104).

5. La celda unitaria de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la tubería de calor (100; 200; 401; 501) comprende además una tapa acoplada al segundo extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), en la que la tapa está configurada para entrar en contacto mecánicamente con el alojamiento exterior (108), el alojamiento interior (104) y la mecha (112; 212), estableciendo así un circuito térmico que atraviesa el volumen interior (103) y el volumen intermedio (111).

6. La celda unitaria de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la fuente de calor (102; 202) es un moderador, y en la que la tubería de calor (100; 200; 401; 501) comprende además un revestimiento (222) configurado alrededor del alojamiento exterior (108), en el que el revestimiento (222) define un segundo volumen intermedio (217) alrededor del alojamiento exterior (108), y en el que un combustible nuclear está posicionado dentro del segundo volumen intermedio (217).

7. La celda unitaria de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una reserva posicionada en el segundo extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501), en el que la reserva está configurada para contener una cantidad en exceso de fluido de trabajo (416), y en la que la cantidad en exceso (418) de fluido de trabajo está configurada para evitar que la tubería de calor (100; 200; 401; 501) y sus componentes se sequen.

8. La celda unitaria de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la tubería de calor (100; 200; 401; 501) comprende además un termosifón orientado verticalmente configurado de tal manera que la gravedad ayuda al menos parcialmente a la mecha (112; 212) a devolver el fluido de trabajo (416) que se ha condensado en el segundo extremo

ES 2 993 308 T3

de la tubería de calor (100; 200; 401; 501) al primer extremo de la tubería de calor (100; 200; 401; 501).

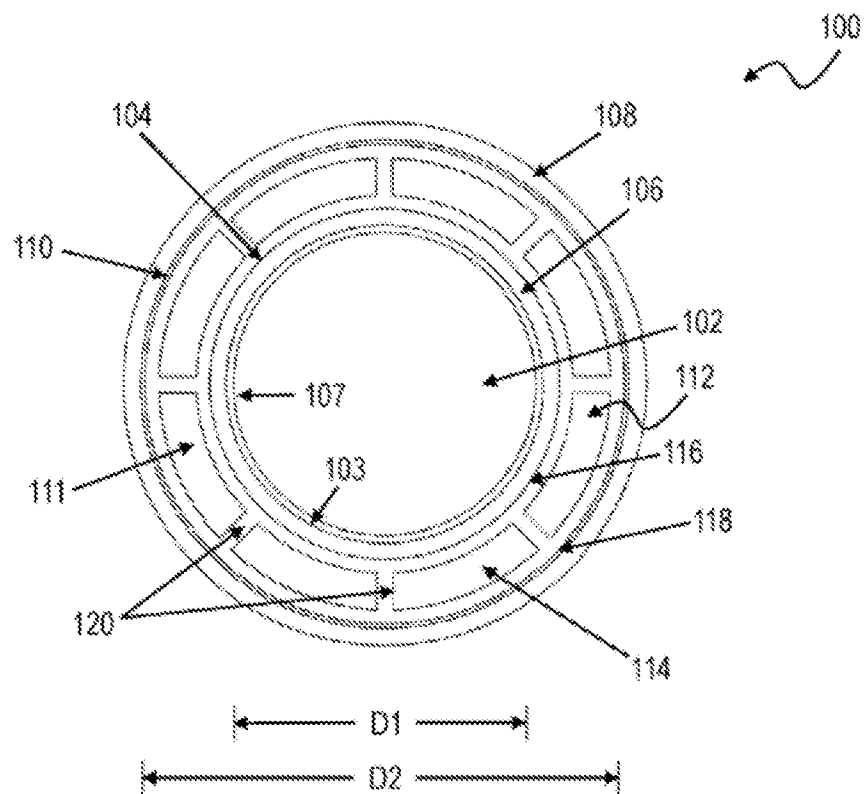


FIG. 1

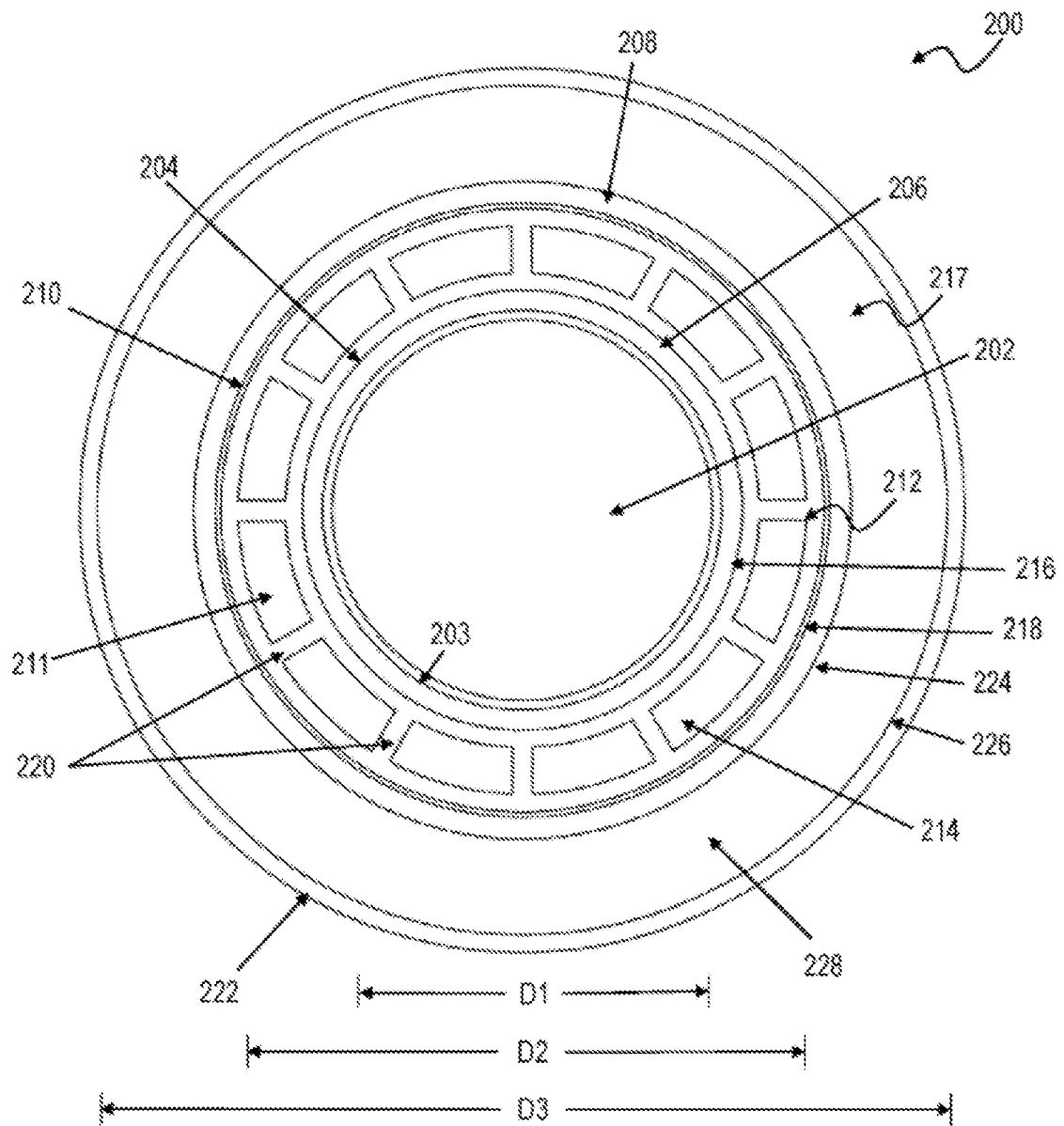


FIG. 2

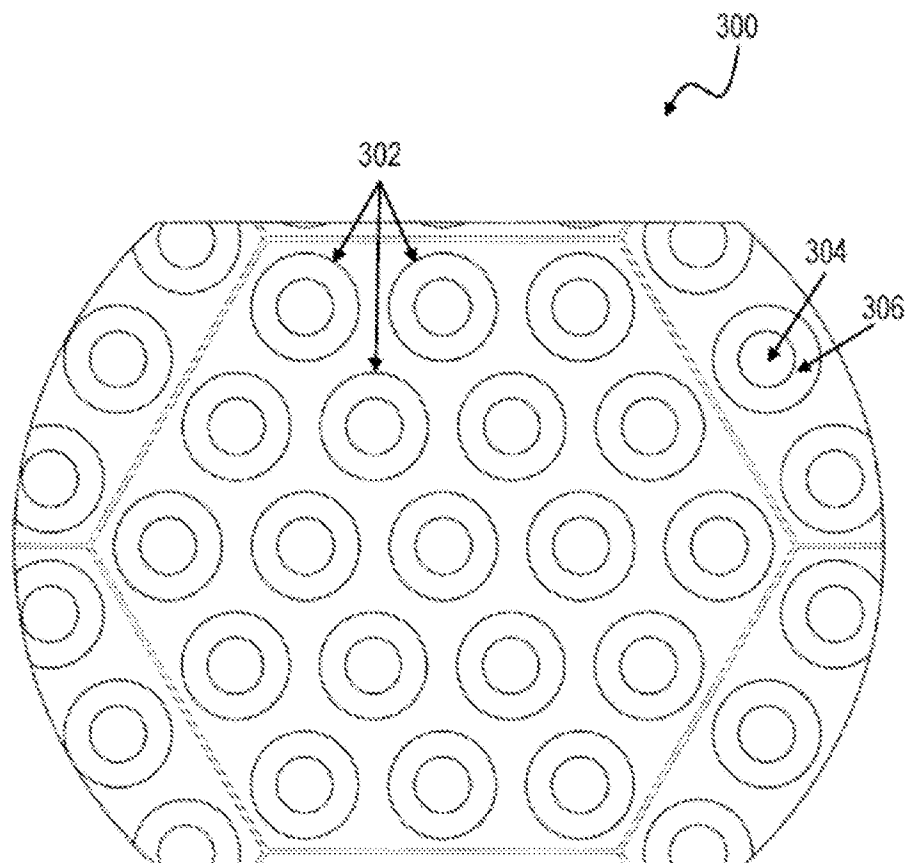


FIG. 3

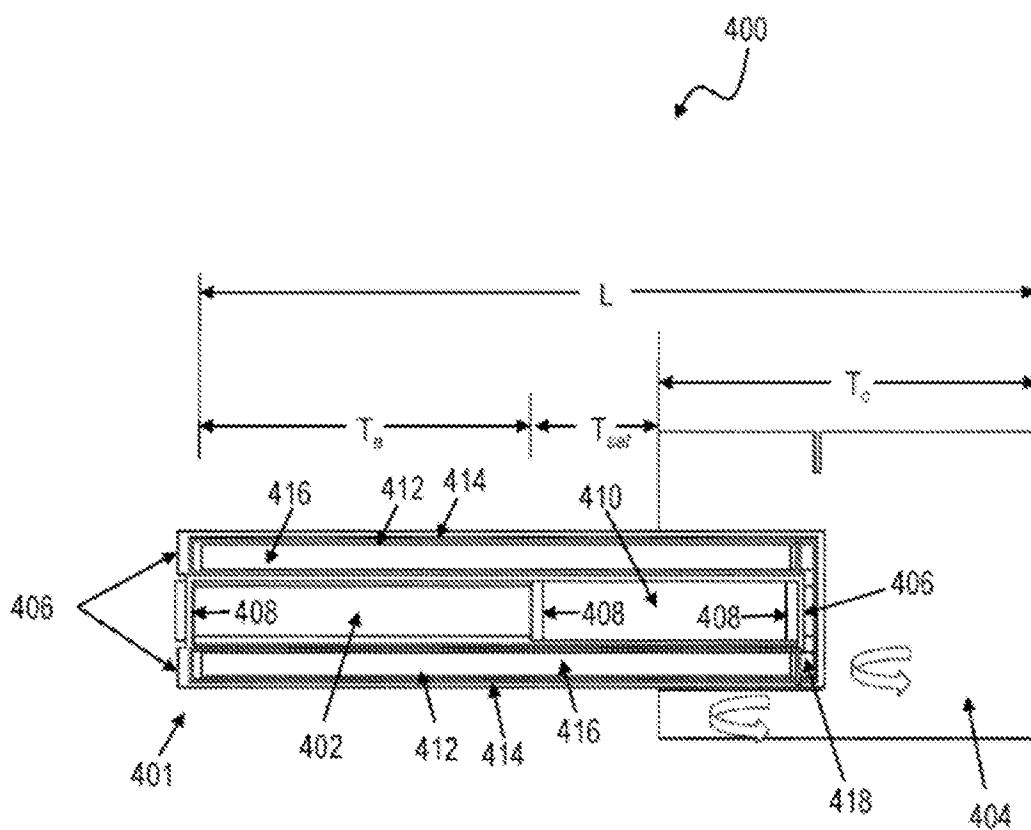


FIG. 4

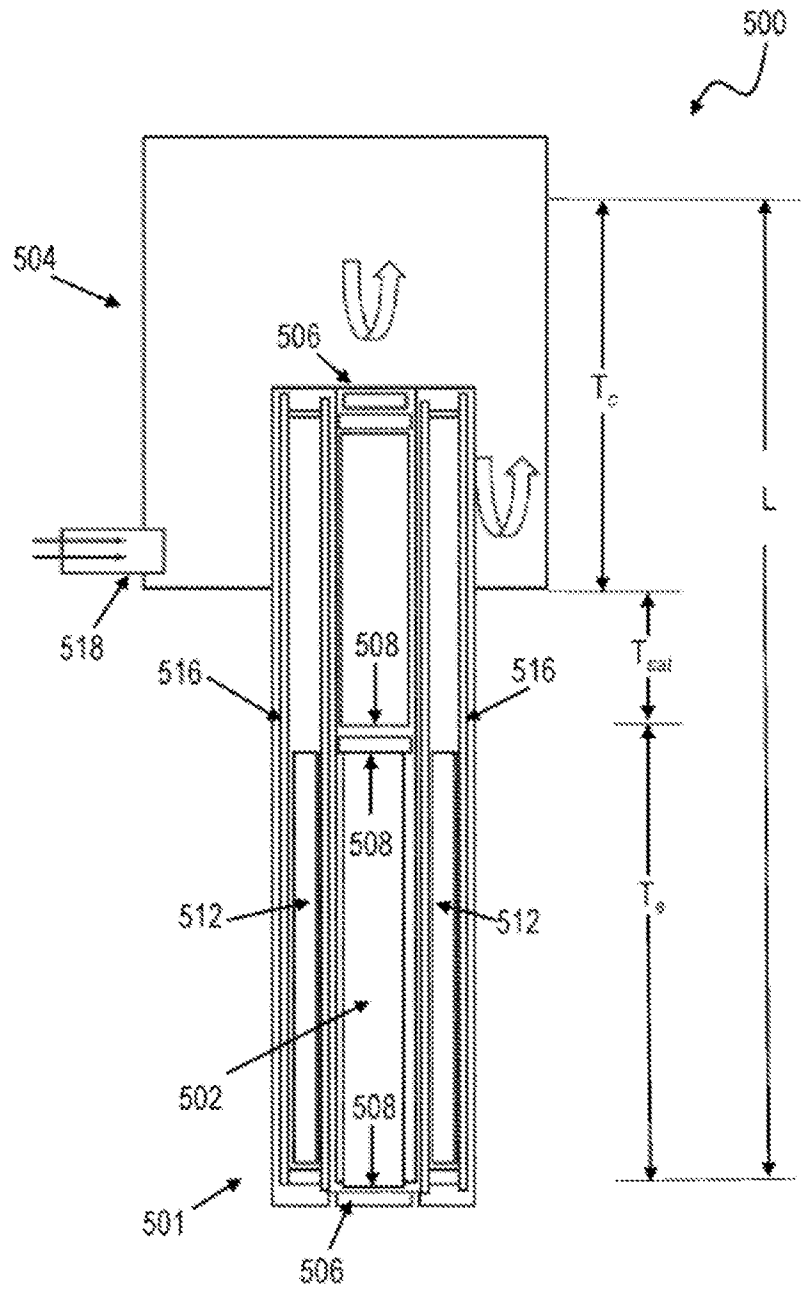


FIG. 5