

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 623**

51 Int. Cl.:

**F22B 1/02** (2006.01)  
**F22B 37/00** (2006.01)  
**F22B 37/10** (2006.01)  
**F22B 37/70** (2006.01)  
**G21C 1/32** (2006.01)  
**G21D 1/00** (2006.01)  
**G21C 13/036** (2006.01)  
**G21C 13/04** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2015** **PCT/US2015/060173**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016** **WO16130186**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2015** **E 15828904 (1)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020** **EP 3256778**

54 Título: **Generador de vapor con lámina de tubo inclinada**

30 Prioridad:

**10.02.2015 US 201514618701**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**18.02.2021**

73 Titular/es:

**NUSCALE POWER, LLC (100.0%)**  
**1100 NE Circle Blvd., Suite 200**  
**Corvallis, OR 97330, US**

72 Inventor/es:

**LISZKAI, TAMAS**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 806 623 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

Generador de vapor con lámina de tubo inclinada

### Campo técnico

Esta divulgación se refiere generalmente a sistemas, dispositivos, estructuras y métodos asociados con un sistema de generación de vapor.

### Antecedentes

El rendimiento del reactor, que incluye la capacidad de generar electricidad de manera eficiente a partir de un generador de vapor puede estar influenciado o de otro modo afectado por una variedad de consideraciones de diseño. Por ejemplo, el número, longitud y el espesor de la pared de los tubos del generador de vapor pueden afectar a la eliminación del calor de decaimiento y al caudal asociada con un sistema generador de vapor. De manera similar, el volumen total y el espesor de pared asociados con una estructura de contención pueden determinar, en parte, una presión de funcionamiento normal o una presión de sistema admisible de una central eléctrica.

Además de las consideraciones de diseño relacionadas con la eficiencia, los diversos componentes del sistema asociados con la central eléctrica a menudo deben cumplir con estrictos requisitos de seguridad y códigos reguladores. Las centrales eléctricas que funcionan con líquido y/o vapor contenido a presión están diseñadas típicamente para soportar presiones que pueden exceder las condiciones normales de funcionamiento para evitar que los componentes fallen durante un evento o accidente de sobrepresión.

De forma invariable, los requisitos de seguridad y códigos reguladores a menudo dan como resultado un diseño más robusto de los componentes, lo que tiende a dar como resultado una mayor cantidad de material utilizado en la fabricación de ciertos componentes. A medida que aumenta el tamaño o el peso de los componentes, esto aumenta de manera similar los costes asociados de fabricación y transporte durante la construcción del módulo del reactor, por lo tanto, adicionándose al coste total de la central eléctrica y la electricidad que está diseñada para generar.

El documento US 2013/044853 A1 divulga un cabezal de vapor y agua de alimentación equipado con una boquilla de agua de alimentación o una boquilla de vapor de una vasija de reactor en un generador de vapor para un reactor nuclear integrado. El cabezal de vapor y agua de alimentación puede incluir una parte de conexión de boquilla conectada a una boquilla de vapor o una boquilla de agua de alimentación de una vasija de reactor, un reborde de cabezal que sobresale hacia el exterior desde una pieza inferior de la parte de conexión de boquilla y una parte de conexión de tubo dispuesta en dos tuberías ramificada desde la parte de conexión de la boquilla y conectada a un tubo del generador de vapor.

El documento US 3 394 051 A divulga una disposición de reactor nuclear-generador de vapor en donde el núcleo del reactor, el fluido refrigerante primario y el haz de tubos que generan vapor están contenidos dentro de una vasija a presión común en la que un miembro hueco que rodea el núcleo define con el interior de la vasija un espacio anular ocupado por el haz de tubos. El refrigerante primario se hace circular mediante una bomba hacia arriba a través del miembro hueco para extraer calor desde el núcleo, hacia el espacio anular a través de una abertura superior en el miembro hueco, y hacia abajo a través del espacio anular para transferir calor al agua de alimentación que fluye a través de los tubos que generan vapor para generar vapor sobrecalentado. Para minimizar la altura total y sin embargo permitir el funcionamiento normal cuando la vasija a presión se somete a desviaciones de inclinación y balanceo desde una disposición vertical, el haz de tubos se extiende en elevación desde aproximadamente el extremo inferior del núcleo del reactor hasta una posición dentro de la zona de fase de vapor de refrigerante primario en la parte superior de la vasija por encima del nivel del líquido refrigerante primario. El nivel del líquido refrigerante primario está regulado de modo que aquellas partes de los tubos que generan vapor en donde se produce la ebullición de nucleados no estarán expuestas a la fase de vapor del refrigerante primario, y la cantidad de superficie que absorbe calor del tubo expuesta a la fase de vapor permanecerá sustancialmente constante en las condiciones de inclinación y balanceo.

El documento US 2013/279643 A1 divulga un generador de vapor para un reactor nuclear que comprende cámaras próximas a un primer plano, en donde el primer plano intersecta con una parte del fondo de una columna elevadora de una vasija del reactor. El generador de vapor comprende adicionalmente cámaras próximas a un segundo plano, aproximadamente paralelo con el primer plano, en donde el segundo plano intersecta con una parte superior de la columna elevadora de la vasija del reactor. El generador de vapor puede incluir adicionalmente una pluralidad de tubos generadores de vapor que transportan refrigerante desde una cámara ubicada próxima al primer plano hasta una de las cámaras próximas al segundo plano.

La presente invención aborda estos y otros problemas.

### Compendio

La invención está definida por las reivindicaciones independientes, tomando debidamente en cuenta cualquier elemento que sea equivalente a un elemento especificado en las reivindicaciones. Las reivindicaciones dependientes conciernen a características opcionales de algunas realizaciones de la invención.

### Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un módulo del reactor nuclear de ejemplo.

La FIG. 2 ilustra un sistema de generación de vapor de ejemplo para un módulo del reactor nuclear.

La FIG. 3 ilustra una vista superior de un conjunto de cámara inferior de ejemplo.

5 La FIG. 4 ilustra una vista lateral del conjunto de cámara inferior de ejemplo de la FIG. 3

La FIG. 5 ilustra un sistema de vasija del reactor de ejemplo con una lámina de tubo de vasija del reactor integral.

La FIG. 6 ilustra una vista ampliada del conjunto de cámara superior de ejemplo de la FIG. 5.

La FIG. 7 ilustra una vista ampliada del conjunto de cámara inferior de ejemplo de la FIG. 5.

10 La FIG. 8 ilustra una vista parcial de un sistema generador de vapor de ejemplo que comprende láminas de tubo verticales.

La FIG. 9 ilustra una vista de cerca de un conjunto de lámina de tubo de ejemplo.

La FIG. 9A ilustra una vista de la parte superior parcial simplificada del conjunto de lámina de tubo de ejemplo de la FIG. 9

La FIG. 10 ilustra una configuración de curvatura del tubo de transferencia de calor de ejemplo.

La FIG. 11 ilustra otra configuración de curvatura del tubo de transferencia de calor de ejemplo.

15 La FIG. 12 ilustra una vista parcial de un sistema generador de vapor de ejemplo que comprende láminas de tubo inclinadas.

La FIG. 13 ilustra una vista de cerca de un conjunto de lámina de tubo de ejemplo.

La FIG. 14 ilustra un conjunto de lámina de tubo con un patrón de orificios de ejemplo.

La FIG. 15 ilustra un conjunto de lámina de tubo con un patrón de orificios de ejemplo adicional.

La FIG. 16 ilustra un proceso de ejemplo para ensamblar un generador de vapor.

### 20 Descripción detallada

La FIG. 1 ilustra un módulo 100 del reactor nuclear de ejemplo que comprende una vasija 10 de contención, una vasija 20 del reactor y un intercambiador 40 de calor. El intercambiador 40 de calor puede comprender uno o más generadores de vapor. Un núcleo 5 del reactor puede estar posicionado en una parte del fondo de la vasija 20 del reactor. El núcleo 5 del reactor puede comprender una cantidad de material fisible configurada para generar una reacción controlada que puede producirse durante un período de, por ejemplo, varios años.

La vasija 10 de contención puede configurarse para impedir la liberación de refrigerante 15 primario contenido dentro del vasija 20 del reactor. En algunos ejemplos, la vasija 10 de contención puede ser de forma aproximadamente cilíndrica y/o puede tener uno o más extremos elipsoidales, abovedados o esféricos. La vasija 10 de contención puede estar soldada o de otro modo sellada al medio ambiente, de modo que no se permita que los líquidos y/o gases escapen desde o entren en la vasija 10 de contención. En diversos ejemplos, la vasija 20 del reactor y/o la vasija 10 de contención pueden estar apoyados en el fondo, apoyados en la parte superior, apoyados sobre su centro, o cualquier combinación de los mismos.

Una superficie interior de la vasija 20 del reactor puede estar expuesta a un ambiente húmedo que comprende refrigerante y/o vapor, y una superficie exterior de la vasija 20 del reactor puede estar expuesta a un ambiente sustancialmente seco en algunos ejemplos y/o modos de funcionamiento. La vasija 20 del reactor puede comprender y/o estar hecho de acero inoxidable, acero al carbono, otros tipos de materiales o materiales compuestos, o cualquier combinación de los mismos.

La vasija 10 de contención puede rodear sustancialmente a la vasija 20 del reactor dentro de una región 14 de contención. La región 14 de contención puede comprender un ambiente seco, vaciado y/o gaseoso en algunos ejemplos y/o modos de funcionamiento. La región 14 de contención puede llenarse al menos parcialmente con un gas y/o un fluido que aumenta la transferencia de calor entre la vasija 20 del reactor y la vasija 10 de contención. La región 14 de contención puede comprender una cantidad de aire, un gas noble tal como el argón, otros tipos de gases, o cualquier combinación de los mismos. En algunos ejemplos, la región 14 de contención puede mantenerse a o por debajo de la presión atmosférica, por ejemplo, a un vacío parcial. En otros ejemplos, la región 14 de contención puede mantenerse a un vacío sustancialmente completo. Cualquier gas o gases en la vasija 10 de contención pueden evacuarse y/o eliminarse antes del funcionamiento del módulo 100 del reactor.

Ciertos gases pueden considerarse no condensables a presiones de funcionamiento que se experimentan dentro de

un sistema del reactor nuclear. Estos gases no condensables pueden incluir hidrógeno y oxígeno, por ejemplo. Durante un funcionamiento de emergencia, el vapor puede reaccionar químicamente con las barras de combustible para producir un nivel de hidrógeno alto. Cuando el hidrógeno se mezcla con aire u oxígeno, esto puede crear una mezcla combustible. Al eliminar una parte sustancial del aire u oxígeno de la vasija 10 de contención, se puede minimizar o eliminar la cantidad de hidrógeno y oxígeno que se permite mezclar.

Quando se detecta una condición de emergencia puede eliminarse o vaciarse cualquier aire u otros gases que residan en la región 14 de contención. Los gases que se vacían o se evacúan desde la región 14 de contención pueden comprender gases no condensables y/o gases condensables. Los gases condensables pueden incluir cualquier vapor que se ventila hacia la región 14 de contención.

Durante un funcionamiento de emergencia, mientras que el vapor y/o el vaho pueden ventilarse desde la vasija 20 del reactor hasta la región 14 de contención, cualquier gas no condensable (como el hidrógeno) que pueda ventilarse o liberarse en la región 14 de contención no sería en una cantidad suficiente como para desarrollar una mezcla de gas combustible.

En consecuencia, en algunos ejemplos, no se ventila sustancialmente gas hidrógeno hacia la región 14 de contención junto con el vaho, de modo que los niveles y/o cantidades de hidrógeno junto con cualquier oxígeno que pueda existir dentro de la región 14 de contención se mantienen a un nivel no combustible. Además, este nivel no combustible de mezcla oxígeno-hidrógeno puede mantenerse sin el uso de recombinadores de hidrógeno. En algunos ejemplos, se pueden configurar líneas de ventilación separadas desde la vasija 20 del reactor para eliminar gases no condensables durante el arranque, calentamiento, enfriamiento y/o apagado del reactor.

La eliminación de transferencia de calor convectiva en el aire se produce generalmente a aproximadamente 50 torr (50 mmHG = 66,7 hPa) de presión absoluta, sin embargo, se puede observar una reducción en la transferencia de calor convectiva a aproximadamente 300 torr (300 mmHG = 400,0 hPa) de presión absoluta. En algunos ejemplos, la región 14 de contención puede estar provista de, o mantenida por debajo de, una presión de 300 torr (300 mmHG = 400,0 hPa). En otros ejemplos, la región 14 de contención puede estar provista de, o mantenida por debajo de, una presión de 50 torr (50 mmHG = 66,7 hPa). La región 14 de contención puede estar provista de y/o mantenida a un nivel de presión que inhiba sustancialmente cualquier transferencia de calor convectiva y/o conductiva entre la vasija 20 del reactor y la vasija 10 de contención. Puede proporcionarse y/o mantenerse un vacío completo o parcial haciendo funcionar una bomba de vacío, un eyector de chorro de vapor-aire, otros tipos de dispositivos de evacuación o cualquier combinación de los mismos.

Al mantener la región 14 de contención en un vacío o vacío parcial, se puede eliminar la humedad dentro de la región 14 de contención, de ese modo protegiendo los componentes eléctricos y mecánicos de la corrosión o fallo. Además, el vacío o vacío parcial pueden funcionar para extraer o atraer refrigerante hacia la región 14 de contención durante un funcionamiento de emergencia (p. ej., un caso de sobrepresión o sobrecalentamiento) sin el uso de una bomba separada o un depósito de mantenimiento elevado. El vacío o vacío parcial también pueden funcionar para proporcionar un modo de inundar o llenar con refrigerante la región 14 de contención durante un proceso de repostaje.

Un vacío dentro de la región 14 de contención puede actuar como un tipo de aislamiento térmico durante el funcionamiento normal del módulo del reactor, reteniendo de ese modo calor y energía en la vasija 20 del reactor donde puede continuar utilizándose para generar energía. Como resultado, se puede usar menos aislamiento de material en el diseño de la vasija 20 del reactor. En algunos ejemplos, se puede usar un aislamiento reflectante en lugar de, o además de, aislamientos térmicos convencionales. El aislamiento reflectante puede incluirse en una o ambas vasijas 20 del reactor o vasijas 10 de contención. El aislamiento reflectante puede ser más resistente al daño por agua en comparación con el aislamiento térmico convencional. Además, el aislamiento reflectante puede no impedir una transferencia de calor desde la vasija 20 del reactor tanto como el aislamiento térmico convencional durante una condición de emergencia. Por ejemplo, una superficie exterior de acero inoxidable de la vasija 20 del reactor puede entrar en contacto directo con cualquier refrigerante ubicado en la región 14 de contención.

Una o ambas vasijas 20 del reactor y vasija 10 de contención pueden estar expuestas al refrigerante y/o al agua durante algunos modos de funcionamiento, tales como repostaje, apagado o transporte. En algunos ejemplos, la vasija 10 de contención puede estar sumergida parcial o completamente dentro de un estanque de agua u otro fluido refrigerante. Además, el núcleo 5 del reactor puede estar sumergido parcial o completamente dentro de un refrigerante 15 primario, tal como agua, que puede incluir boro u otros aditivos.

El sistema 40 de transferencia de calor puede comprender uno o más generadores de vapor y/o conjuntos de tubos de transferencia de calor. Además, el sistema 40 de transferencia de calor puede comprender uno o más conjuntos 50 de cámara superior y uno o más conjuntos 55 de cámara inferior configurados para hacer circular refrigerante secundario que comprende agua de alimentación y/o vapor a través del sistema 40 de transferencia de calor. El refrigerante 15 primario calentado por el núcleo 5 del reactor puede viajar hacia arriba a través de una sección 30 elevadora y transferir calor al refrigerante secundario asociado con el sistema 40 de transferencia de calor.

La FIG. 2 ilustra un sistema 200 de generación de vapor de ejemplo para un módulo del reactor nuclear. El sistema 200 de generación de vapor puede configurarse para hacer circular refrigerante secundario que comprende agua de

alimentación y/o vapor a través de una pluralidad de tubos 230 de transferencia de calor. En algunos ejemplos, el refrigerante secundario puede pasar a través del sistema 200 de generación de vapor y puede convertirse en vapor sobrecalentado debido a una transferencia térmica de calor entre el refrigerante secundario en los tubos 230 de transferencia de calor y el refrigerante primario en una vasija 250 del reactor. El refrigerante secundario en el sistema 200 de generación de vapor puede mantenerse aislado del refrigerante primario en la vasija 250 del reactor en todo momento, de modo que no se les permite mezclarse o entrar en contacto directo entre sí.

Los tubos 230 de transferencia de calor pueden comprender un número de bobinas helicoidales que se envuelven alrededor de una columna 240 elevadora dentro de la vasija 250 del reactor. El refrigerante primario calentado puede elevarse mediante la columna 240 elevadora y hacer contacto con la superficie exterior de los tubos 230 de transferencia de calor. En algunos ejemplos, el refrigerante primario ubicado dentro de la vasija 250 del reactor puede permanecer por encima de una presión atmosférica, permitiendo de ese modo que el refrigerante primario mantenga una temperatura alta sin vaporizar (es decir, en ebullición). A medida que el refrigerante secundario dentro de los tubos 230 de transferencia de calor aumenta de temperatura, el refrigerante secundario puede comenzar a hervir y/o convertirse en vapor.

El refrigerante vaporizado puede dirigirse desde un conjunto 210 de cámara superior del sistema 200 de generación de vapor para impulsar una o más turbinas. El conjunto 210 de cámara superior puede ubicarse en un puerto de salida del sistema 200 de generación de vapor. Después de condensar, el refrigerante secundario hacerse volver a un conjunto 220 de cámara inferior del sistema 200 de generación de vapor. El conjunto 220 de cámara inferior puede ubicarse en un puerto de entrada de sistema 200 de generación de vapor. Los extremos de alimentación de los tubos 230 de transferencia de calor pueden dirigirse al conjunto 220 de cámara de alimentación inferior que puede estar ubicado de forma radial, al menos parcialmente, dentro de la región anular entre la vasija 250 del reactor y la columna 240 elevadora.

La FIG. 3 ilustra una vista de la parte superior de un conjunto 300 de cámara inferior. En algunos ejemplos, se puede considerar que el conjunto 300 de cámara inferior funciona de manera similar al conjunto 220 de cámara inferior de la FIG. 2. El conjunto 300 de cámara inferior puede comprender una entrada 330 o boquilla de alimentación configurada para introducir refrigerante secundario en un puerto 340 de acceso de cámara de alimentación. El puerto 340 de acceso de cámara de alimentación puede configurarse para proporcionar acceso para que el refrigerante secundario pase a una cámara 370 de alimentación ubicada al menos parcialmente dentro de una vasija 320 del reactor.

Además, el conjunto 300 de cámara inferior puede comprender una placa 350 de cubierta configurada para proporcionar acceso a la parte interior del puerto 340 de acceso de cámara de alimentación y/o cámara 370 de alimentación. El conjunto 300 de cámara inferior puede ubicarse sustancial o completamente dentro de una vasija 310 de contención. En algunos ejemplos, la vasija 320 del reactor puede configurarse para ser retirada de la vasija 310 de contención, y la placa 350 de cubierta puede retirarse desde y/o instalarse en el puerto 340 de acceso a la cámara de alimentación durante uno o más funcionamientos tales como mantenimiento, inspección e instalación.

Se puede dimensionar un espacio libre 360 nominal entre la vasija 310 de contención y la placa 350 de cubierta y/o uno o más tornillos utilizados para asegurar la placa 350 de cubierta para acomodar el crecimiento térmico, expansión debida a la presión, tolerancias de fabricación, movimiento sísmico, instalación, mantenimiento, inspección, accesibilidad y/o consideraciones de manejo de la vasija 320 del reactor y/o el generador de vapor.

La FIG. 4 ilustra una vista lateral del conjunto 300 de cámara inferior de la FIG. 3. Se puede configurar un flujo 410 de alimentación de refrigerante secundario desde la entrada 330 para entrar en el puerto 340 de acceso a la cámara de alimentación cierta distancia desde una lámina 470 de tubo donde se pueden ubicar los extremos de tubo para una pluralidad de tubos de transferencia de calor. Al unir la placa 350 de cubierta al puerto 340 de acceso a la cámara de alimentación, esencialmente todo el flujo 410 de alimentación puede dirigirse a la lámina 470 de tubo. La lámina 470 de tubo puede comprender una pluralidad de orificios 490 pasantes o canales a través de los que el refrigerante secundario puede pasar a través de la lámina 470 de tubo y hacia los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, los extremos de tubo de los tubos de transferencia de calor pueden insertarse en y/o de otro modo acoplarse de manera fluida, acoplarse mecánicamente o acoplarse estructuralmente con orificios 490 pasantes.

Se puede montar un dispositivo 450 de control de flujo junto a, o unido a, la lámina 470 de tubo. El dispositivo 450 de control de flujo se puede configurar para regular, restringir, modificar, disipar, uniformizar o de otro modo controlar el flujo de refrigerante secundario que pasa a través lámina 470 del tubo. En algunos ejemplos, el dispositivo 450 de control de flujo puede comprender una placa con restrictores de flujo que corresponden al número de orificios 490 pasantes.

La lámina 470 de tubo puede ubicarse a uno o más pies (1 pie = 30,48 cm) de la entrada 330. Esta separación espacial puede configurarse para mitigar el caudal de refrigerante secundario que impacta en los restrictores de flujo y el hardware de montaje del dispositivo 450 de control de flujo. Además, la separación espacial también puede proporcionar la oportunidad de mezclar el flujo, desacelerar y mejorar la uniformidad de la presión estática en las ubicaciones donde el refrigerante secundario entra en los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, puede configurarse la combinación de la separación espacial y un coeficiente de pérdidas del dispositivo 450 de control de flujo para facilitar un flujo relativamente uniforme de refrigerante secundario en cada tubo de transferencia de calor.

La FIG. 5 ilustra un sistema 500 de vasija del reactor de ejemplo con una lámina 550 de tubo de vasija del reactor integral. En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo de integral puede realizar algunas o todas las funciones asociadas con una placa deflectora de presurizador, protector de deflector y/o lámina de tubo generador de vapor. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para proporcionar una disposición de ahorro de espacio compacta para el sistema 500 de vasija del reactor.

En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral puede comprender un disco completo y/o lámina completa ubicada en o cerca de la parte superior de una vasija 510 del reactor. Un volumen 520 de presurizador puede ubicarse por encima de la lámina 550 de tubo integral y delimitarse mediante la envolvente de la vasija del reactor superior, contenedor y/o parte superior. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para funcionar como una placa deflectora de presurizador que separa el fluido del presurizador, ubicado por encima de la lámina 550 de tubo integral, del fluido del sistema de refrigerante del reactor, ubicado por debajo de la lámina 550 de tubo integral. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para permitir un intercambio de volúmenes de fluido entre el volumen 520 de presurizador y el sistema refrigerante del reactor. En algunos ejemplos, el sistema 500 puede no requerir una placa deflectora de presurizador separada. Más bien, la lámina 550 de tubo integral puede estar integrada con la placa deflectora del presurizador.

Puede configurarse un elevador 540 para acabar y/o terminar por debajo de la lámina 550 de tubo integral. Un flujo de fluido del sistema refrigerante del reactor por encima del elevador 540 puede girar por debajo de la lámina 550 de tubo integral y descender hacia abajo alrededor del exterior del elevador 540 más allá de una pluralidad de tubos generadores de vapor. Se pueden ubicar uno o más calentadores en el volumen 520 de presurizador, por ejemplo, entre bóvedas de generador de vapor asociadas con uno o más conjuntos 600 de cámara superior. En algunos ejemplos, puede reducirse la altura del elevador 540 y/o la altura de las barras de control asociadas con el sistema 500 en comparación con un módulo del reactor que comprende placas deflectoras y láminas de tubo separadas.

El sistema 500 puede comprender un sistema de control térmico para la vasija 510 del reactor. En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral puede comprender una placa que tiene una forma sustancialmente circular que está unida a una pared de la vasija 510 del reactor. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para dividir la vasija 510 del reactor en una región de la vasija del reactor superior y una región de la vasija del reactor inferior. La región de la vasija superior del reactor puede contener el volumen 520 del presurizador y los conjuntos 600 de cámara superior. La región inferior de la vasija del reactor puede contener el elevador 540 y/o un núcleo del reactor sumergido en el refrigerante primario, así como uno o más conjuntos 700 de cámara inferior. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para proporcionar una barrera líquida y/o térmica entre el volumen 520 del presurizador y el refrigerante primario ubicado dentro de la región de la vasija del reactor inferior.

La lámina 550 de tubo integral y/o el conjunto 600 de cámara superior se pueden soldar a la vasija 510 del reactor antes de instalar tubos de transferencia de calor en el sistema de refrigeración secundario y/o generador de vapor. En algunos ejemplos, uno o más conjuntos 700 de cámara inferior pueden soldarse y/o instalarse más tarde, después de que se hayan instalado los tubos de transferencia de calor. Los tubos de transferencia de calor pueden bajarse individualmente hacia una vasija 510 del reactor invertido, e insertarse en el orificio de la lámina de tubo de cámara de vapor aplicable del conjunto 600 de cámara superior. Cuando se completa el montaje de la columna de tubos más exterior y los soportes de tubo asociados, puede iniciarse el montaje de la siguiente columna de tubo, trabajando progresivamente hasta la columna de tubos más interior. Las columnas de tubos y los soportes de tubos asociados pueden instalarse secuencialmente, hasta que todos los tubos y soportes estén en su lugar.

Después de que todos los tubos y soportes de transferencia de calor estén en su lugar, al menos una parte del conjunto 700 de cámara inferior puede bajarse sobre los extremos del tubo ensamblados para la instalación final del sistema generador de vapor. Por ejemplo, los conjuntos 700 de cámara inferior pueden comprender cámaras que están soldadas a los puertos de acceso de cámara después de que los extremos del tubo se hayan insertado en una lámina de tubo correspondiente. La instalación de los conjuntos 700 de cámara inferior después de que los extremos del tubo se hayan insertado en la lámina del tubo puede reducir o eliminar cualquier deformación plástica de los tubos de transferencia de calor que podría producirse de otro modo si los tubos tuvieran que ser empujados o movidos de otro modo para alinear los extremos de los tubos con orificios de lámina de tubo fijos. En algunos ejemplos, una pluralidad de conjuntos de cámara, tales como conjuntos 700 de cámara inferior, pueden soldarse de forma separada a la vasija 510 del reactor.

El extremo de alimentación de los tubos de transferencia de calor puede insertarse en una o más láminas de tubo de conjuntos 700 de cámara inferior en la región anular entre la pared de la vasija 510 del reactor y el elevador 540. En algunos ejemplos, dos o más generadores de vapor de bobinas helicoidales pueden ocupar la región anular. Cada generador de vapor puede comprender dos o más cámaras de alimentación y dos o más cámaras de vapor a las que están conectados los tubos. Además, cada uno de los generadores de vapor puede comprender veintiuna columnas de tubos o más. En algunos ejemplos, puede haber menos de veintiuna columnas. Las columnas sucesivas de tubos pueden configurarse para enrollarse alternativamente en sentido horario y antihorario desde las cámaras de alimentación inferiores, tales como el conjunto 700 de cámara inferior, a las cámaras de vapor superiores, tales como el conjunto 600 de cámara superior. Además, cada columna de tubos puede contener un número igual de tubos que se originan en cada cámara de alimentación, y por lo tanto un número igual de tubos desde cada uno de los generadores de vapor. A modo de ejemplo adicional, la columna de tubo más exterior puede comprender un total de

ochenta o más tubos; veinte o más tubos desde cada cámara de alimentación y, por lo tanto, al menos cuarenta tubos desde cada generador de vapor.

La FIG. 6 ilustra una vista ampliada del conjunto 600 de cámara superior de ejemplo de la FIG. 5. La lámina 550 de tubo integral puede comprender una placa sustancialmente horizontal unida a la pared de la vasija 510 del reactor. La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para proporcionar un sellado con el perímetro de la pared interior de la vasija 510 del reactor. Además, la lámina 550 de tubo integral puede comprender dos o más partes integradas, que incluyen una parte 620 deflectora del presurizador y una parte 630 de lámina de tubo generador de vapor.

La parte 620 deflectora del presurizador puede estar sustancialmente delimitada por el perímetro de la pared interior de la vasija 510 del reactor y una o más bóvedas del generador de vapor, tales como la bóveda 660 del generador de vapor. La bóveda 660 del generador de vapor puede estar asociada con un conjunto 650 de boquilla del generador de vapor/cámara. En algunos ejemplos, la parte 630 de lámina del tubo del generador de vapor puede estar ubicada dentro y/o por debajo de la bóveda 660 del generador de vapor. La bóveda 660 del generador de vapor puede estar asociada con una o más cámaras que proporcionan un paso para que una pluralidad de tubos de transferencia de calor pase a través de la pared de la vasija 510 del reactor.

La pluralidad de tubos de transferencia de calor se puede conectar a la lámina 550 de tubo integral mediante diversos orificios pasantes ubicados en la lámina 550 de tubo integral. Los orificios pasantes se ilustran como que pasan a través de la parte 630 de lámina de tubo generador de vapor. Además, la una o más cámaras asociadas con la bóveda 660 del generador de vapor se pueden soldar y/o unir de otro modo a la lámina 550 de tubo integral. La pluralidad de tubos de transferencia de calor se puede conectar a la lámina 550 de tubo integral por debajo de una o más cámaras y/o por debajo de la bóveda 660 del generador de vapor. Los tubos de transferencia de calor se pueden configurar para permitir que el refrigerante secundario de un sistema generador de vapor pase a través de la lámina 550 de tubo integral y hasta la región de la vasija del reactor inferior de la vasija 510 del reactor.

La lámina 550 de tubo integral puede comprender un número de orificios 670, ilustrados como que pasan a través de la parte 620 de deflector de presurizador, que están configurados para permitir de manera controlable que el refrigerante primario pase a través de la lámina 550 de tubo integral hacia la región de la vasija del reactor superior de la vasija 510 del reactor y para volver a circular de regreso a la región de la vasija del reactor inferior de la vasija 510 del reactor. Se pueden configurar uno o más orificios 670, por ejemplo, en una posición cerrada, para impedir que el refrigerante primario pase a través de la lámina 550 de tubo integral. En algunos ejemplos, tanto el refrigerante primario como el secundario pasan a través de la lámina 550 de tubo integral sin combinarse y/o sin permitir que se mezclen entre sí.

La lámina 550 de tubo integral puede comprender una placa sólida. Además, la lámina 550 de tubo integral puede comprender o consistir sustancialmente en un acero de baja aleación revestido, acero de baja aleación SA-508, acero inoxidable, otros tipos de materiales, o cualquier combinación de los mismos. En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral puede conectarse a la vasija 510 del reactor mediante una soldadura de penetración completa. La lámina 550 de tubo integral puede soldarse a una vasija del reactor que tenga una composición similar. La soldadura de tipos similares de materiales y/o composiciones puede funcionar para minimizar cualquier tensión térmica que podrían desarrollarse de otro modo durante el funcionamiento de la vasija 510 del reactor.

La soldadura entre la lámina 550 de tubo integral y la vasija 510 del reactor puede ubicarse a varios centímetros de la pared interior de la pared interior de la vasija del reactor para proporcionar espacio para la soldadura y/o para minimizar la distorsión de los orificios del tubo más exteriores debido a la soldadura. En algunos ejemplos, puede proporcionarse una "protuberancia" de la vasija del reactor, o área de diámetro aumentado, para acomodar el área de soldadura. Un extremo de los tubos de transferencia de calor puede moverse hacia el centro de la vasija del reactor y/o curvarse para minimizar o eliminar cualquier cantidad adicional de espacio de soldadura. Por ejemplo, los tubos de transferencia de calor pueden curvarse alejándose de la pared de la vasija del reactor para que se encuentren con la lámina 550 de tubo integral adicionalmente hacia el interior. Una lámina 550 de tubo integral relativamente grande puede proporcionar mayor flexibilidad en cuanto a cómo y dónde terminar los tubos de transferencia de calor dentro del conjunto 650 de boquilla de generador de vapor/cámara.

Se puede configurar un espacio de acceso relativamente grande en la parte superior de la lámina 550 de tubo integral para proporcionar acceso para soldar, instalar componentes, establecer equipos e inspecciones. Se puede proporcionar acceso a las soldaduras de la bóveda de vapor desde dos o más lados de la cámara, p. ej., a través de las cubiertas de la bóveda de vapor y/o a través de las aberturas del calentador del presurizador.

En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral y los tubos asociados pueden ensamblarse dentro del vasija 510 del reactor. Las vigas radiales en voladizo para los soportes de tubo pueden configurarse para encajar por debajo de la lámina 550 de tubo integral, y en algunos ejemplos las barras de soporte pueden soldarse a la viga en voladizo y/o a la lámina 550 de tubo integral directamente por debajo. Soldar las barras de soporte a la lámina 550 de tubo integral puede reducir o eliminar las soldaduras de delimitación de presión y proporcionar más rigidez a las barras de soporte.

La lámina 550 de tubo integral puede configurarse para que pase a través del diámetro exterior de la vasija 510 del reactor. En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral puede contener rebordes integrales que están soldados

a los cilindros de vasija superior e inferior. El cilindro inferior puede soldarse al reborde de la lámina 550 de tubo integral antes de insertar los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, los funcionamientos de tubos pueden realizarse dentro de la vasija. La lámina 550 de tubo integral puede comprender un disco sustancialmente cilíndrico que está soldado a una acumulación de anillo en el diámetro interior de la vasija 510 del reactor. La soldadura puede completarse antes de insertar los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, la lámina 550 de tubo integral puede comprender una superficie inferior con forma elipsoidal, abovedada, cóncava o hemisférica adyacente a la región de la vasija del reactor inferior para facilitar el flujo y/o recirculación del refrigerante primario a través del núcleo del reactor.

La FIG. 7 ilustra una vista ampliada del conjunto 700 de cámara inferior de ejemplo de la FIG. 5. El conjunto 700 de cámara inferior puede comprender una entrada 730 o boquilla de alimentación configurada para introducir refrigerante secundario en un puerto 740 de acceso de cámara de alimentación. El puerto 740 de acceso de cámara de alimentación puede configurarse para proporcionar acceso para que el refrigerante secundario pase a una cámara 760 de alimentación ubicada al menos parcialmente dentro de la vasija 510 del reactor. Una superficie o cara de una lámina 770 de tubo puede estar encerrada al menos parcialmente por la cámara 760 de alimentación. Además, el conjunto 700 de cámara inferior puede comprender una placa 750 de cubierta configurada para proporcionar acceso a la parte interior del puerto 740 de acceso de la cámara de alimentación y/o cámara 760 de alimentación.

La cámara 760 de alimentación puede soldarse al puerto 740 de acceso de la cámara de alimentación y/o a la pared de la vasija 510 del reactor después de que los tubos de transferencia de calor se insertan en la lámina 770 del tubo. La cámara 760 de alimentación y la soldadura asociada pueden comprender o fabricarse a partir de una aleación 690 Ni-Cr-Fe (aleación 690). En algunos ejemplos, se puede aplicar una acumulación de soldadura de anillo de aleación 690 en la superficie interior de la vasija 510 del reactor para facilitar la instalación del conjunto 700 de cámara inferior.

El puerto 740 de acceso a la cámara de alimentación puede comprender una estructura de aleación de acero que contiene una región con rebordes que puede soldarse a la vasija 510 del reactor. El puerto 740 de acceso a la cámara de alimentación puede estar revestido con acero inoxidable. La entrada 730 puede comprender una tubería de alimentación que tiene un diámetro de varias pulgadas (1 pulgada = 25,4 mm) unida al puerto 740 de acceso de la cámara de alimentación.

La FIG. 8 ilustra una vista parcial de un sistema 800 generador de vapor de ejemplo que comprende uno o más conjuntos 850 de lámina de tubo. El uno o más conjuntos 850 de lámina de tubo pueden soldarse de forma separada a una vasija 820 del reactor. Además, el sistema 800 puede comprender uno o más conjuntos de láminas de tubo superior, similares a los conjuntos 600 de cámara superior de la FIG. 6. En algunos ejemplos, el uno o más conjuntos de lámina de tubo superior pueden comprender una lámina de tubo integral, similar a la lámina 550 de tubo integral de la FIG. 5.

Además, el sistema 800 puede comprender uno o más generadores 830 de vapor configurados para dirigir los extremos de alimentación de los tubos de transferencia de calor radialmente hacia fuera hacia los conjuntos 850 de lámina de tubo. Los generadores 830 de vapor pueden comprender tubos de transferencia de calor enrollados helicoidales que ocupan la región anular en una vasija del reactor superior entre la pared de la vasija 820 del reactor y un conjunto elevador.

La FIG. 9 ilustra una vista de cerca de un conjunto 900 de lámina de tubo de ejemplo, que puede configurarse de manera similar a uno o más conjuntos 850 de lámina de tubo de la FIG. 8. El conjunto 900 de lámina de tubo puede comprender una lámina 970 de tubo sustancialmente vertical con una pluralidad de orificios 990 pasantes o canales a través de los que el refrigerante secundario puede pasar a través de la lámina 970 de tubo vertical y en los tubos 995 de transferencia de calor. La lámina 970 de tubo vertical puede comprender una lámina de tubo inclinada a aproximadamente noventa grados desde la orientación generalmente horizontal de la lámina 470 de tubo (FIG. 4).

El conjunto 900 de lámina de tubo puede comprender una entrada 930 o una boquilla de alimentación configurada para introducir refrigerante secundario en un puerto 940 de acceso. El puerto 940 de acceso puede configurarse para proporcionar acceso para que el refrigerante secundario pase a los tubos 995 de transferencia de calor. Un dispositivo 975 de control de flujo puede ubicarse adyacente a la lámina 970 de tubo vertical. En algunos ejemplos, la lámina 970 de tubo vertical puede tener varias pulgadas (1 pulgada = 25,4 mm) o hasta aproximadamente la mitad de un pie (= 152,4 mm) de espesor. La lámina 970 de tubo vertical puede comprender un material de revestimiento en uno o ambos lados, p. ej., en el lado en el que se pueden insertar tubos 995 de transferencia de calor y/o en el lado que se enfrenta al puerto 940 de acceso. Además, la lámina 970 de tubo vertical puede ser sustancialmente en forma circular.

En algunos ejemplos, el dispositivo 975 de control de flujo puede comprender uno o más restrictores de flujo unidos, insertados o de otro modo formados en una o más placas de montaje unidas a una cara de la lámina de tubo. Los restrictores de flujo pueden usarse en la entrada de cada tubo 995 de transferencia de calor y/o orificio 990 pasante para estabilizar el caudal a través de los tubos.

En comparación con la entrada 330 de la FIG. 4, la entrada 930 puede ubicarse bastante cerca de la cara de la lámina 970 de tubo. En algunos ejemplos, el caudal de alimentación de entrada del refrigerante puede impactar casi directamente en el borde del fondo del dispositivo 975 de control de flujo y atravesar su superficie. Se puede utilizar



un distribuidor 980 de flujo perforado, que se puede unir al dispositivo 975 de control de flujo, para reducir las velocidades locales en el dispositivo 975 de control de flujo y proporcionar un caudal más uniforme cerca de las entradas de tubo. El distribuidor 980 de flujo puede estar ubicado en la parte del fondo del puerto 940 de acceso cerca de la entrada 930.

Además, el conjunto 900 de lámina de tubo puede comprender una placa 950 de cubierta configurada para proporcionar acceso a la parte interior del puerto 940 de acceso. El conjunto 900 de lámina de tubo puede estar ubicado sustancial o completamente dentro de una vasija 910 de contención. En algunos ejemplos, la placa 950 de cubierta puede estar retirada de y/o instalada en el puerto 940 de acceso durante uno o más funcionamientos, tales como mantenimiento, inspección e instalación. Un espacio libre 960 nominal entre una superficie interior de la vasija 910 de contención y la placa 950 de cubierta, o entre la superficie interior del vasija 910 de contención y uno o más tornillos 955 utilizados para asegurar la placa 950 de cubierta para acceder al puerto 940, pueden dimensionarse para acomodar el crecimiento térmico, la expansión debida a la presión, tolerancias de fabricación, movimiento sísmico, instalación, mantenimiento, inspección, accesibilidad y/o consideraciones de manejo de la vasija 920 del reactor y/o los tubos 995 de transferencia de calor. En algunos ejemplos, el espacio libre 960 nominal puede ser aproximadamente media pulgada (= 12,7 mm).

El conjunto 900 de lámina de tubo y/o la lámina 970 de tubo vertical se pueden unir y/o soldar a una pared 920 de la vasija del reactor. El conjunto 900 de lámina de tubo se puede soldar a la pared 920 de la vasija del reactor en una primera superficie 921 de soldadura. La primera superficie 921 de soldadura puede comprender una soldadura de diámetro relativamente grande en una superficie vertical de la pared 920 de la vasija del reactor. En algunos ejemplos, el conjunto 900 de lámina de tubo puede soldarse a la vasija del reactor en una segunda superficie 922 de soldadura alternativa. La segunda superficie 922 de soldadura puede comprender una soldadura de diámetro relativamente más pequeño a una pared 945 del puerto de acceso. Todavía en ejemplos adicionales, puede soldarse la lámina 970 de tubo vertical para acceder a la pared 945 del puerto en una tercera superficie 923 de soldadura alternativa.

Los tubos 995 de transferencia de calor pueden configurarse para hacer la transición de un conjunto generador de vapor a una lámina 970 de tubo vertical. Se puede especificar un radio mínimo de curvatura del tubo de nueve pulgadas (= 228,6 mm) o menor sobre la longitud de transición. En algunos ejemplos, el radio mínimo de curvatura del tubo puede ser de aproximadamente siete pulgadas (= 177,8 mm). El radio mínimo de curvatura del tubo puede configurarse para limitar el esfuerzo de tensión de tracción residual de curvatura del tubo, para reducir el potencial de agrietamiento por corrosión bajo tensión en servicio, para facilitar el cumplimiento del límite de ovalidad del tubo para la integridad estructural y/o para facilitar la inspección del tubo.

Aproximadamente una pulgada (= 25,4 mm) de los tubos 995 de transferencia de calor puede configurarse como una parte recta del tubo que se extiende fuera de la lámina 970 de tubo vertical con un tubo térmico completamente insertado. La longitud recta del tubo puede configurarse para garantizar que el inicio de la curvatura de transición está ubicado a cierta distancia desde la cara de la lámina 970 de tubo vertical, donde los tubos 995 de transferencia de calor pueden estar sujetos a tensiones residuales debido a la expansión del tubo durante la instalación/inserción de los tubos en los orificios 940 pasantes. Además, puede configurarse la longitud recta del tubo para facilitar la inspección de esta región de transición de expansión de los tubos 995 de transferencia de calor.

La FIG. 9A ilustra una vista superior parcial simplificada del conjunto 900 de lámina de tubo de ejemplo de la FIG. 9. La vasija 910 de contención se muestra como que incluye una superficie interior curvada, y la placa 950 de cubierta se muestra como una placa generalmente vertical o plana. En consecuencia, en algunos ejemplos, el espacio libre 960 nominal entre la placa 950 de cubierta y la vasija 910 de contención puede entenderse como existente en o cerca del lado de la placa 950 de cubierta. Por ejemplo, el espacio libre 960 nominal puede ser menor que un espacio libre 965 tomado desde el centro aproximado de la placa 950 de cubierta como resultado de que la superficie interior curvada de la vasija 910 de contención está más lejos del centro en comparación con el lado de la placa 950 de cubierta.

La FIG. 10 ilustra un ejemplo de configuración 1000 de curvatura de tubo de transferencia de calor, que incluye una lámina 1040 de tubo de ejemplo unida a una vasija 1010 de reactor. La lámina 1040 de tubo puede configurarse como una lámina de tubo sustancialmente vertical. En otros ejemplos, la lámina 1040 de tubo puede configurarse como una lámina de tubo inclinada. Los tubos 1030 de transferencia de calor pueden configurarse o disponerse como un conjunto de tubos de forma helicoidal que se insertan en y/o de otro modo se acoplan de manera fluida, mecánicamente acoplados o estructuralmente acoplados con la lámina 1040 de tubo. Se puede configurar un primer conjunto de curvaturas 1032 de transición para dirigir los tubos 1030 de transferencia de calor desde la parte de hélice del sistema generador de vapor a una orientación vertical sustancial. En algunos ejemplos, el primer conjunto de curvaturas 132 de transición puede estar contenido en el mismo plano helicoidal que la parte helicoidal de los tubos 1030 de transferencia de calor. Además, puede configurarse un segundo conjunto de curvaturas 1034 de transición para dirigir los tubos 1030 de transferencia de calor desde la orientación vertical a una orientación horizontal sustancial para la inserción en la lámina 1040 de tubo.

En algunos ejemplos, el primer y el segundo conjunto de curvaturas 1032, 1034 de transición pueden combinarse en una única curvatura compuesta que alinea los tubos 1030 de transferencia de calor con los orificios pasantes de la lámina 1040 de tubo. Puede configurarse una única curvatura compuesta para ofrecer menor resistencia a la inserción

y retirada de una sonda de inspección en los tubos 1030 de transferencia de calor.

Cada grupo vertical de tubos 1030 de transferencia de calor puede configurarse para hacer la transición a una fila horizontal de orificios pasantes en la lámina 1040 de tubo. Las filas horizontales de orificios pasantes en la lámina 1040 de tubo pueden estar dispuestas en un patrón de paso triangular para minimizar el diámetro de lámina 1040 de tubo. En algunos ejemplos, el diámetro de la lámina 1040 de tubo puede ser de aproximadamente dos pies (= 609,6 mm). Además, la distancia o paso entre los orificios pasantes puede ser aproximadamente una pulgada (= 25,4 mm) o menor. Un radio mínimo de curvatura del tubo de aproximadamente seis pulgadas (= 152,4 mm) puede estar asociado con la configuración 1000 de curvatura del tubo para dirigir los tubos 1030 de transferencia de calor a la lámina 1040 de tubo. Además, un espacio mínimo en todas las curvaturas 1032, 1034 de transición puede ser aproximadamente un cuarto de una pulgada (= 6,35 mm).

La FIG. 11 ilustra otro ejemplo de configuración 1100 de curvatura de tubos de transferencia de calor, que incluye una lámina 1140 de tubo de ejemplo unida a una vasija 1010 del reactor. En algunos ejemplos, la lámina 1140 de tubo puede comprender una lámina de tubo integral. Además, la lámina 1140 de tubo puede comprender una lámina de tubo sustancialmente circular soldada a una acumulación de soldadura en la superficie del interior de la vasija 1010 del reactor. La lámina 1140 de tubo puede comprender una placa sustancialmente vertical, o una placa inclinada, unida a la pared de la vasija 1010 del reactor. Una pluralidad de tubos 1130 de transferencia de calor puede pasar a través de un número de orificios pasantes ubicados en la cámara 1100. En algunos ejemplos, la lámina 1140 de tubo puede formar una parte de la pared de la vasija 1010 del reactor.

El ensamblaje de los tubos 1130 de transferencia de calor puede realizarse dentro de la vasija 1010 del reactor. Además, la lámina 1140 de tubo puede bajarse sobre los extremos de los tubos 1130 de transferencia de calor después de que los tubos 1130 de transferencia de calor estén ensamblados. La lámina 1140 de tubo puede usarse junto con una segunda lámina de tubo ubicada dentro de la vasija del reactor. Por ejemplo, un primer extremo de los tubos 1130 de transferencia de calor puede estar acoplado de manera fluida y/o acoplado estructuralmente a la lámina 1140 de tubo y un segundo extremo de los tubos 1130 de transferencia de calor puede estar acoplado de manera fluida y/o acoplado estructuralmente a la segunda lámina de tubo. La segunda lámina de tubo puede ubicarse en aproximadamente la misma ubicación dentro de la vasija del reactor como una o más de las láminas de tubo superior ilustradas en las diversas figuras de la presente memoria. La segunda lámina de tubo y la lámina 1140 de tubo pueden soldarse a la vasija del reactor antes de ensamblarse al intercambiador de calor. En algunos ejemplos, la lámina 1140 de tubo puede soldarse a la vasija del reactor con soldaduras convencionales de tipo de inserción de boquilla.

La vasija 1010 del reactor puede invertirse para el ensamblaje del tubo y los tubos 1130 de transferencia de calor pueden insertarse en la lámina 1140 de tubo. Se pueden soldar una o más vigas en voladizo de soporte del tubo del extremo de vapor a la parte inferior de la placa integral antes del ensamblaje del tubo. Además, una o más vigas en voladizo de soporte del tubo del extremo de alimentación pueden soldarse a la vasija 1010 del reactor antes del ensamblaje del tubo.

El ensamblaje del generador de vapor puede continuar desde la columna de tubos más exterior progresivamente a la columna de tubos más interior, con el extremo de vapor de los tubos 1130 de transferencia de calor insertados en una lámina de tubo asociada con una cámara superior, y el extremo de alimentación de los tubos 1130 de transferencia de calor insertado en la lámina 1140 de tubo. Además, los soportes de tubos se pueden instalar columna por columna durante el ensamblaje del intercambiador de calor. El extremo de alimentación de los tubos 1130 de transferencia de calor puede comprimirse durante la instalación en la lámina 1140 de tubo.

Mientras que la configuración de curvatura 1000 de la FIG. 10 puede configurarse para hacer la transición de cada grupo vertical de tubos de transferencia de calor desde una orientación de hélice a una fila horizontal de orificios pasantes en la lámina de tubo, curvando primero los tubos desde la hélice a una orientación vertical seguido de una segunda curvatura a una orientación horizontal que apunta hacia la lámina del tubo, la configuración de curvatura 1100 puede configurarse curvando cada grupo vertical de tubos 1130 de transferencia de calor desde la parte de hélice de forma más directa en comparación con la configuración de curvatura 1000, p. ej., a través de una curvatura 1132 compuesta a un patrón 1150 de "arco" en lámina 1140 de tubo.

En algunos ejemplos, cada grupo vertical de tubos 1130 de transferencia de calor puede configurarse para hacer la transición al arco 1150 de orificios pasantes en la lámina 1140 de tubo. Los orificios pasantes en la lámina 1140 de tubo pueden estar separados de forma más cercana que los correspondientes tubos 1130 de transferencia de calor en la parte helicoidal del haz de tubos.

En una o ambas configuraciones 1000 de curvatura de la FIG. 10 y la configuración 1100 de curvatura de la FIG. 11, puede producirse cierta deformación del tubo durante el ensamblaje para llevar los tubos de transferencia de calor dentro de la vasija del reactor y posicionar los extremos del tubo para su inserción a través de los orificios pasantes de la lámina del tubo. Algunos de los siguientes ejemplos se refieren a diversos componentes ilustrados en la FIG. 11, sin embargo, otras láminas y conjuntos de tubos mostrados y/o descritos en otra parte de la aplicación pueden configurarse de manera similar, incluidos los descritos en la FIG. 10

Los tubos 1130 de transferencia de calor pueden configurarse de una manera que despeje el borde 1160 de la lámina

1140 de tubo. En algunos ejemplos, al menos algunos de los tubos 1130 de transferencia de calor pueden configurarse para pasar a través del borde 1160 para proporcionar una transición de curvatura más gradual. Todavía en otros ejemplos, la lámina de tubo puede ubicarse en o dentro de la pared interior de la vasija 1110 del reactor para eliminar de manera eficaz las consideraciones de un borde.

- 5 Si la lámina 1140 de tubo se ensambla y suelda a la vasija 1110 del reactor después del ensamblaje del tubo, cualquier deformación a los tubos 1130 de transferencia de calor puede limitarse a colocar los tubos dentro de la vasija del reactor, lo que se puede lograr sin incurrir en ninguna deformación plástica del tubo. En algunos ejemplos, la lámina 1140 de tubo puede encajar en la posición final y soldarse después de que todos los tubos estén ensamblados en su lugar. Por ejemplo, todos los tubos 1130 de transferencia de calor pueden insertarse en sus respectivos orificios pasantes antes de mover la lámina 1140 de tubo a su posición de ensamblaje final.

- 10 Todavía en otros ejemplos, la lámina 1140 de tubo puede fijarse temporalmente radialmente a cierta distancia fuera de su ubicación final instalada. Con la lámina 1140 de tubo colocada de esta manera, los tubos 1130 de transferencia de calor pueden ensamblarse individualmente, con aproximadamente una pulgada (= 25,4 mm) de los extremos del tubo insertados en su orificio pasante correspondiente en la lámina 1140 de tubo. Este enfoque utilizaría esencialmente la lámina 1140 de tubo como un accesorio para ubicar de forma precisa los extremos del tubo y facilitar su inserción simultánea en los orificios pasantes a medida que la lámina 1140 de tubo se mueve a su posición final instalada.

- 15 En diversos ejemplos descritos en la presente memoria, se pueden utilizar diferentes geometrías de intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede comprender longitudes de tubo que no tienen limitaciones o están limitadas a cierta longitud, tales como la longitud máxima de tubo. Además, al atravesar desde las láminas del tubo de alimentación a las cámaras de vapor, se pueden utilizar tubos que presentan incrementos de un cuarto y tres cuartos de las revoluciones de hélice completa.

- 20 En diversos ejemplos descritos en la presente memoria, tales como aquellos que incluyen una lámina de tubo vertical, puede que no haya protuberancia dentro del elevador. En consecuencia, el tubo elevador superior puede retirarse de la vasija del reactor sin desarmar el conjunto de lámina de tubo y/o el conjunto generador de vapor.

- 25 La retirada del elevador superior puede facilitar el acceso para inspeccionar la región interior del intercambiador de calor.

- Los tubos pueden insertarse en los orificios pasantes correspondientes de la lámina del tubo, y pueden expandirse hidráulicamente en los orificios pasantes para crear un ajuste apretado y/o de otro modo cerrar cualquier espacio alrededor de los tubos. Además, los tubos pueden soldarse a la lámina del tubo. En otros ejemplos, cada tubo puede estar soldado por penetración completa a un trozo cilíndrico corto mecanizado desde una cara de la lámina del tubo, similar al descrito en uno o más ejemplos de la patente de EE.UU. No. 8,752,510. Todavía en otros ejemplos, se puede unir un segmento de tubo corto a la lámina de tubo expandiendo el segmento de tubo en el orificio pasante y soldando el tubo a la cara de la lámina de tubo, y luego soldando a tope el tubo a este segmento de tubo. La soldadura a tope puede ubicarse aproximadamente a una pulgada (= 25,4 mm) de la cara de la lámina del tubo.

- 30 La FIG. 12 ilustra una vista parcial de un sistema 1200 de generación de vapor de ejemplo que comprende uno o más conjuntos 1250 de lámina de tubo inclinada. El uno o más conjuntos 1250 de lámina de tubo inclinada pueden soldarse de forma separada a una vasija 1220 de reactor. Además, el sistema 1200 puede comprender uno o más conjuntos de lámina de tubo superior, similares a los conjuntos 600 de cámara superior de la FIG. 6. El uno o más conjuntos de lámina de tubo superior pueden comprender una lámina de tubo integral, similar a la lámina 550 de tubo integral de la FIG. 5.

- 40 El sistema 1200 puede comprender uno o más generadores 1230 de vapor configurados para dirigir los extremos de alimentación de los tubos de transferencia de calor radialmente hacia el exterior a los conjuntos 1250 de lámina de tubo inclinada. Los generadores 1230 de vapor pueden comprender tubos de transferencia de calor de bobina helicoidal que ocupan la región anular en una vasija del reactor superior entre la pared de la vasija 1220 del reactor y un conjunto elevador.

- 45 La FIG. 13 ilustra una vista de cerca de un conjunto 1300 de lámina de tubo de ejemplo, que puede configurarse de manera similar a uno o más conjuntos 1250 de lámina de tubo inclinada de la FIG. 12. El conjunto 1300 de lámina de tubo puede comprender una lámina 1370 de tubo inclinada con una pluralidad de orificios 1390 pasantes o canales configurados para pasar refrigerante secundario a través de la lámina 1370 de tubo inclinada dentro de los tubos de transferencia de calor. La lámina 1370 de tubo inclinada puede comprender una lámina de tubo inclinada en algún ángulo de inclinación 1375 entre vertical y horizontal. El ángulo de inclinación 1375 puede ser cualquiera desde diez grados desde la vertical hasta ochenta grados desde la vertical. En algunos ejemplos, el ángulo de inclinación 1375 puede ser aproximadamente treinta grados desde la vertical. Todavía en otros ejemplos, el ángulo de inclinación 1375 puede ser aproximadamente cuarenta y cinco grados desde la vertical.

- 50 El conjunto 1300 de lámina de tubo puede comprender una entrada 1330 o boquilla de alimentación configurada para introducir refrigerante secundario en un puerto 1340 de acceso. El puerto 1340 de acceso puede configurarse para transferir el refrigerante secundario a los tubos de transferencia de calor. Un dispositivo de control de flujo, similar al dispositivo 975 de control de flujo (FIG. 9) puede ubicarse adyacente a la lámina 1370 de tubo inclinada. En algunos ejemplos, la lámina 1370 de tubo inclinada puede tener varias pulgadas (1 pulgada = 25,4 mm) o aproximadamente

la mitad de un pie (= 152,4 mm) de espesor. Además, la lámina 1370 de tubo inclinada puede tener una forma sustancialmente circular.

El conjunto 1300 de lámina de tubo puede comprender una placa 1350 de cubierta configurada para proporcionar acceso a la parte interior del puerto 1340 de acceso. El conjunto 1300 de lámina de tubo puede ubicarse sustancial o completamente dentro de una vasija 1310 de contención. En algunos ejemplos, la placa 1350 de cubierta puede retirarse de y/o instalarse en el puerto 1340 de acceso durante uno o más funcionamientos como mantenimiento, inspección e instalación. La placa 1350 de cubierta puede configurarse para ajustarse completamente dentro de la vasija 1310 de contención. Además, la placa 1350 de cubierta puede configurarse para ajustarse completamente fuera de la vasija 1320 del reactor.

Un espacio libre 1360 nominal entre una superficie interior de la vasija 1310 de contención y la placa de cubierta 1350, o entre la superficie interior de la vasija 1310 de contención y uno o más tornillos utilizados para asegurar la placa 1350 de cubierta al puerto 1340 de acceso, puede dimensionarse para acomodar el crecimiento térmico, la expansión debida a la presión, tolerancias de fabricación, movimiento sísmico, instalación, mantenimiento, inspección, accesibilidad y/o consideraciones de manejo de la vasija 1320 del reactor y/o el generador de vapor. En algunos ejemplos, el espacio libre 1360 nominal puede ser aproximadamente media pulgada (= 12,7 mm). En otros ejemplos, el espacio libre 1360 nominal puede estar entre una (= 25,4 mm) y dos pulgadas (= 50,8 mm).

El conjunto 1300 de lámina de tubo y/o la lámina 1370 de tubo inclinada se pueden unir y/o soldar a la pared de la vasija 1320 del reactor. Los tubos de transferencia de calor se pueden configurar para hacer la transición de un conjunto generador de vapor a una lámina 1370 de tubo inclinada. Se puede especificar un radio mínimo de curvatura del tubo de nueve pulgadas (= 228,6 mm) o menor sobre la longitud de transición. En algunos ejemplos, el radio mínimo de curvatura del tubo puede ser aproximadamente siete pulgadas (= 177,8 mm). Además, aproximadamente una pulgada (= 25,4 mm) de los tubos de transferencia de calor pueden configurarse como una parte recta del tubo que se extiende fuera de la lámina 1370 de tubo inclinada con un tubo de calor completamente insertado. La longitud recta del tubo puede configurarse para garantizar que el inicio de transición de curvatura se encuentre a cierta distancia desde la cara de la lámina 1370 de tubo inclinada. Además, la longitud recta del tubo puede configurarse para facilitar la inspección de esta región de transición de expansión de los tubos de transferencia de calor.

El conjunto 1300 de lámina de tubo puede configurarse de modo que una primera parte de lámina 1370 de tubo inclinada pueda ubicarse en un primer lado, o dentro de la vasija 1320 del reactor y una segunda parte de lámina 1370 de tubo inclinada pueda ubicarse en un segundo lado, o fuera de la vasija 1320 del reactor. En algunos ejemplos, una línea central aproximada de la lámina 1370 de tubo inclinada puede configurarse para intersectar la pared de la vasija 1320 del reactor en el ángulo de inclinación 1375. Además, el conjunto 1300 de lámina de tubo puede configurarse de modo que una primera parte del puerto 1340 de acceso pueda ubicarse dentro de la vasija 1320 del reactor y una segunda parte del puerto 1340 de acceso pueda ubicarse fuera de la vasija 1320 del reactor.

Los ángulos de inclinación 1375 aumentados pueden mover de manera efectiva el fondo de la lámina 1370 de tubo inclinada hacia adentro desde la pared de la vasija 1320 del reactor y reducir la longitud de curvatura de transición del tubo ya que el punto terminal del tubo también puede moverse hacia adentro. Las curvaturas de transición del tubo reducidas pueden a su vez funcionar para aumentar el radio mínimo de curvatura del tubo, ya que se puede reducir el ángulo por medio del cual se curva el tubo. La lámina 1370 de tubo inclinada puede configurarse para reducir y/o eliminar cualquier deformación del tubo que de otro modo podría producirse durante el ensamblaje del tubo porque el punto terminal del tubo se mueve hacia adentro y puede dar como resultado un desplazamiento del tubo hacia adentro menor para posicionar el tubo para su inserción en los orificios 1390 pasantes en comparación con otras configuraciones. Las deformaciones del conjunto de tubos asociadas con una lámina de tubo inclinada pueden ser menores que las deformaciones del conjunto de tubos asociadas con una lámina de tubo vertical.

Aunque la FIG. 13 representa la ubicación de la entrada 1330 en o cerca de la parte superior del puerto 1340 de acceso, la entrada 1330 puede de otro modo estar ubicada en cualquier ubicación alrededor de la circunferencia del puerto 1340 de acceso que tenga suficiente espacio o espacio libre. Tener una entrada ubicada en el fondo del puerto 1340 de acceso restringe e impide que el vapor entre a la línea de alimentación durante cualquier ocurrencia de funcionamiento anormal, como cuando un generador de vapor se seca. Por otro lado, dada la ruta de la tubería de alimentación que puede recorrer la línea de alimentación común por debajo de la elevación del puerto 1340 de acceso, donde puede dividirse en las líneas de alimentación individuales que recorren hasta el puerto 1340 de acceso, solo se puede acumular una cantidad limitada de vapor en la línea de alimentación con un punto de entrada de la parte superior.

En algunos ejemplos, la entrada 1330 puede estar orientada sustancialmente verticalmente, en lugar de perpendicular a la pared del puerto 1340 de acceso como se muestra en la FIG. 13. La entrada 1330 de orientación en la orientación sustancialmente verticalmente puede funcionar para dirigir el flujo de alimentación lejos de la lámina 1370 de tubo inclinada y/o cualquier placa de montaje del restrictor de flujo o restrictores de flujo que pueden ubicarse adyacentes a la lámina 1370 de tubo inclinada, y puede mejorar adicionalmente la uniformidad de flujo en los tubos de transferencia de calor.

El conjunto 1300 de lámina de tubo puede configurarse para permitir la retirada de un elevador superior del interior de

la vasija 1320 del reactor sin desmontar el sistema generador de vapor. De manera similar, el conjunto 1300 de lámina de tubo puede permitir la retirada de la vasija 1320 del reactor de la vasija 1310 de contención. En algunos ejemplos, la placa 1350 de cubierta puede retirarse del puerto 1340 de acceso después de que la vasija 1320 del reactor se haya retirado de la vasija 1310 de contención. En otros ejemplos, el espacio libre 1360 nominal proporciona suficiente espacio para retirar la placa 1350 de cubierta mientras que la vasija 1320 del reactor permanece dentro de la vasija 1310 de contención. En otros ejemplos, la placa 1350 de cubierta puede retirarse del puerto 1340 de acceso después de que una parte inferior de la vasija 1310 de contención ubicada adyacente al puerto 1340 de acceso ha sido retirada de la parte superior de la vasija 1310 de contención.

El rendimiento térmico y/o las eficiencias asociadas con una lámina de tubo inclinada, tal como la lámina 970 de tubo vertical o la lámina 1370 de tubo inclinada, pueden ser mayores que una lámina de tubo ubicada en una orientación generalmente horizontal. Un aumento del área de transferencia de calor puede deberse, en parte, a un aumento de la altura de la parte helicoidal del intercambiador de calor y/o un aumento de la longitud del tubo. Tanto el diseño de la lámina de tubo vertical como inclinada pueden eliminar la cámara al puerto de alimentación y la cámara a las soldaduras de tapa de extremo y, por lo tanto, pueden usar menos soldaduras que una lámina de tubo orientada horizontalmente. En algunos ejemplos, los diseños de lámina de tubo vertical e inclinada también pueden proporcionar un flujo cruzado más eficiente en la región de transición del tubo y/o pueden reducir las pérdidas de flujo en la ruta de flujo.

Además, un diseño de lámina de tubo inclinada puede reducir la deformación del conjunto del tubo y reducir la longitud de las curvaturas de transición del tubo. Se puede evitar o reducir la deformación plástica del conjunto de tubos ensamblando primero los tubos en su lugar y después insertando las cámaras sobre los extremos de los tubos ensamblados. La lámina de tubo puede soldarse a la vasija del reactor antes del ensamblaje del tubo. En otros ejemplos, los tubos pueden insertarse primero en la lámina del tubo y después la lámina del tubo puede deslizarse sobre los extremos del tubo ensamblado.

La FIG. 14 ilustra un conjunto 1400 de lámina de tubo con un patrón 1470 de orificio de ejemplo para una pluralidad de orificios pasantes de tubo de transferencia de calor en una lámina 1440 de tubo. El patrón 1470 de orificio puede configurarse para acoplarse de manera fluida y/o acoplarse estructuralmente a la curvatura de los tubos de transferencia de calor desde un sistema generador de vapor en forma de hélice a una orientación vertical. En algunos ejemplos, un grupo vertical de tubos en la hélice hace la transición a una fila horizontal de tubos en la lámina 1440 de tubo.

Para minimizar el diámetro 1425 de la lámina 1440 de tubo, las filas horizontales de orificios pueden estar dispuestas en un patrón de paso triangular con un paso 1450, o separación entre orificios. El paso 1450 entre tres orificios pasantes cualesquiera adyacentes en el patrón de paso triangular puede ser el mismo. En algunos ejemplos, el paso 1450 puede estar entre un cuarto de pulgada (= 6,35 mm) y una pulgada (= 25,4 mm), y el diámetro 1425 puede ser de aproximadamente dos pies (= 609,6 mm). El paso 1450 puede dimensionarse para separar los tubos de transferencia de calor más de cerca en la lámina 1440 de tubo que los tubos de transferencia de calor están separados en el haz de tubos helicoidales. En consecuencia, la separación del tubo puede variar de manera continua a lo largo de la región de curvatura de transición desde la hélice hasta la lámina 1440 de tubo.

La lámina 1440 de tubo puede comprender una placa 1460 sustancialmente circular con la que se forma el patrón 1470 de orificios. Se puede mantener un espacio libre 1475 de tubo entre el orificio pasante más exterior y el borde exterior de la placa 1460. El conjunto 1400 de lámina de tubo puede comprender una parte 1470 con reborde o una estructura de montaje para unir la lámina 1440 de tubo a una pared de la vasija del reactor. En algunos ejemplos, el patrón 1470 de orificios puede estar asociado a una configuración de curvatura de tubos de transferencia de calor tal como la configuración 1000 de curvatura de tubos de la FIG. 10.

La FIG. 15 ilustra un conjunto 1500 de lámina de tubo con un patrón 1570 de orificio de ejemplo adicional para una pluralidad de orificios pasantes de tubo de transferencia de calor en una lámina 1540 de tubo. El patrón 1470 de orificio puede configurarse para acoplarse de manera fluida y/o acoplarse estructuralmente a tubos de transferencia de calor curvados radialmente hacia el exterior desde la hélice para el ajuste a la lámina 1540 de tubo. La lámina 1540 de tubo puede comprender una placa 1560 sustancialmente circular que tiene un diámetro 1525 de aproximadamente dos pies (= 609,6 mm).

Cada grupo vertical de tubos en la hélice puede configurarse para hacer la transición a un arco 1530 vertical de orificios de tubo en la lámina 1540 de tubo. Los orificios de tubo pueden estar separados entre sí mediante un ligamento o un tramo de entre un cuarto de pulgada (= 6,35 mm) y una pulgada (= 25,4 mm). En algunos ejemplos, el patrón 1570 de orificios puede estar asociado con una configuración de curvatura de tubos de transferencia de calor tal como la configuración 1100 de curvatura de tubos de la FIG. 11.

La FIG. 16 ilustra un proceso de ejemplo para ensamblar un generador de vapor. En funcionamiento 1610, se puede unir una pluralidad de tubos de transferencia de calor a una primera mitad de una vasija del reactor. En algunos ejemplos, los tubos de transferencia de calor pueden estar unidos a la vasija del reactor en una lámina de tubo ubicada en o cerca de una o más cámaras superiores de la vasija del reactor. La vasija del reactor puede estar configurada para alojar un refrigerante primario. El calor generado dentro de la vasija del reactor puede transferirse desde el refrigerante primario a un refrigerante secundario que se hace circular a través de la pluralidad de tubos de

transferencia de calor. En algunos ejemplos, el refrigerante primario y el refrigerante secundario no pueden mezclarse entre sí de forma fluida en ningún momento.

En el funcionamiento 1620, la pluralidad de tubos de transferencia de calor se puede formar en una configuración de forma helicoidal que comprende grupos verticales de tubos, similares a los descritos en uno o más ejemplos de la patente de EE.UU. No. 8,752,510. Los grupos verticales, o columnas, de tubos pueden estar dispuestos concéntricamente alrededor de una columna elevadora dentro de la vasija del reactor. Un grupo exterior de tubos ubicado cerca de la pared de la vasija del reactor puede estar asociado con un radio de curvatura mayor que un grupo interior de tubos ubicado cerca de la pared de la columna elevadora.

En funcionamiento 1630, los extremos de inserción de tubos de la pluralidad de tubos de transferencia de calor pueden curvarse en al menos dos direcciones. Se puede configurar un primer conjunto de curvaturas de transición para dirigir los tubos de transferencia de calor desde la parte de hélice del sistema generador de vapor a una orientación vertical sustancial. En algunos ejemplos, el primer conjunto de curvaturas de transición puede estar contenido en el mismo plano helicoidal, o columna, que la parte helicoidal de los tubos de transferencia de calor. Además, se puede configurar un segundo conjunto de curvaturas de transición para dirigir los tubos de transferencia de calor desde la orientación vertical a una orientación horizontal sustancial para la inserción en la lámina de tubo.

En algunos ejemplos, cada grupo vertical de tubos de transferencia de calor puede configurarse para hacer la transición a una fila horizontal de orificios pasantes en la lámina del tubo. En otros ejemplos, cada grupo vertical de tubos de transferencia de calor puede configurarse para hacer la transición a un arco de orificios pasantes en la lámina del tubo. Se pueden combinar dos o más curvaturas de transición en una única curvatura compuesta que alinea los tubos de transferencia de calor con los orificios pasantes de la lámina del tubo.

En el funcionamiento 1640, los extremos de inserción de tubos de la pluralidad de tubos de transferencia de calor pueden insertarse en una lámina de tubo inclinada, o unirse de otro modo, para acoplar de manera fluida y/o acoplar estructuralmente la pluralidad de tubos de transferencia de calor a la lámina de tubo inclinada. Los extremos de los tubos de transferencia de calor pueden soldarse a la lámina de tubo inclinada. Cada uno de los tubos de transferencia de calor pueden estar asociados con un orificio pasante separado que pasa a través de la lámina del tubo inclinada.

En el funcionamiento 1650, la lámina de tubo inclinada se puede unir a una segunda mitad de la vasija del reactor en una orientación no horizontal. La lámina de tubo inclinada puede ubicarse dentro de una o más cámaras inferiores de la vasija del reactor. Una o ambas láminas de tubo inclinadas y o cámaras pueden soldarse a la pared de la vasija del reactor. En algunos ejemplos, la lámina de tubo inclinada puede estar unida a la vasija del reactor en una orientación sustancialmente vertical. En otros ejemplos, la lámina de tubo inclinada se puede unir a la vasija del reactor en un ángulo de aproximadamente treinta grados desde la vertical. Sin embargo, otros ángulos de unión se contemplan en la presente memoria como que son mayores que los horizontales, hasta e incluyendo la orientación vertical.

En el funcionamiento 1660, el refrigerante secundario puede hacerse circular a través de los tubos de transferencia de calor para eliminar el calor generado mediante la vasija del reactor. Los tubos de transferencia de calor pueden pasar a través del refrigerante primario ubicado dentro de la vasija del reactor. El calor asociado con el refrigerante primario puede pasar a través de las paredes de los tubos de transferencia de calor y transferirse al refrigerante secundario contenido dentro de los tubos de transferencia de calor.

En el funcionamiento 1670 se puede configurar un distribuidor de flujo para difundir el refrigerante secundario que se transfiere desde la lámina de tubo inclinada a los tubos de transferencia de calor. El distribuidor de flujo puede comprender una estructura perforada. El distribuidor de flujo puede estar ubicado adyacente a la lámina de tubo inclinada y adicionalmente puede estar ubicado en una cámara inferior de la vasija del reactor.

Debería ser evidente para un experto en la técnica que al menos algunos de los ejemplos proporcionados en la presente memoria pueden entenderse que también se aplican a otros tipos de sistemas de energía, además de funcionar con un reactor de agua a presión y/o un reactor de agua ligera. Por ejemplo, uno o más de los ejemplos o variaciones de los mismos también pueden hacerse funcionales con un reactor de agua en ebullición, un reactor de metal líquido de sodio, un reactor refrigerado por gas, un reactor de lecho de bolas y/u otros tipos de diseños de reactor. Debería señalarse además que cualquier velocidad y valor descrito en la presente memoria se proporciona solo a modo de ejemplo. Se pueden determinar otras velocidades y valores mediante experimentación, tal como construcción de modelos a escala real o modelos a escala de un sistema del reactor nuclear.

Habiendo descrito e ilustrado diversos ejemplos en la presente memoria, debería ser evidente que otros ejemplos pueden modificarse en disposición y detalle. Reivindicamos todas las modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un módulo (100) del reactor nuclear que comprende:

una vasija (1320) de reactor configurada para alojar un refrigerante primario y para transferir el calor generado desde dentro de la vasija (1320) del reactor desde el refrigerante primario a un refrigerante secundario;

5 un sistema (1200) generador de vapor ubicado dentro de la vasija (1320) del reactor;

una pluralidad de tubos (1230) de transferencia de calor configurados para hacer circular el refrigerante secundario del sistema (1200) generador de vapor; y

10 una lámina (1370) de tubo inclinada con una pluralidad de orificios (1390) pasantes, en donde la pluralidad de tubos (1230) de transferencia de calor se insertan en los orificios (1390) pasantes y la lámina (1370) de tubo inclinada está unida a una pared de la vasija (1320) del reactor en una orientación no horizontal y está inclinada de forma vertical con respecto a un eje longitudinal de la vasija (1320) del reactor;

caracterizado por que el módulo del reactor nuclear comprende, además:

un conjunto (1300) de lámina de tubo que comprende la lámina (1370) de tubo inclinada y forma un puerto (1340) de acceso configurado para alojar el refrigerante secundario; y

15 una entrada (1330) configurada para inyectar el refrigerante secundario en el puerto (1340) de acceso, en donde la entrada (1330) está ubicada en el fondo del puerto (1340) de acceso para restringir o impedir que el vapor entre a la línea de alimentación durante ocurrencias de funcionamiento anormales.

20 2. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de orificios pasantes pasan a través de una cara de la lámina (1370) de tubo inclinada, y en donde la lámina (1370) de tubo inclinada está unida a la vasija (1320) del reactor de tal manera que la cara de la lámina (1370) de tubo inclinada forma un ángulo de unión con la pared de la vasija del reactor que es menor que 60 grados con respecto al eje longitudinal de la vasija (1320) del reactor.

25 3. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 2, en donde el ángulo de unión entre la cara de la lámina (1370) de tubo inclinada y la pared de la vasija del reactor está entre 15 y 45 grados con respecto al eje longitudinal de la vasija (1320) del reactor.

4. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 2, en donde el ángulo de unión entre la cara de la lámina (1370) de tubo inclinada y la pared de la vasija del reactor es de aproximadamente 30 grados con respecto al eje longitudinal de la vasija (1320) del reactor.

30 5. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 2, en donde el ángulo de unión entre la cara de la lámina (1370) de tubo inclinada y la pared de la vasija del reactor está entre 15 y 45 grados con respecto al eje longitudinal de la vasija (1320) del reactor, en donde una primera parte de la cara de la lámina (1370) de tubos inclinadas está ubicada fuera de la pared de la vasija del reactor y en donde una segunda parte de la cara de la lámina (1370) de tubos inclinadas está ubicada dentro de la pared de la vasija del reactor.

35 6. El módulo (100) del reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la vasija (1320) del reactor está configurada para impedir la liberación del refrigerante primario fuera de la vasija (1320) del reactor, y en donde al refrigerante primario y al refrigerante secundario no se les permite mezclarse.

40 7. El módulo (100) del reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde los orificios (1390) pasantes pasan a través de una cara interior de la lámina (1370) de tubo inclinada y se extienden a una cara exterior de la lámina (1370) de tubo inclinada, y en donde la pluralidad de tubos (1230) de transferencia de calor se insertan en la cara interior.

8. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 7, en donde la pluralidad de orificios (1390) pasantes están dispuestos en la cara interior de la lámina (1370) de tubo inclinada en un patrón (1450) de paso triangular de manera que cualquiera de los tres orificios (1390) pasantes adyacentes están separados de manera igual entre sí;

y/o:

45 en donde al menos una parte de la pluralidad de orificios (1390) pasantes están dispuestos como un número de arcos (1530) concéntricos de orificios (1390) pasantes, en donde al menos una parte de la pluralidad de tubos (1230) de transferencia de calor está dispuesta como una columna vertical de tubos, y en donde la columna vertical de tubos hace la transición a un arco de orificios (1390) pasantes en la lámina (1370) de tubo.

50 9. El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde el conjunto (1300) de lámina de tubo incluye una placa (1350) de cubierta que rodea sustancialmente la cara exterior, y en donde el puerto (1340) de acceso y la placa (1350) de cubierta están separados de una estructura (310) de contención adyacente para permitir

la expansión térmica de la vasija (1320) del reactor alojada dentro de la estructura (310) de contención.

**10.** El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 9, en donde el puerto (1340) de acceso y la placa (1350) de cubierta están separados de la estructura (310) de contención adyacente en al menos 12,7 mm (media pulgada) y menos de 50,8 mm (dos pulgadas).

5 **11.** El módulo (100) del reactor nuclear de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, en donde la placa de cubierta está configurada para proporcionar acceso a la cara exterior de la lámina de tubo inclinada, y en donde la placa de cubierta está separada de la estructura de contención adyacente en menos de 50,8 mm (dos pulgadas).

10 **12.** El módulo (100) del reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde los tubos (1230) de transferencia de calor están dispuestos dentro de la vasija (1320) del reactor en una configuración (1570) en forma de hélice, y en donde los extremos de inserción del tubo de los tubos (1230) de transferencia de calor están curvados en al menos dos direcciones al hacer la transición de la configuración en forma de hélice a la lámina (1370) de tubo inclinada.

**13.** Un uso de un módulo (100) del reactor nuclear, que comprende hacer funcionar el módulo (100) del reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

15 **14.** Un método (1600) de ensamblaje (1000) del módulo (100) del reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones 1-12, comprendiendo el método:

20 unir (1610) una pluralidad de tubos (1030) de transferencia de calor a una primera mitad de una vasija (1010) del reactor que está configurada para alojar un refrigerante primario y transferir el calor generado desde dentro de la vasija (1010) del reactor desde el refrigerante primario a un refrigerante secundario que circula a través de la pluralidad de tubos (1030) de transferencia de calor;

formar (1620) la pluralidad de tubos (1030) de transferencia de calor en una configuración (1032) de forma helicoidal que comprende grupos verticales de tubos;

curvar (1630) los extremos de inserción de tubo de la pluralidad de tubos (1030) de transferencia de calor en al menos dos direcciones;

25 insertar (1640) los extremos de inserción del tubo en una lámina (1040, 1370) de tubo inclinada para acoplar de manera fluida la pluralidad de tubos (1030) de transferencia de calor a la lámina (1040, 1370) de tubo inclinada;

unir (1650) la lámina (1040, 1370) de tubo inclinada a una segunda mitad de la vasija (1010) del reactor en una orientación no horizontal;

30 proporcionar un conjunto (1300) de lámina de tubo que comprende la lámina (1370) de tubo inclinada y forma un puerto (1340) de acceso configurado para alojar el refrigerante secundario;

proporcionar una entrada (1330) configurada para inyectar el refrigerante secundario en el puerto (1340) de acceso, en donde la entrada (1330) se encuentra en la parte del fondo del puerto (1340) de acceso para restringir o impedir que el vapor entre en la línea de alimentación durante ocurrencias de funcionamiento anormales.



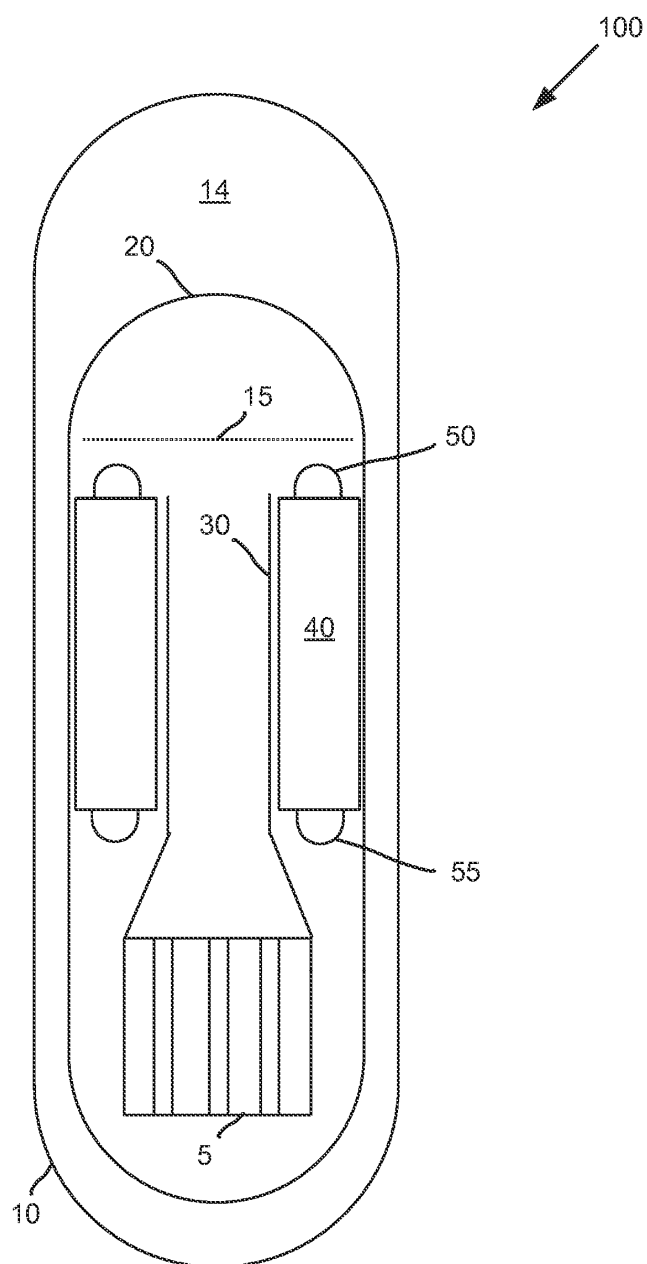


FIG. 1

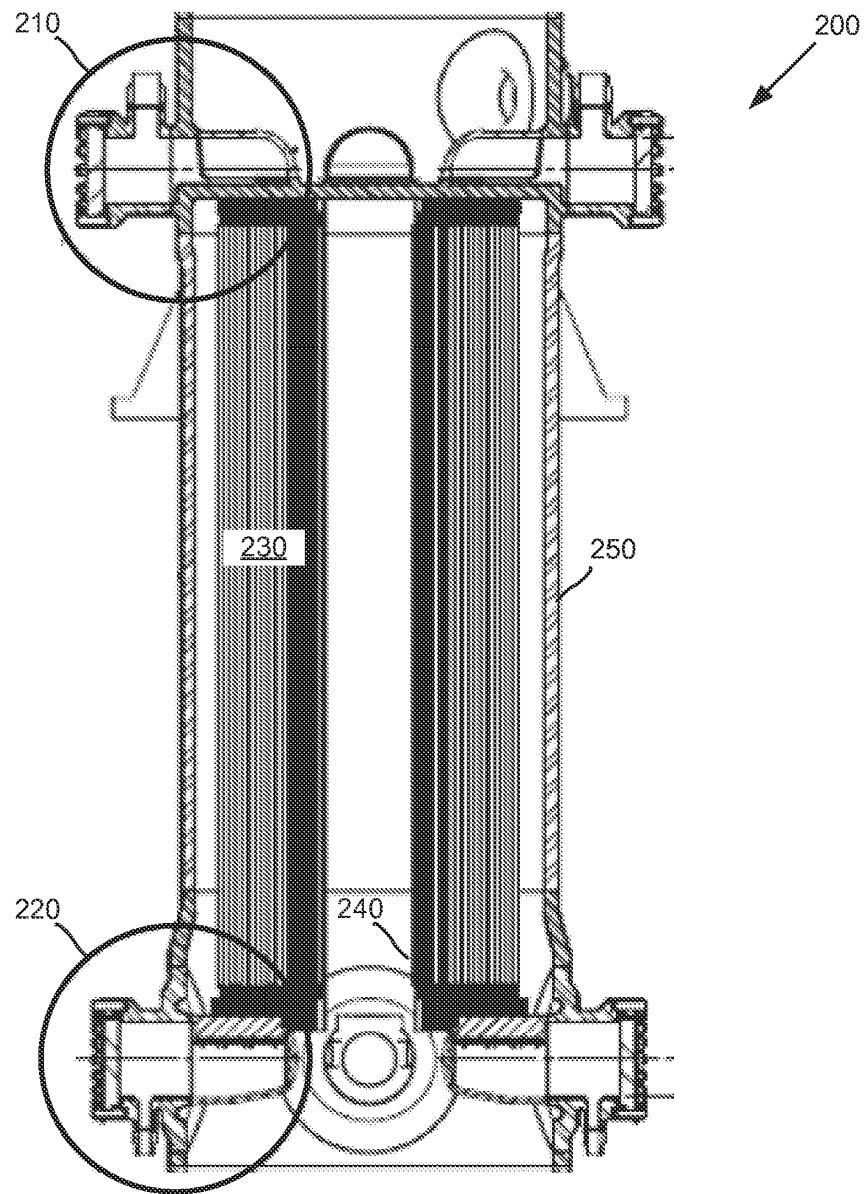


FIG. 2

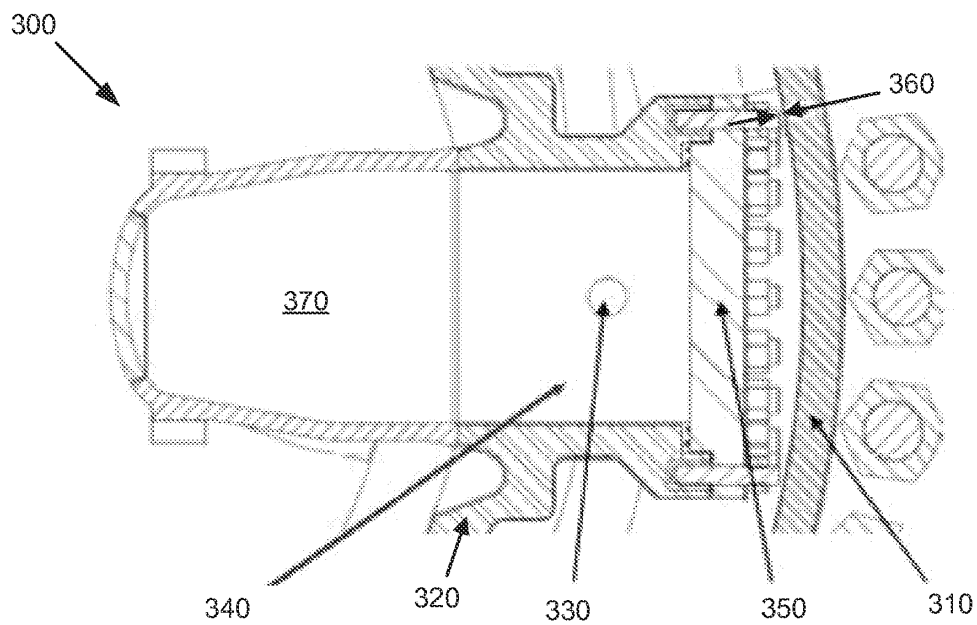


FIG. 3

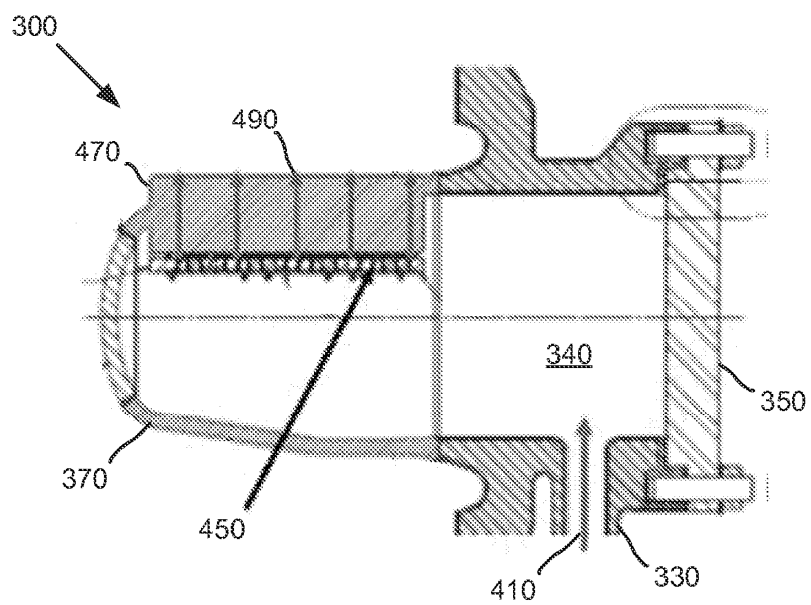
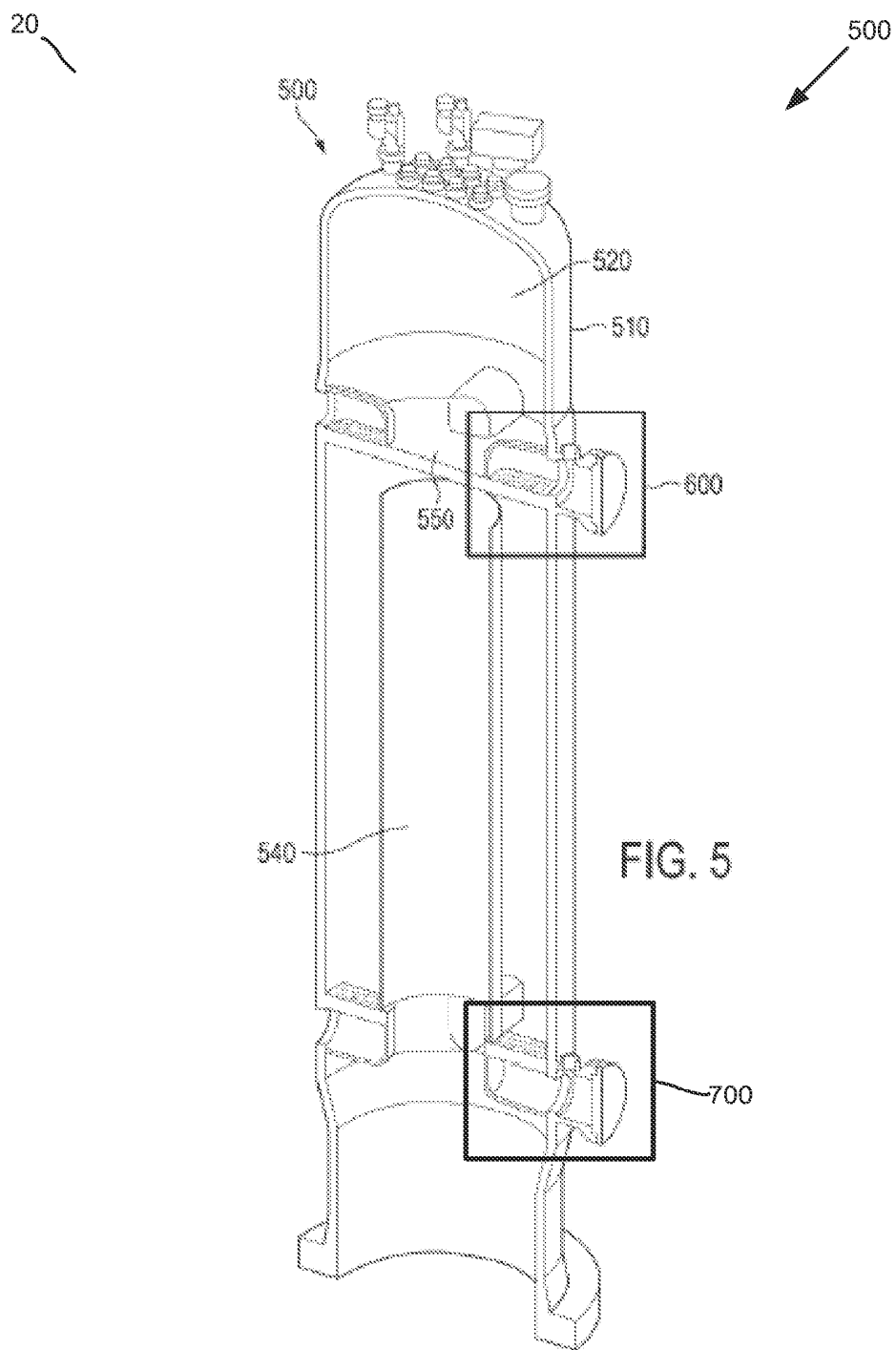


FIG. 4



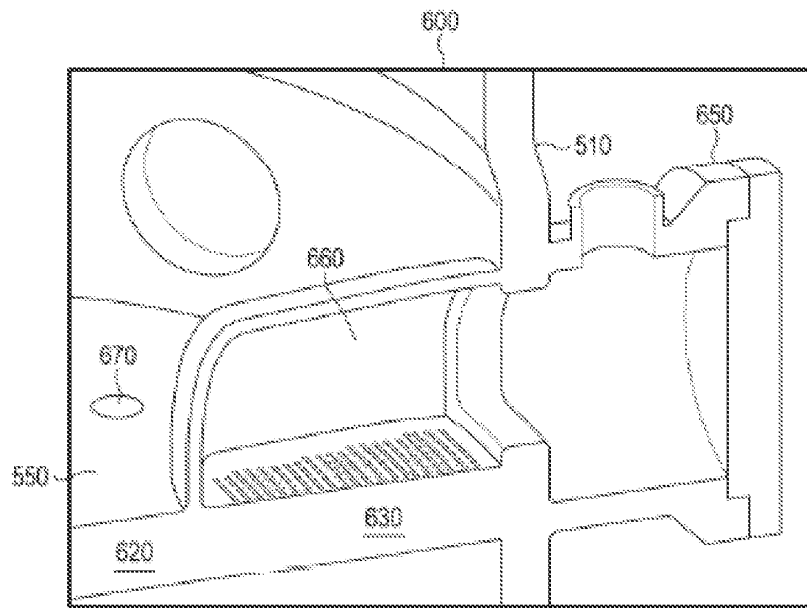


FIG. 6

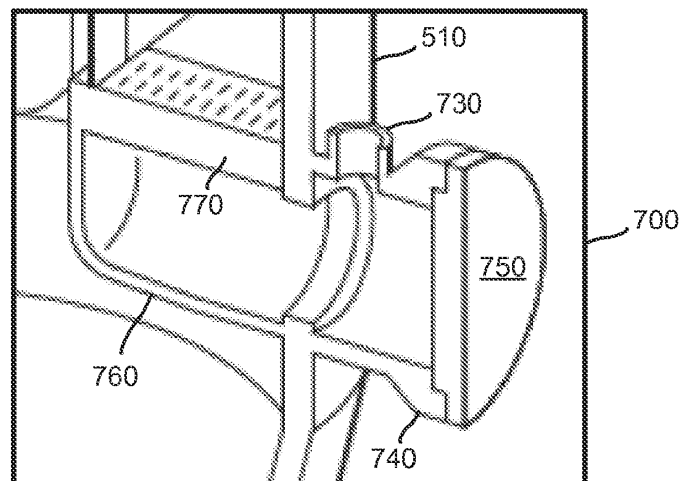


FIG. 7

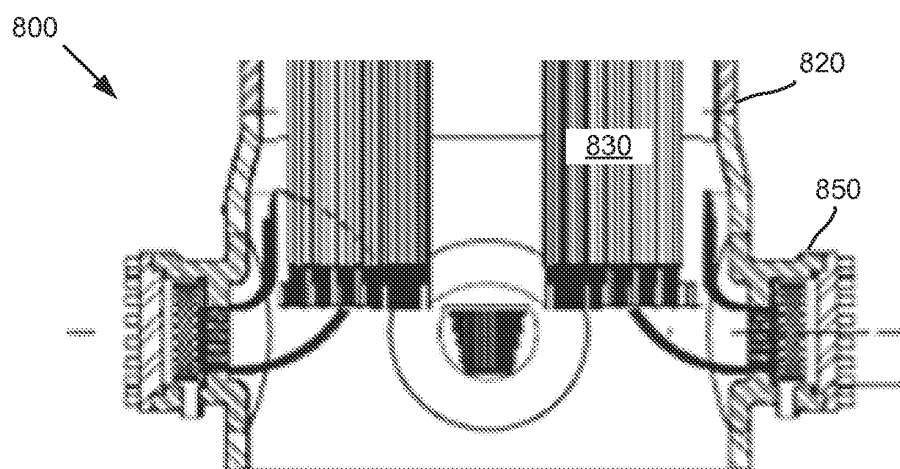


FIG. 8

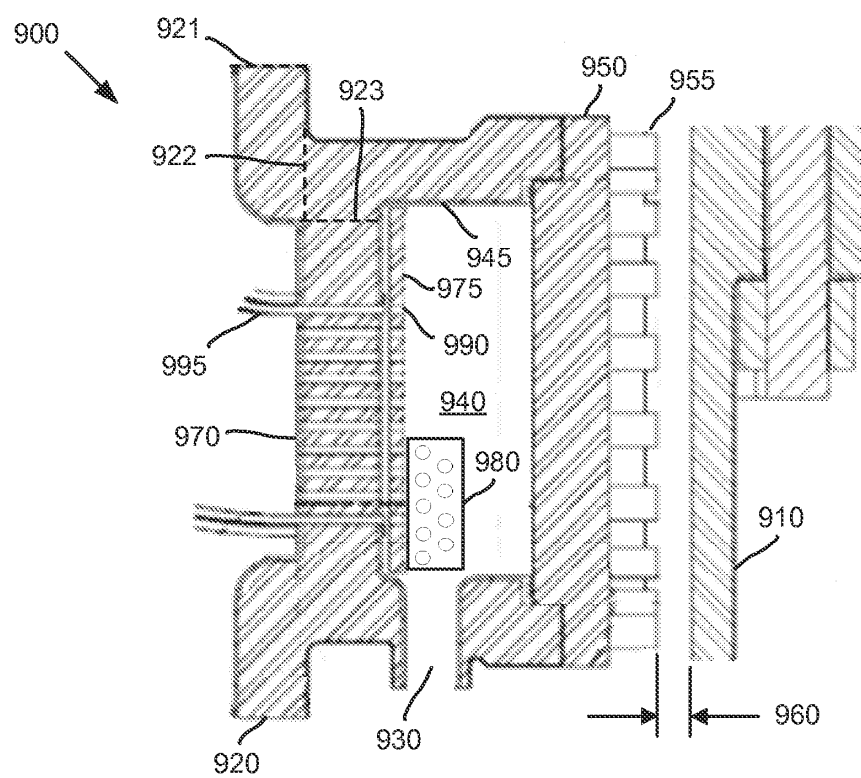


FIG. 9

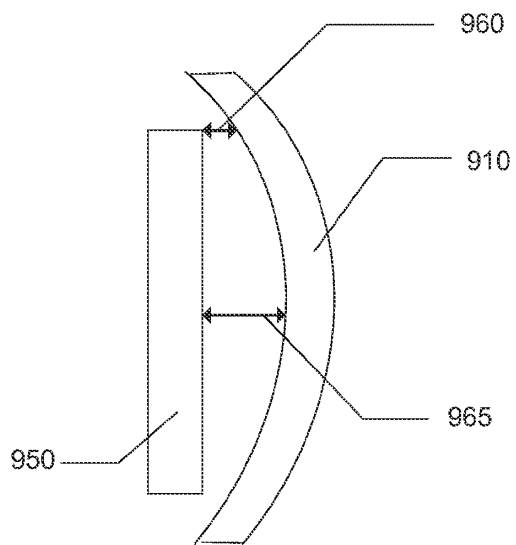


FIG. 9A

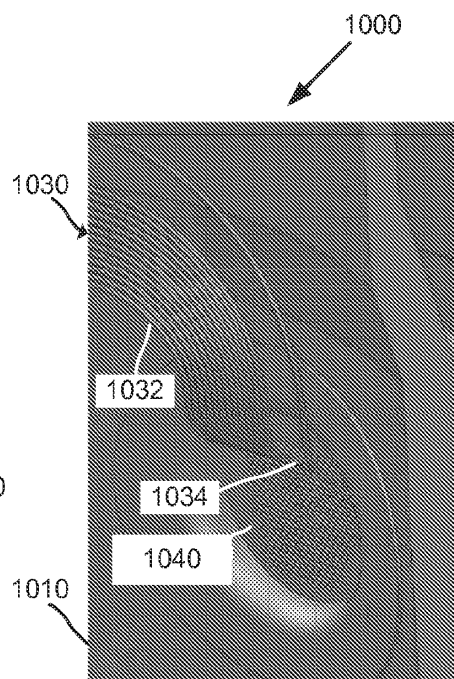


FIG. 10

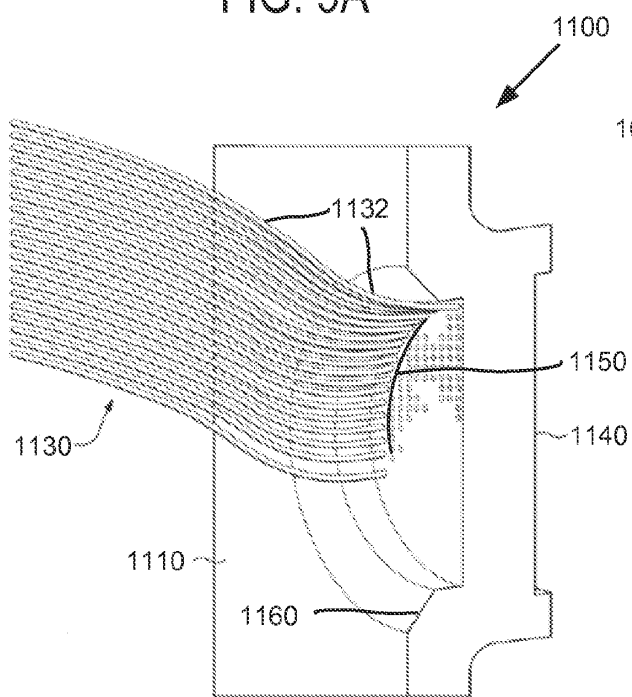


FIG. 11

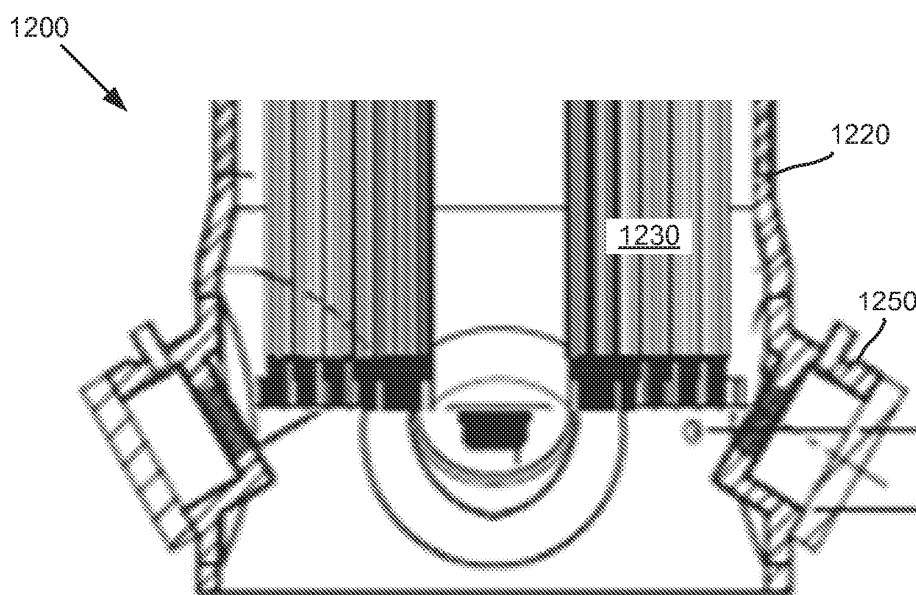


FIG. 12

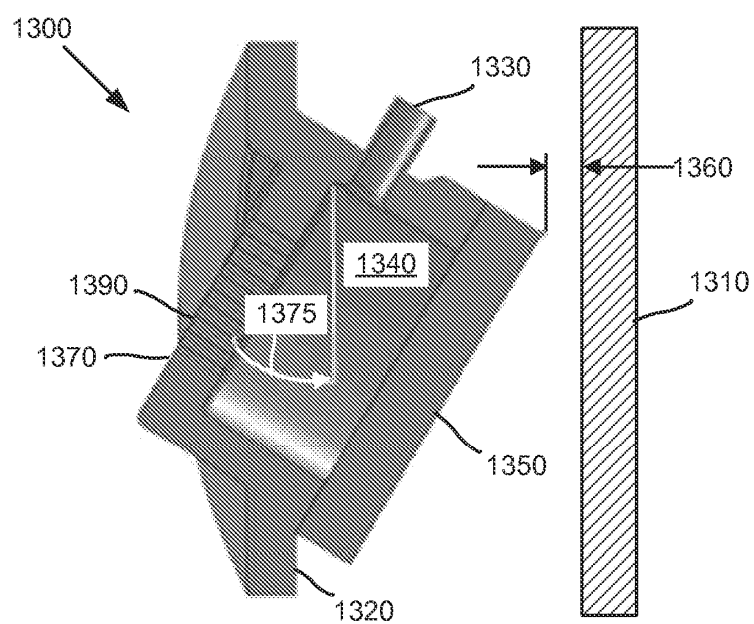


FIG. 13



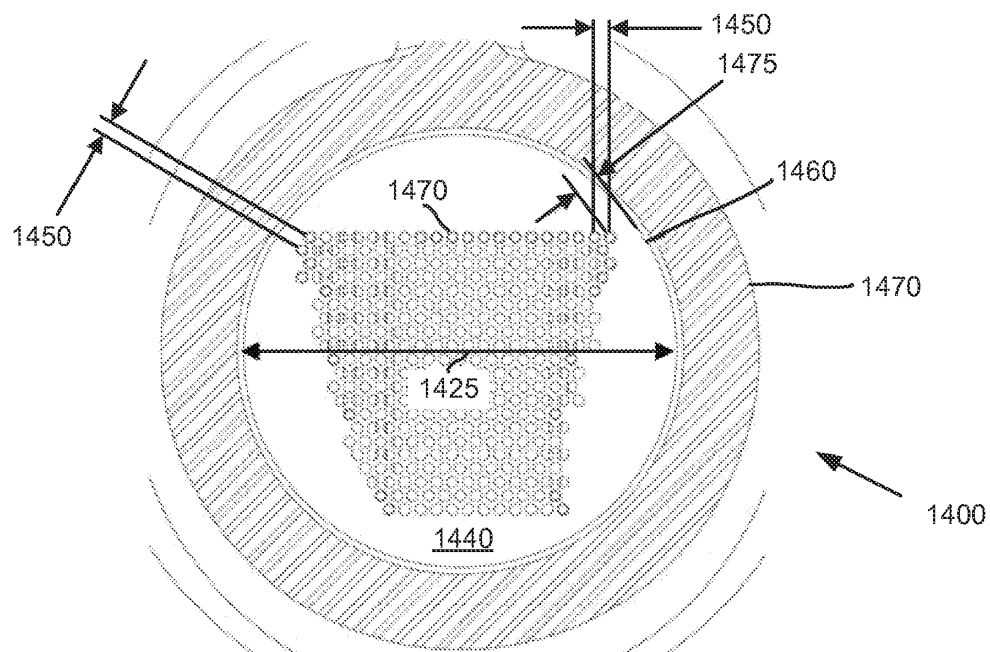


FIG. 14

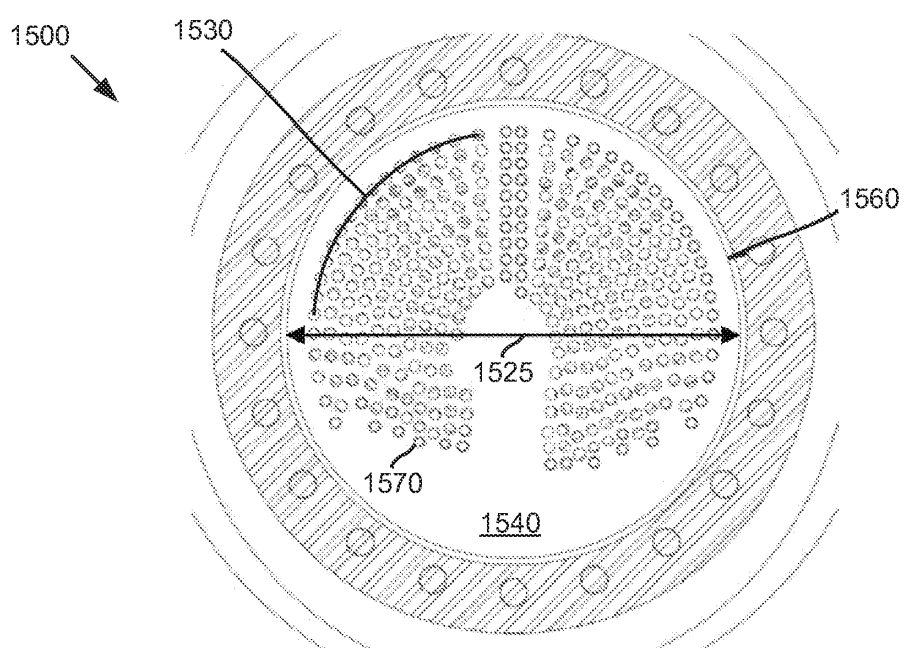


FIG. 15

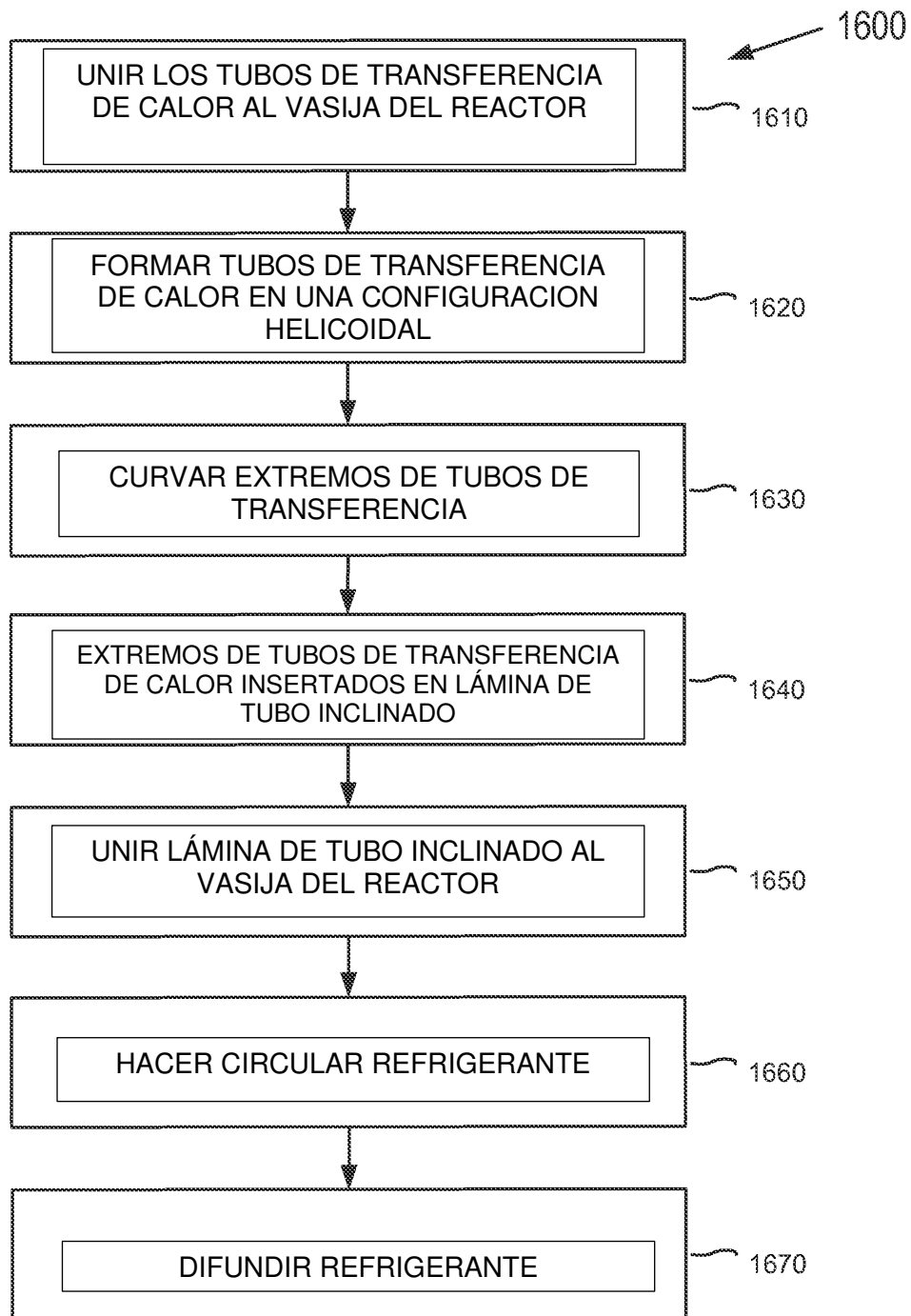


FIG. 16