

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 990**

51 Int. Cl.:

G21C 7/32	(2006.01)
F22B 1/02	(2006.01)
G21D 1/00	(2006.01)
G21C 1/32	(2006.01)
G21C 13/02	(2006.01)
G21C 15/16	(2006.01)
G21C 15/12	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2014 PCT/US2014/061161**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015 WO15099868**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2014 E 14795897 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 3087566**

54 Título: **Placa integral tubular para vasija a presión del reactor**

30 Prioridad:

26.12.2013 US 201361921046 P
24.04.2014 US 201414260866

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.02.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LISZKAI, TAMAS;
CADELL, SETH;
KRUSKAMP, ALEX y
MALLETT, MATTHEW

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 699 990 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

Placa integral tubular para vasija a presión del reactor

Declaración de la materia relacionada

5 La presente solicitud reivindica prioridad con respecto a la solicitud provisional U.S. nº 61/921.046, presentada el 26 de diciembre de 2013, y a la solicitud no provisional U.S. nº 14/260.866, presentada el 24 de abril de 2014.

Campo técnico

La presente solicitud versa acerca del campo de generación de energía, incluyendo sistemas de suministro eléctrico que comprenden un conjunto de tubos de un generador de vapor.

Antecedentes

10 El rendimiento de un reactor, incluyendo la capacidad de generar electricidad de forma eficaz a partir de un generador de vapor, puede verse influido o afectado, de otra manera, por una variedad de consideraciones de diseño. Por ejemplo, el número, la longitud y el grosor de pared de los tubos del generador de vapor pueden afectar a la evacuación del calor de decaimiento y al caudal asociado con un sistema de generador de vapor. De forma similar, el volumen total y el grosor de pared asociados con una estructura de contención pueden determinar, en parte, una presión normal de operación o una presión permisible del sistema de una central de producción eléctrica.

15 Además de las consideraciones de diseño relacionadas con la eficacia, los diversos componentes del sistema asociados con la central de producción eléctrica a menudo cumplen requisitos de seguridad y códigos normativos estrictos. Las centrales de producción eléctrica que operan con líquido y/o vapor contenido a presión están diseñadas normalmente para soportar presiones que pueden superar las condiciones normales de operación para evitar que los componentes fallen durante un incidente o accidente de sobrepresurización.

20 Invariablemente, los requisitos de seguridad y los códigos normativos a menudo tienen como resultado un diseño más robusto de los componentes, lo que tiende a tener como resultado una mayor cantidad de material utilizada en la fabricación de ciertos componentes. Según aumenta el tamaño o el peso de los componentes, esto aumenta, de forma similar, los costes asociados de fabricación y de transporte durante la construcción del módulo del reactor, añadiendo, por lo tanto, al coste total de la central de producción eléctrica y de la electricidad para cuya generación está diseñado. La presente solicitud aborda estos y otros problemas.

25 La patente U.S. nº 5.102.616 divulga varias realizaciones de un reactor integral de agua a presión que tiene una vasija a presión que está dividida por una envoltura en una primera cámara verticalmente superior y en una segunda cámara verticalmente inferior. Un núcleo del reactor y un circuito primario de refrigerante de agua están dispuestos en la segunda cámara verticalmente inferior. Hay colocado un presionador en el interior de la vasija a presión en la primera cámara verticalmente superior. En una realización, un sistema de evacuación del calor residual comprende un intercambiador de calor residual en el exterior de la vasija a presión. Un primer tubo, que se extiende a través de la envoltura al interior del presionador, interconecta una porción superior del circuito primario de refrigerante de agua con un colector de entrada del intercambiador de calor residual. Uno o más segundos tubos interconectan un colector de salida del intercambiador de calor residual con una porción inferior del circuito primario de refrigerante de agua. Tubos adicionales interconectan la vasija a presión con un depósito de refrigerante de emergencia a plena presión.

Sumario

40 La invención está definida por la reivindicación independiente. Las reivindicaciones dependientes versan acerca de características opcionales de algunas realizaciones de la invención. Se tendrá debidamente en cuenta cualquier elemento que sea equivalente a un elemento especificado en las reivindicaciones.

45 Según algunas realizaciones, un sistema de control térmico para una vasija a presión del reactor puede comprender una placa que tiene una forma sustancialmente circular que está fijada a una pared de la vasija a presión del reactor. La placa puede dividir la vasija a presión del reactor en una región superior de la vasija a presión del reactor y en una región inferior de la vasija a presión del reactor. Adicionalmente, la placa puede estar configurada para proporcionar una barrera térmica y/o una barrera líquida entre un volumen a presión ubicado en el interior de la región superior de la vasija a presión y el refrigerante primario ubicado en el interior de la región inferior de la vasija a presión del reactor. Uno o más plenums pueden estar configurados para proporcionar un paso para que una pluralidad de tubos de transferencia de calor pase a través de la pared de la vasija a presión del reactor. La pluralidad de tubos de transferencia de calor pueden estar conectados con la placa.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un módulo ejemplar de reactor nuclear que comprende un núcleo del reactor rodeado por una vasija a presión del reactor.

La FIG. 2 ilustra una vista en sección transversal de un sistema ejemplar que comprende una vasija a presión del reactor y una placa deflectora de la vasija a presión del reactor.

5 La FIG. 3A ilustra una vista desde arriba de un módulo del reactor que comprende una placa deflectora y una o más toberas del generador de vapor montadas en una vasija a presión del reactor.

La FIG. 3B ilustra una vista en sección transversal de la vasija a presión del reactor de la FIG. 3A.

10 La FIG. 4A ilustra una vista desde arriba de un módulo de reactor que comprende una placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor y una o más toberas del generador de vapor montadas en una vasija a presión del reactor.

La FIG. 4B ilustra una vista en sección transversal de la vasija a presión del reactor de la FIG. 4A.

15 La FIG. 5 ilustra un sistema de vasija a presión del reactor que comprende una placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor.

20 La FIG. 6 ilustra una vista parcial ampliada de la placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor de la FIG. 5.

La FIG. 7 ilustra una placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor fijada a una vasija a presión del reactor.

25 La FIG. 8 ilustra una placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor configurada para fijarse tanto a una porción superior de una vasija a presión del reactor como a una porción inferior de la vasija a presión del reactor.

La FIG. 9 ilustra una placa integral de tubos de la vasija a presión del reactor fijada a una vasija a presión del reactor.

30 La FIG. 10 ilustra un módulo ejemplar de reactor que comprende una vasija superior de contención de diámetro reducido.

La FIG. 11 ilustra una vista en sección transversal del módulo ejemplar de reactor de la FIG. 10.

35 La FIG. 12 ilustra un procedimiento ejemplar de montaje de una placa integral de tubos.

Descripción detallada

40 Para facilitar la reseña de las diversas realizaciones divulgadas en la presente memoria, y permitir una mejor comprensión de las mismas, se puede representar un número de términos mediante un acrónimo o abreviatura incluyendo, sin limitación: sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS), sistema de control químico y volumétrico (CVCS), vasija de contención (CNV), agua de alimentación (FW), presionador (PZR), sistema del refrigerante del reactor (RCS), vasija a presión del reactor (RPV) y generador de vapor (SG). Adicionalmente, se pueden presentar diversos ejemplos divulgados o a los que se hace referencia en la presente memoria coherentes con características, o junto con las mismas, encontradas en una o más de la solicitud U.S. n° 12/393.577, la solicitud U.S. n° 12/397.481 y la solicitud U.S. n° 12/939.957. La FIG.1 ilustra un módulo ejemplar 5 de reactor nuclear que comprende un núcleo 6 del reactor rodeado por una vasija 2 a presión del reactor. El refrigerante 10 en la vasija 2 a presión del reactor rodea el núcleo 6 del reactor. El núcleo 6 del reactor puede estar ubicado en una envoltura 22 que rodea el núcleo 6 del reactor por sus lados. Cuando se calienta el refrigerante 10 mediante el núcleo 6 del reactor como resultado de sucesos de fisión, el refrigerante 10 puede ser dirigido desde la envoltura 22 hasta el interior de un anillo 23 ubicado encima del núcleo 6 del reactor y saliendo de un tubo ascendente 24. Esto puede tener como resultado que refrigerante adicional 10 sea aspirado al interior de la envoltura 22 para ser calentado, a su vez, por el núcleo 6 del reactor, que aspira aún más refrigerante 10 al interior de la envoltura 22. El refrigerante 10 que sale del tubo ascendente 24 puede ser enfriado y dirigido hacia el exterior de la vasija 2 a presión del reactor y luego devuelto a la parte inferior de la vasija 2 a presión del reactor mediante circulación natural. El vapor 11 a presión (por ejemplo, vapor saturado) puede ser producido en la vasija 2 a presión del reactor según se calienta el refrigerante 10.

55 Un intercambiador 35 de calor puede estar configurado para hacer circular agua de alimentación y/o vapor en un sistema secundario 30 de refrigeración para generar electricidad con una turbina 32 y un generador 34. En algunos ejemplos, el agua de alimentación pasa a través del intercambiador 35 de calor y puede convertirse en vapor sobrecalentado. El sistema secundario 30 de refrigeración puede incluir un condensador 36 y una bomba 38 de agua de alimentación. En algunos ejemplos, se mantienen aislados el agua de alimentación y/o el vapor en el sistema secundario 30 de refrigeración del refrigerante 10 en la vasija 2 a presión del reactor, de forma que no se permita que se mezclen o hagan contacto directo entre sí.

La vasija 2 a presión del reactor puede estar rodeada por una vasija 4 de contención. En algunos ejemplos, se puede colocar la vasija 4 de contención en una piscina de agua; por ejemplo, ubicada bajo tierra. La vasija 4 de contención está configurada para impedir que la liberación de refrigerante 10 asociado con la vasija 2 a presión del reactor escape fuera de la vasija 4 a presión del reactor y/o al entorno circundante. En una situación de emergencia, se puede evacuar vapor 11 de la vasija 2 a presión del reactor a través de una válvula 8 al interior de la vasija 4 de contención y/o se puede liberar refrigerante 10 a través de una válvula 18 de purga. La tasa de liberación de vapor 11 y/o de refrigerante 10 al interior de la vasija 4 de contención puede variar según la presión en el interior de la vasija 2 a presión del reactor. En algunos ejemplos, se puede evacuar un calor de decaimiento asociado con el núcleo 6 del reactor, al menos en parte, mediante una combinación de condensación del vapor 11 en las paredes internas de la vasija 4 de contención y/o mediante la supresión del refrigerante 10 liberado a través de la válvula 18 de purga.

La vasija 4 de contención puede tener una forma aproximadamente cilíndrica. En algunos ejemplos, la vasija 4 de contención puede tener uno o más extremos elipsoidales, abovedados o esféricos. La vasija 4 de contención puede estar soldada o sellada de otra manera al entorno, de forma que no se permita que los líquidos y/o los gases se escapen de la vasija 4 de contención, o entren en la misma. En diversos ejemplos, la vasija 2 a presión del reactor y/o la vasija 4 de contención pueden estar soportadas desde abajo, soportadas desde arriba, soportadas en torno a su centro, o cualquier combinación de los mismos.

Una superficie interna de la vasija 2 a presión del reactor puede estar expuesta a un entorno húmedo que comprende refrigerante 10 y/o vapor 11, y una superficie externa de la vasija 2 a presión del reactor puede estar expuesta a un entorno sustancialmente seco en algunos ejemplos y/o modos de operación. La vasija 2 a presión del reactor puede comprender y/o estar fabricada de acero inoxidable, acero al carbono, otros tipos de materiales o materiales compuestos, o cualquier combinación de los mismos. Adicionalmente, la vasija 2 a presión del reactor puede incluir una vaina y/o un aislamiento.

La vasija 4 de contención puede rodear sustancialmente la vasija 2 a presión del reactor en una región 14 de contención. La región 14 de contención puede comprender un entorno seco, al vacío y/o gaseoso en algunos ejemplos y/o modos de operación. En algunos ejemplos, una o ambas de la vasija 2 a presión del reactor y de la vasija 4 de contención pueden estar expuestas al refrigerante y/o al agua durante ciertos modos de operación, tales como la recarga, la parada o el transporte. La región 14 de contención puede comprender una cantidad de aire, un gas noble tal como argón, otros tipos de gases o cualquier combinación de los mismos. En algunos ejemplos, se puede mantener la región 14 de contención a presión atmosférica, o por debajo de la misma; por ejemplo, a un vacío parcial. En otros ejemplos, la región 14 de contención puede mantenerse a un vacío sustancialmente completo. Se puede evacuar y/o eliminar cualquier gas o gases en la vasija 4 de contención antes de la operación del módulo 5 del reactor.

Se pueden considerar ciertos gases no condensables a presiones de operación experimentadas en un sistema de reactor nuclear. Estos gases no condensables pueden incluir hidrógeno y oxígeno, por ejemplo. Durante una operación de emergencia, el vapor puede reaccionar químicamente con las varillas de combustible para producir un nivel elevado de hidrógeno. Cuando el hidrógeno se mezcla con aire o con oxígeno, puede crear una mezcla combustible. Al eliminar una porción sustancial del aire o del oxígeno de la vasija 4 de contención, se puede minimizar o eliminar la cantidad de hidrógeno y de oxígeno que se permite que se mezcle.

Se puede retirar o extraer cualquier aire u otro gas que resida en la región 14 de contención cuando se detecte una condición de emergencia. Los gases que son extraídos o evacuados de la región 14 de contención pueden comprender gases no condensables y/o gases condensables. Los gases condensables pueden incluir cualquier vapor que sea evacuado a la región 14 de contención.

Durante una operación de emergencia, aunque se puede evacuar vapor y/o vapor saturado a la región 14 de contención, solo puede evacuar o liberar una cantidad insignificante de gas no condensable (tal como hidrógeno) al interior de la región 14 de contención. Puede ser posible suponer, desde un punto de vista práctico, que no se libera sustancialmente ningún gas no condensable a la región 14 junto con el vapor. En consecuencia, en algunos ejemplos, no se extrae sustancialmente nada de gas hidrógeno al interior de la región 14 de contención junto con el vapor, de forma que se mantengan los niveles y/o las cantidades de hidrógeno junto con cualquier oxígeno que pueda existir en la región 14 de contención a un nivel no combustible. Adicionalmente, se puede mantener este nivel no combustible de mezcla de oxígeno-hidrógeno sin el uso de recombinadores de hidrógeno. En algunos ejemplos, se pueden configurar conductos separados de evacuación desde la vasija 2 a presión del reactor para eliminar gases no condensables durante el arranque, el calentamiento, el enfriamiento y/o la parada del reactor.

La eliminación de la transferencia de calor convectivo en el aire se produce, en general, a aproximadamente 6,67 kPa de presión absoluta, sin embargo, se puede observar una reducción en la transferencia de calor convectivo a aproximadamente 40 kPa de presión absoluta. En algunos ejemplos, la región 14 de contención puede tener una presión de 40 kPa, o ser mantenida por debajo de la misma. En otros ejemplos, la región 14 de contención puede tener una presión de 6,67 kPa, o ser mantenida por debajo de la misma. En algunos ejemplos, la región 14 de contención puede tener un nivel de presión, y/o ser mantenida en el mismo, que inhiba sustancialmente toda la

transferencia de calor convectivo y/o conductivo entre la vasija 2 a presión del reactor y la vasija 4 de contención. Se puede proporcionar y/o mantener un vacío completo o parcial operando una bomba de vacío, un eyector de chorro de vapor-aire, otros tipos de dispositivos de evacuación o cualquier combinación de los mismos.

5 Al mantener la región 14 de contención en un vacío o vacío parcial, se puede eliminar la humedad en la región 14 de contención, protegiendo, de ese modo, los componentes eléctricos y mecánicos contra la corrosión o fallos. Adicionalmente, el vacío o vacío parcialmente puede operar para aspirar o llevar refrigerante al interior de la región 14 de contención durante una operación de emergencia (por ejemplo, un incidente de sobrepresurización o de sobrecalentamiento) sin el uso de una bomba o de un depósito de contención elevado aparte. El vacío o vacío parcial también puede operar para proporcionar una forma para inundar o llenar la región 14 de contención con refrigerante 10 durante un procedimiento de recarga.

10 La válvula 8 puede estar montada en la vasija 2 a presión del reactor para evacuar el refrigerante 10 y/o el vapor 11 al interior de la vasija 4 de contención durante una operación de emergencia. La válvula 8 puede estar conectada o montada directamente en una pared externa de la vasija 2 a presión del reactor, sin ninguna estructura intermedia, tal como tuberías o conexiones. En algunos ejemplos, la válvula 8 puede estar soldada directamente a la vasija 2 a presión del reactor para minimizar la probabilidad de cualquier fuga o fallo estructural. La válvula 8 puede comprender una válvula Venturi de paso configurada para liberar vapor 11 al interior de la vasija 4 de contención a una tasa controlada. La condensación de vapor 11 puede reducir la presión en la vasija 4 de contención a aproximadamente la misma tasa que el vapor evacuado 11 añade presión a la vasija 4 de contención.

15 El refrigerante 10 que es liberado como vapor 11 al interior de la vasija 4 de contención puede condensarse en una superficie interna de la vasija 4 de contención como un líquido, tal como agua. La condensación del vapor 11 puede provocar que se reduzca la presión en la vasija 4 de contención, dado que el vapor 11 es transformado nuevamente en refrigerante líquido. Se puede evacuar una cantidad suficiente de calor mediante la condensación de vapor 11 en la superficie interna de la vasija 4 de contención para controlar la evacuación del calor de decaimiento del núcleo 6 del reactor.

20 El refrigerante condensado 10 puede descender hasta la parte inferior de la vasija 4 de contención y acumularse como una piscina de líquido. Según se condensa más vapor 11 en la superficie interna de la vasija 4 de contención, el nivel de refrigerante 10 en el interior de la vasija 4 de contención puede aumentar progresivamente. El calor almacenado en el vapor 11 y/o en el refrigerante 10 puede ser transferido a través de las paredes de la vasija 4 de contención al entorno circundante. Al retirar sustancialmente los gases de la región 14 de contención, se puede aumentar la tasa inicial de condensación del vapor 11 sobre la superficie interna de la vasija 4 de contención gracias a los gases evacuados. Los gases que se acumularían normalmente en la superficie interna de la vasija 4 de contención para inhibir la condensación de refrigerante 10 se encuentran bien a tales niveles bajos o bien son quitados de la superficie interna debido a la convección natural del refrigerante 10, que se puede maximizar la tasa de condensación. El aumento de la tasa de condensación puede aumentar, a su vez, la tasa de transferencia de calor a través de la vasija 4 de contención.

25 Un vacío en la región 14 de contención puede actuar como un tipo de aislamiento térmico durante la operación normal del módulo de reactor, reteniendo, de ese modo, el calor y la energía en la vasija 2 a presión del reactor donde pueden continuar siendo utilizados para la generación de energía. Como resultado, se puede utilizar menos material de aislamiento en el diseño de la vasija 2 a presión del reactor. En algunos ejemplos, se puede utilizar un aislamiento reflectante en vez de aislamientos térmicos convencionales, o además de los mismos. Se puede incluir aislamiento reflectante en una de la vasija 2 a presión del reactor o en la vasija 4 de contención, o en ambas. El aislamiento reflectante puede ser más resistente a daños causados por agua en comparación con un aislamiento térmico convencional. Además, el aislamiento reflectante puede no impedir una transferencia de calor de la vasija 2 a presión del reactor tanto como el aislamiento térmico convencional durante una condición de emergencia. Por ejemplo, una superficie exterior de acero inoxidable de la vasija 2 a presión del reactor puede hacer contacto directo con cualquier refrigerante ubicado en la región 14 de contención.

En algunos tipos de reactores, se implementan elementos de conversión y de regulación en vasijas a presión separadas, tales como la vasija a presión del reactor (RPV), el presionador (PZR) y el generador de vapor (SG).

30 La FIG. 2 ilustra una vista en sección transversal de un sistema ejemplar 40 que comprende una vasija 52 a presión del reactor y una placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor. La vasija 52 a presión del reactor puede contener un núcleo 6 del reactor ubicado cerca de un extremo inferior 55 de la vasija 52 a presión del reactor. La sección 24 de tubo ascendente está ubicada encima del núcleo 6 del reactor, circulando por ella refrigerante por delante del núcleo 6 del reactor para convertirse en refrigerante a alta temperatura T_H y luego continúa ascendiendo a través de la sección 24 de tubo ascendente en la que es dirigido de nuevo bajando por el anillo y es enfriado por un intercambiador 35 de calor (FIG. 1) para convertirse en refrigerante a baja temperatura T_C .

35 La placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor puede estar configurada para dirigir el refrigerante (mostrado como el flujo 26 de refrigerante) hacia el extremo inferior 55 de la vasija 52 a presión del reactor. Una superficie de la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor puede hacer contacto directo con el refrigerante, y desviarlo, el cual sale de la sección 24 de tubo ascendente. En algunos ejemplos, la placa deflectora 45 de la vasija a presión del

reactor puede estar fabricada de acero inoxidable o de otros materiales y/o puede estar formada adoptando una superficie con forma elipsoidal.

5 En algunos ejemplos, el extremo inferior 55 de la vasija 52 a presión del reactor comprende una porción elipsoidal, abovedada, cóncava o hemisférica 55A, en la que la porción elipsoidal 55A dirige el refrigerante (mostrado como el flujo 28 de refrigerante) hacia el núcleo 6 del reactor. La porción elipsoidal 55A puede aumentar el caudal y fomentar una circulación natural del refrigerante a través del núcleo del reactor.

10 Se puede obtener una optimización del flujo 26 de refrigerante según una relación de la distancia H entre la parte superior de la sección 24 de tubo ascendente y la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor y la distancia relativa D entre las paredes de la sección 24 de tubo ascendente, representando la dimensión La la distancia entre la distancia D es igual al diámetro de la sección 24 de tubo ascendente. Se puede representar una relación optimizada de flujo de refrigerante como H/D y/o mediante la relación del área en el interior del tubo ascendente (A1) con respecto al área en el interior del anillo (A2). En una configuración, la relación optimizada H/D de flujo de refrigerante comprende un valor de 0,1 y 2,0, y la relación A1/A2 de flujo comprende un valor entre/aproximadamente 1 y 10. Se puede obtener una optimización adicional del flujo 26 de refrigerante modificando un radio de curvatura de la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor para eliminar/minimizar la separación de la capa límite y las regiones de estancamiento.

20 Se ilustra la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor ubicada entre la parte superior de la sección 24 de tubo ascendente y una región 15 del presionador. Se muestra que la región 15 del presionador comprende uno o más calentadores 17 y una tobera 19 de rociado configurada para controlar la presión, o mantener una cúpula de vapor, en un extremo superior 56 o cabeza de la vasija 52 a presión del reactor. El refrigerante ubicado debajo de la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor puede comprender refrigerante relativamente subenfriado T_{SUB} , mientras que el refrigerante en la región 15 del presionador en el extremo superior 56 de la vasija 52 a presión del reactor puede comprender refrigerante sustancialmente saturado T_{SAT} . Se muestra que un nivel de fluido del refrigerante está por encima de la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor, y en la región 15 del presionador, de forma que todo el volumen entre la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor y la parte inferior 55 de la vasija 52 a presión del reactor esté lleno de refrigerante durante una operación normal del sistema 40.

30 La placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor puede estar soportada por uno o más tubos guía de barras de control o estructuras de instrumentación. Los uno o más tubos guía de barras de control o estructuras de instrumentación pueden estar fijados a un extremo superior de la vasija 52 a presión del reactor, y sirven para guiar las barras de control que se insertan en el núcleo 6 del reactor, o son retiradas del mismo, o proporcionar soporte para los dispositivos de instrumentación ubicados en el interior de la vasija 52 a presión del reactor. Al fijar la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor con los uno o más tubos guía de barras de control o con las estructuras de instrumentación, o al suspenderla de los mismos, la placa deflectora 45 de la vasija a presión del reactor puede no hacer contacto con los lados de la vasija 52 a presión del reactor.

La FIG. 3A ilustra una vista desde arriba de un módulo 300 de reactor que comprende una placa deflectora 310 del PZR y una o más toberas 340 del generador de vapor montadas en una vasija 325 a presión del reactor.

40 La FIG. 3B ilustra una vista A-A en sección transversal de la vasija 325 a presión del reactor de la FIG. 3A. Se ilustra que una cabeza 350 del PZR está ubicada encima de la placa deflectora 310 del PZR. Se ilustra que la placa deflectora 310 del PZR se encuentra a una mayor elevación que los uno o más plenums 345. Se ilustra que hay una o más placas 320 de tubos del SG ubicadas debajo de la placa deflectora 310 del PZR. Se muestra una altura total H0 de la vasija 325 a presión del reactor con fines ilustrativos.

45 La FIG. 4A ilustra una vista desde arriba de un módulo 400 de reactor que comprende una placa integral 410 de tubos de la vasija a presión del reactor y una o más toberas 440 del generador de vapor montadas en una vasija 425 a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos puede estar configurada de forma similar a una o más placas integrales adicionales de tubos descritas en la presente memoria.

50 La FIG. 4B ilustra una vista B-B en sección transversal de la vasija 425 a presión del reactor de la FIG. 4A. Se ilustra que una cabeza 450 del PZR está ubicada encima de la placa integral 410 de tubos. La cabeza 450 del PZR puede comprender una porción superior de una vasija a presión del reactor de la vasija 425 a presión del reactor. En algunos ejemplos, la cabeza 450 del PZR puede estar montada en una porción inferior de la vasija a presión del reactor de la vasija 425 a presión del reactor. El diámetro externo asociado con la porción superior de la vasija a presión del reactor puede ser aproximadamente el mismo que el diámetro externo asociado con la porción inferior de la vasija a presión del reactor. La vasija 425 a presión del reactor puede estar conformada aproximadamente como una vasija a presión del reactor con forma cilíndrica con uno o más extremos con forma de cúpula.

Una altura total H1 asociada con la vasija 425 a presión del reactor puede ser inferior a la altura total H0 asociada con la vasija 325 a presión del reactor. En algunos ejemplos, una altura aproximada de uno o más plenums 445 asociados con las una o más toberas 440 del generador de vapor de la vasija 425 a presión del reactor puede ser

aproximadamente la misma que la altura de los uno o más plenums 345 de la vasija 325 a presión del reactor. Dado que la vasija 425 a presión del reactor no tiene una placa deflectora separada del PZR, tal como la placa deflectora 310 del PZR de la vasija 325 a presión del reactor, la altura de la cabeza 450 del PZR asociada con la vasija 425 a presión del reactor puede ser inferior a la altura de la cabeza 350 del PZR asociada con la vasija 325 a presión del reactor. En algunos ejemplos, la altura total H1 asociada con la vasija 425 a presión del reactor puede ser inferior a la altura total H0 asociada con la vasija 325 a presión del reactor en aproximadamente dos o más metros.

En algunos ejemplos, la distancia HS entre el plenum superior y el inferior en la vasija 425 a presión del reactor puede ser aproximadamente la misma que la distancia HP entre el plenum superior y el inferior en la vasija 325 a presión del reactor. Sin embargo, dado que se sustituye de forma eficaz la funcionalidad de la placa deflectora 310 del PZR por la placa integral 410 de tubos, incluyendo la separación de fluido/presión/térmica entre las regiones superior e inferior de la vasija a presión del reactor, el volumen total de la región inferior de la vasija a presión del reactor debajo de la placa integral 410 de tubos puede ser, por lo tanto, inferior al volumen correspondiente de la región inferior de la vasija a presión del reactor de la vasija 325 a presión del reactor. En consecuencia, se puede reducir el tiempo de tránsito para que circule el refrigerante primario a través del núcleo del reactor en el interior de la vasija 425 a presión del reactor, permitiendo mayores caudales, menores oscilaciones de suministro eléctrico y mayor eficacia de refrigeración.

La cabeza 450 del PZR puede comprender al menos una porción, o estar configurada para interactuar con la misma, de un sistema de control químico y volumétrico (CVCS), uno o más calentadores y/o un sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS). El CVCS, los calentadores y/o el ECCS pueden estar configurados para mantener un nivel de presión del sistema, controlar la química del refrigerante, proporcionar una refrigeración del núcleo a alta presión, proporcionar un flujo de aporte, otras funciones relacionadas o cualquier combinación de los mismos. La placa integral 410 de tubos puede dividir de forma eficaz la vasija 425 a presión del reactor en una región superior de la vasija a presión del reactor que comprende la cabeza 450 del PZR y en una región inferior de la vasija a presión del reactor que comprende un núcleo del reactor sumergido en un refrigerante primario. Adicionalmente, la placa integral 410 de tubos puede estar configurada para proporcionar una barrera térmica y/o líquida entre un volumen a presión ubicado en la región superior de la vasija a presión del reactor y el refrigerante primario ubicado en el interior de la región inferior de la vasija a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos puede estar configurada para proporcionar una barrera de presión entre el refrigerante primario y los sistemas secundarios de refrigeración.

En la vasija 325 a presión del reactor ilustrada en la FIG. 3B, los uno o más plenums 345 están ubicados debajo de la cabeza 350 del PZR y en la región inferior de la vasija a presión del reactor de la vasija 325 a presión del reactor. Al combinar de forma eficaz la placa deflectora 310 del PZR y las placas 320 de tubo del SG ilustradas en la FIG. 3B en la placa integrada 410 de tubos, los uno o más plenums 445 de la vasija 425 a presión del reactor están ubicados, en vez de ello, en la región superior de la vasija a presión del reactor asociada con la cabeza 450 del PZR. En algunos ejemplos, se pueden montar cuatro plenums 445 en la placa integral 410 de tubos. Adicionalmente, la placa integral 410 de tubos puede estar configurada para reducir la cantidad de turbulencia en el flujo de fluido del refrigerante primario en la región inferior de la vasija a presión del reactor en comparación con la vasija 325 a presión del reactor en la que el refrigerante primario pasa por y/o a través de las una o más placas 320 de tubos antes de ser desviado nuevamente bajando hasta la región inferior de la vasija a presión del reactor por la placa deflectora 310 del PZR. Por ejemplo, al ubicar los uno o más plenums 445 en la cabeza 450 del PZR, no impiden la circulación de refrigerante primario, ni la interfieren de otra manera, en la región inferior de la vasija a presión del reactor.

En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos puede estar ubicada en la ubicación del plenum de vapor. La placa integral 410 de tubos puede estar configurada para operar tanto como una placa de tubos del SG como una placa deflectora del PZR, eliminando, de ese modo, la necesidad de una placa deflectora separada del PZR. En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos puede tener un grosor de aproximadamente quince a veinte centímetros, aunque en la presente memoria se contemplan dimensiones más delgadas o más gruesas. La placa integral 410 de tubos puede estar configurada para reducir la cantidad de pérdida de calor del sistema del PZR al sistema de refrigeración de la RPV.

En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos de la vasija 425 a presión del reactor puede estar configurada para llevar a cabo las mismas funciones, o similares, que la placa deflectora 310 del PZR y que las placas 320 de tubos del SG de la vasija 325 a presión del reactor (FIG. 3B). Adicionalmente, la elevación de la placa integral 410 de tubos puede ser aproximadamente la misma elevación que las placas 320 de tubos del SG. En comparación con la vasija 325 a presión del reactor, se puede reducir sustancialmente el volumen de la cabeza 450 del PZR en comparación con el volumen de la cabeza 350 del PZR, al sustituir la placa deflectora 310 del PZR y las placas 320 de tubos del SG por una única placa, en concreto la placa integral 410 de tubos. La placa integral 410 de tubos puede proporcionar una barrera de presión entre el refrigerante secundario asociado con el o los plenums 445 y las toberas 440 del generador de vapor y el refrigerante primario ubicado en la porción inferior de la vasija 425 a presión del reactor.

En algunos ejemplos, la placa integral 410 de tubos puede proporcionar una reducción de peso de la vasija 425 a presión del reactor, en comparación con los módulos del reactor que comprenden placas deflectoras y placas de tubos separadas. Por ejemplo, el grosor de la placa integral 410 de tubos puede ser inferior al grosor combinado de la placa deflectora 310 del PZR y de las una o más placas 320 de tubos del SG. De forma similar, al reducir la altura total de la vasija 425 a presión del reactor, se puede requerir menos material para fabricar la vasija a presión del reactor.

La FIG. 5 ilustra un sistema 500 de vasija a presión del reactor (RPV) con una placa integral 550 de tubos de la vasija a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede llevar a cabo algunas de las funciones, o todas ellas, asociadas con una placa deflectora del presionador (PZR), un blindaje deflector y/o una placa de tubos del generador de vapor (SG). La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para proporcionar una disposición compacta que economiza espacio para el sistema 500 de la RPV.

En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede comprender un disco completo y/o una placa completa ubicados en la porción superior, o cerca de la misma, de una vasija 510 a presión del reactor. Un volumen 520 del PZR puede estar ubicado encima de la placa integral 550 de tubos y acotado por la carcasa superior, el contenedor y/o la cabeza del PZR. La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para operar como una placa deflectora del PZR que separa el fluido del PZR, ubicada encima de la placa integral 550 de tubos, del fluido del sistema de refrigerante del reactor, ubicada debajo de la placa integral 550 de tubos. La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para permitir un intercambio de volúmenes de fluido entre el volumen 520 del PZR y el sistema de refrigerante del reactor. En algunos ejemplos, el sistema 500 de la RPV puede no requerir una placa deflectora separada del PZR.

El tubo ascendente 540 puede estar configurado para finalizar y/o terminar debajo de la placa integral 550 de tubos. Un flujo del fluido del sistema de refrigerante del reactor subiendo por el tubo ascendente 540 puede girar debajo de la placa integral 550 de tubos y descender en torno al exterior del tubo ascendente 540 en la transición de los tubos del SG. Uno o más calentadores pueden estar ubicados en el volumen 520 del PZR, por ejemplo entre las cúpulas del SG asociados con uno o más plenums. En algunos ejemplos, se pueden reducir la altura del tubo ascendente 540 y/o la altura de las barras de control asociadas con el sistema 500 de la RPV en comparación con un módulo del reactor que comprende placas deflectoras y placas de tubos separadas.

El sistema 500 de la RPV puede comprender un sistema de control térmico para una vasija 510 a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede comprender una placa que tiene una forma sustancialmente circular que está fijada a una pared de la vasija 510 a presión del reactor. La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para dividir la vasija 510 a presión del reactor en una región superior de la vasija a presión del reactor y en una región inferior de la vasija a presión del reactor. La región superior de la vasija a presión del reactor puede contener el volumen 520 del PZR y/o un CVCS. La región inferior de la vasija a presión del reactor puede contener el tubo ascendente 540 y/o un núcleo del reactor sumergido en refrigerante primario. La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para proporcionar una barrera líquida y/o térmica entre el volumen 520 del PZR y el refrigerante primario ubicada en la región inferior de la vasija a presión del reactor.

La FIG. 6 ilustra una vista parcial ampliada 600 de la placa integral 550 de tubos de la vasija a presión del reactor de la FIG. 5. La placa integral 550 de tubos puede comprender una placa sustancialmente horizontal fijada a la pared de la RPV 510.

La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para proporcionar una junta estanca con el perímetro de la pared interna de la RPV 510. Adicionalmente, la placa integral 550 de tubos puede comprender dos o más porciones integradas, incluyendo una porción deflectora 620 del PZR y una porción 630 de placa de tubos del SG. La porción deflectora 620 del PZR puede estar sustancialmente acotada por el perímetro de la pared interna de la RPV 510 y una o más cúpulas del SG, tal como la cúpula 660 del SG. La cúpula 660 del SG puede estar asociada con un conjunto 650 de toberas del generador de vapor/plenum. En algunos ejemplos, la porción 630 de placa de tubos del SG puede estar ubicada en la cúpula 660 del SG, y/o debajo de la misma.

La cúpula 660 del SG puede estar asociada con uno o más plenums que proporcionan un paso para una pluralidad de tubos de transferencia de calor para que pasen a través de la pared de la RPV 510. La pluralidad de tubos de transferencia de calor pueden estar conectados con la placa integral 550 de tubos mediante un número de agujeros pasantes ubicados en la placa integral 550 de tubos. Se ilustra que los agujeros pasantes pasan a través de la porción 630 de la placa de tubos del SG. Adicionalmente, los uno o más plenums asociados con la cúpula 660 del SG pueden estar soldados y/o fijados de otra manera a la placa integral 550 de tubos. La pluralidad de tubos de transferencia de calor puede estar conectada con la placa integral 550 de tubos debajo de los uno o más plenums y/o debajo de la cúpula 660 del SG. Los tubos de transferencia de calor pueden estar configurados para permitir que un refrigerante secundario de un sistema de generación de vapor pase a través de la placa integral 550 de tubos y a la región inferior de la vasija a presión del reactor de la RPV 510.

La placa integral 550 de tubos puede comprender un número de orificios 670, ilustrados pasando a través de la porción deflectora 620 del PZR, que están configurados para permitir que el refrigerante primario pase, de forma controlada, a través de la placa integral 550 de tubos a la región superior de la vasija a presión del reactor de la RPV

510 y que vuelva a circular de nuevo hacia la región inferior de la vasija a presión del reactor de la RPV 510. Uno o más orificios 670 pueden estar configurados, por ejemplo en una posición cerrada, para prohibir que el refrigerante primario pase a través de la placa integral 550 de tubos. En algunos ejemplos, tanto el refrigerante primario como el refrigerante secundario pasan a través de la placa integral 550 de tubos sin mezclarse y/o sin que se permita que se mezclen entre sí.

En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede comprender una placa maciza. La placa integral 550 de tubos puede comprender o consistir esencialmente en una vaina de acero hipoaleado, acero hipoaleado SA-508, acero inoxidable, otros tipos de materiales o cualquier combinación de los mismos. Adicionalmente, la placa integral 550 de tubos puede estar conectada con la RPV 510 mediante una soldadura de penetración total. La placa integral 550 de tubos puede estar soldada a una RPV que tiene una composición similar. La soldadura de tipos similares de materiales y/o de composiciones puede servir para minimizar cualquier esfuerzo térmico que pudiera desarrollarse en otros casos durante la operación de la RPV 510.

La soldadura entre la placa integral 550 de tubos y la RPV 510 puede estar ubicada a varios centímetros de la pared interna de la pared interna de la RPV para proporcionar espacio para la soldadura y/o para minimizar la distorsión de los agujeros del tubo más externo debido a una soldadura. En algunos ejemplos, se puede proporcionar un "abultamiento" de la vasija a presión del reactor, o área de mayor diámetro, para acomodar el área de soldadura. En algunos ejemplos, un extremo de los tubos de transferencia de calor puede ser movido hacia el centro de la vasija RPV y/o ser curvado para minimizar o eliminar cualquier cantidad adicional de espacio de soldadura. Por ejemplo, los tubos de transferencia de calor pueden estar curvados alejándose de la pared de la RPV, de forma que se encuentren con la placa integral 550 de tubos más hacia el interior. Una placa integral relativamente grande 550 de tubos puede permitir más flexibilidad en cuanto a cómo y dónde terminar los tubos de transferencia de calor en el conjunto 650 de toberas del generador de vapor/plenum.

Un espacio relativamente grande de acceso encima de la placa integral 550 de tubos puede estar configurado para proporcionar acceso para una soldadura, una instalación de componentes, colocación de equipos e inspecciones. Se puede proporcionar el acceso a las soldaduras de la cúpula de vapor desde dos o más lados del plenum, por ejemplo, a través de las cubiertas de la cúpula de vapor y/o a través de las aberturas del calentador del PZR.

En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos y los tubos asociados pueden estar montados en el interior de la RPV 510. Las vigas radiales en voladizo para los soportes de tubos pueden estar configuradas para caber debajo de la placa integral 550 de tubos y, en algunos ejemplos, las barras de soporte pueden estar soldadas a la viga en voladizo y/o a la placa integral 550 de tubos directamente debajo. La soldadura de las barras de soporte a la placa integral 550 de barras puede reducir o eliminar las soldaduras de la barrera de presión y proporcionar más rigidez a las barras de soporte.

La placa integral 550 de tubos puede estar configurada para pasar a través del diámetro externo de la RPV 510. En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede contener bridas integrales que están soldados a cilindros superior e inferior de la vasija. El cilindro inferior puede estar soldado a la brida de la placa integral 550 de tubos antes de insertar los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, las operaciones de tuberías pueden llevarse a cabo en el interior de la vasija. La placa integral 550 de tubos puede comprender un disco sustancialmente cilíndrico que está soldado a una acumulación anular en el diámetro interno de la RPV 510. La soldadura puede completarse antes de insertar los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, la placa integral 550 de tubos puede comprender una superficie inferior con forma elipsoidal, abovedada, cóncava o hemisférica adyacente a la región inferior de la vasija a presión del reactor para facilitar el flujo y/o la recirculación del refrigerante primario a través del núcleo del reactor.

La FIG. 7 ilustra una placa integral 750 de tubos de la vasija a presión del reactor fijada a una vasija 700 a presión del reactor. La vasija 700 a presión del reactor puede comprender un anillo 720 de fijación que se prolonga hacia dentro desde un diámetro interno de la vasija 700 a presión del reactor. El anillo 720 de fijación puede comprender un anillo de acumulación de soldadura, y la placa integral 750 de tubos puede estar soldada al anillo 720 de fijación en la región 725 de soldadura. En algunos ejemplos, la región 725 de soldadura puede comprender una soldadura de penetración total. La región 725 de soldadura puede extenderse en torno a todo el diámetro interno de la vasija 700 a presión del reactor, y en algunos ejemplos pasa a través de uno o más plenums 710.

La placa integral 750 de tubos puede fabricarse con una forma esencialmente discoidal. Adicionalmente, la placa integral 750 de tubos puede estar fabricada con un acero hipoaleado y recubierta con acero inoxidable en sus superficies tanto superior como inferior para una resistencia contra la corrosión. La fabricación de la placa integral 750 de tubos con un núcleo de acero hipoaleado puede reducir la cantidad de esfuerzos de dilatación térmica en la región 725 de soldadura, en comparación con una placa fabricada con acero inoxidable macizo. En algunos ejemplos, la placa integral 750 de tubos puede estar perforada con un número de agujeros de tubo, agujeros de flujo de sobrepresión, agujeros para el eje de accionamiento de las barras de control y/o agujeros de tubo guía de instrumentación antes de fijar la placa integral de tubos a la vasija 700 a presión del reactor. En algunos ejemplos, se pueden insertar manguitos de acero inoxidable en uno o más de los agujeros para evitar una fatiga por el ciclo térmico. Adicionalmente, los agujeros pueden estar recubiertos con acero inoxidable para evitar una exposición

directa del núcleo de acero hipoaleado al refrigerante primario. Las superficies superior e inferior de la región 725 de soldadura y el núcleo de acero adyacente también pueden estar retro recubiertas con acero inoxidable después de que se fije la placa integral 750 de tubos a la vasija 700 a presión del reactor.

5 Los agujeros de los tubos más externos pueden estar ubicados a varios centímetros del diámetro interno de la vasija 700 a presión del reactor para minimizar la distorsión a los agujeros. En algunos ejemplos, se puede proporcionar un abultamiento local de la vasija 700 a presión del reactor para garantizar que los tubos más externos del intercambiador de calor encajen estrechamente en la estructura circundante de la vasija 700 a presión del reactor para minimizar el flujo de derivación. En otros ejemplos, se puede proporcionar un deflector entre el haz de tubos y la vasija 700 a presión del reactor.

10 El anillo 720 de fijación puede estar configurado para proporcionar suficiente separación de la placa integral 750 de tubos de la vasija 700 a presión del reactor para facilitar el alineamiento y/o la inspección del cabezal de soldadura con la región 725 de soldadura. Por ejemplo, el anillo 720 de fijación puede tener un grosor anular de varios centímetros. El anillo 720 de fijación puede estar configurado para proporcionar una barrera de presión primaria a secundaria entre un sistema de refrigerante secundario y la región de la vasija a presión del reactor ubicada debajo de la placa integral 750 de tubos. La placa integral 750 de tubos puede estar soldada a la vasija 700 a presión del reactor antes de la instalación de los tubos del generador de vapor en la placa integral 750 de tubos.

15 La FIG. 8 ilustra una placa integral 850 de tubos de la vasija a presión del reactor configurada para fijarse tanto a una porción superior de una vasija a presión del reactor como a una porción inferior de la vasija a presión del reactor. La placa integral 850 de tubos puede comprender una o más bridas integrales, tales como una brida superior 820 y una brida inferior 830. La brida superior 820 puede estar ubicada encima de la porción horizontal de la placa integral 850 de tubos, y la brida inferior 830 puede estar ubicada debajo de la porción horizontal de la placa integral 850 de tubos.

20 Las una o más bridas pueden estar forjadas en el diámetro externo de la placa integral 850 de tubos para su fijación a la vasija a presión del reactor. En algunos ejemplos, una superficie superior 824 de la brida superior 820 puede estar soldada a la porción superior de la vasija a presión del reactor, y una superficie inferior 834 de la brida inferior 830 puede estar soldada a la porción inferior de la vasija a presión del reactor. Las porciones superior e inferior de las vasijas a presión del reactor pueden unirse entre sí mediante una placa integral 850 de tubos. Cuando la vasija a presión del reactor está completamente montada, se puede separar la porción superior de la vasija a presión del reactor de la porción inferior de la vasija a presión del reactor según una distancia entre la superficie superior 824 de la brida superior 820 y la superficie inferior 834 de la brida inferior 830.

25 En algunos ejemplos, una o ambas de la brida superior 820 y la brida inferior 830 pueden estar soldadas a la vasija a presión del reactor utilizando una soldadura de costura circular. La placa integral 850 de tubos puede estar soldada a la vasija a presión del reactor sin una acumulación de soldadura o anillo de fijación en el diámetro interno, tal como el anillo 720 de fijación de la FIG. 7. Al ubicar las una o más bridas integrales alejadas de la placa integral 850 de tubos, se puede reducir o eliminar la cantidad de distorsiones térmicas/por soldadura en los agujeros de tubo. En consecuencia, los agujeros de tubo pueden estar ubicados más cerca del diámetro interno de la vasija a presión del reactor.

30 La brida superior 820 puede comprender una pared lateral 828 que forma una porción de la pared de la vasija a presión del reactor entre la porción superior de la vasija a presión del reactor y la porción inferior de la vasija a presión del reactor. La pared lateral 828 puede extenderse desde la porción horizontal de la placa integral 850 de tubos hasta una altura que está por encima del plenum 810. La brida superior 820 puede ser suficientemente alta para proporcionar una región 840 de soldadura que abarca uno o más plenums montados en la placa integral 850 de tubos. En algunos ejemplos, se puede utilizar una soldadura de costura circular para conectar el lado del plenum 810 con la vasija a presión del reactor a la elevación de los orificios de acceso de la tobera de vapor en la vasija a presión del reactor. Una porción inferior del plenum 810 puede soldarse directamente a la placa integral 850 de tubos. En algunos ejemplos, se puede soldar el lado del plenum 810 a la pared lateral 828 de la brida superior 820. Adicionalmente, se pueden soldar una o más vigas en voladizo de soporte de tubos al lado inferior de la placa integral 850 de tubos.

35 La cúpula de vapor del plenum 810 puede estar instalada en la placa integral 850 de tubos bien antes o bien después de la instalación del conjunto de tubos. Adicionalmente, el plenum 810 puede comprender una cubierta terminal 860 para proporcionar acceso al interior del plenum 810 para facilitar la instalación de los tubos. Otros procedimientos de fabricación y de montaje al igual que materiales de la placa integral 850 de tubos pueden ser similares a la placa integral 750 de tubos, según se ha expuesto anteriormente.

40 La secuencia de montaje para un sistema de generador de vapor que utiliza una placa integral de tubos, tal como la placa integral 750 de tubos o la placa integral 850 de tubos, puede comprender la soldadura de la placa integral de tubos y/o de los uno o más plenums antes de instalar los tubos del generador de vapor. En consecuencia, se pueden instalar los tubos de transferencia de calor en el intercambiador de calor con la placa integral de tubos y uno o más plenums ya en su lugar. En algunos ejemplos, se puede invertir la vasija a presión del reactor, de forma que se

puedan instalar los tubos de transferencia de calor desde el extremo del plenum de alimentación, y se pueda montar el intercambiador de calor desde la columna de tubos más externos hasta la columna de tubos más internos.

La FIG. 9 ilustra una placa integral 940 de tubos fijada a una vasija 900 a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral 940 de tubos puede comprender una placa circular de tubos soldada a una acumulación de soldadura en la superficie interior de la vasija 900 a presión del reactor. La placa integral 940 de tubos puede comprender una placa sustancialmente vertical fijada a la pared de la vasija 900 a presión del reactor. Una pluralidad de tubos 930 de transferencia de calor puede pasar a través de un número de agujeros pasantes ubicados en el plenum 900. La placa integral 940 de tubos puede formar una porción de la pared de la vasija 900 a presión del reactor.

El montaje de los tubos puede llevarse a cabo en el interior de la vasija 900 a presión del reactor. Adicionalmente, la placa integral 940 de tubos puede ser bajada sobre los extremos de los tubos 930 de transferencia de calor después de que se monten los tubos 930 de transferencia de calor. La placa integral 940 de tubos puede ser utilizada junto con una segunda placa integral de tubos ubicada en el interior de la vasija a presión del reactor. La segunda placa integral de tubos puede estar ubicada aproximadamente en la misma ubicación en el interior de la vasija a presión del reactor que una o más de las placas integrales de tubos ilustradas en las diversas figuras en la presente memoria. La segunda placa integral de tubos y la placa integral 940 de tubos pueden ser soldadas a la vasija a presión del reactor antes del montaje del intercambiador de calor. En algunos ejemplos, la placa integral 940 de tubos puede soldarse a la vasija a presión del reactor con soldaduras convencionales de toberas de tipo inserto.

La vasija 900 a presión del reactor puede estar invertida para el montaje de tubos y los tubos 930 de transferencia de calor pueden ser insertados en primer lugar en la placa integral 940 de tubos. Se pueden soldar una o más vigas en voladizo de soporte de tubos del extremo de vapor al lado inferior de la placa integral antes del montaje de tubos. Adicionalmente, se pueden soldar una o más vigas en voladizo de soporte de tubos del extremo de alimentación a la vasija 900 a presión del reactor antes del montaje de tubos.

El montaje del generador de vapor puede proseguir desde la columna de tubos más externos progresivamente hasta la columna de tubos más internos, con el extremo de vapor de los tubos 930 de transferencia de calor insertado en la placa integral de tubos, y el extremo de alimentación de los tubos 930 de transferencia de calor insertado en la placa integral 940 de tubos. Adicionalmente, se pueden instalar soportes de tubo columna por columna durante el montaje del intercambiador de calor. El extremo de alimentación de los tubos 930 de transferencia de calor puede ser comprimido durante la instalación en la placa integral 940 de tubos.

La FIG. 10 ilustra un módulo ejemplar 1000 de reactor que comprende una vasija superior 1050 de contención de diámetro reducido conectado con una vasija principal 1075 de contención. La vasija superior 1050 de contención puede formar una cúpula con forma de pezón en una vasija inferior de contención con forma cilíndrica. La altura total 1030 del módulo 1000 de reactor puede comprender una altura principal 1020 de contención asociada con la vasija principal 1075 de contención y una altura superior 1010 de contención asociada con la vasija superior 1050 de contención. Adicionalmente, un diámetro superior 1060 de contención asociado con la vasija superior 1050 de contención puede ser considerablemente menor que un diámetro principal 1080 de contención asociado con la vasija principal 1075 de contención.

El diámetro superior 1060 de contención puede ser aproximadamente de un tercio a un medio del diámetro principal 1080 de contención. En algunos ejemplos, el diámetro superior 1060 de contención puede ser inferior a dos tercios del diámetro principal 1080 de contención. En otros ejemplos, el diámetro superior 1060 de contención puede ser inferior a la mitad del diámetro principal 1080 de contención.

La FIG. 11 ilustra una vista en sección transversal de la vasija superior 1050 de contención de la FIG. 10. La vasija superior 1050 de contención puede estar configurada para contener parte de mecanismos 1025 de accionamiento de las barras de control ubicados en el exterior de la vasija principal 1075 de contención. Se puede suspender una pluralidad de barras de control asociadas con los mecanismos 1025 de accionamiento de las barras de control de la vasija superior 1050 de contención y pasan a través de una placa integral de tubos, tal como la placa integral 550 de tubos (FIG. 5), ubicada en una vasija 1100 a presión del reactor alojada en la vasija principal 1075 de contención.

Adicionalmente, la vasija superior 1050 de contención puede estar configurada para contener tuberías de vapor, de alimentación y del sistema primario. Muchas de las longitudes de las tuberías en esta área pueden incluir un número de curvas y/o de tramos horizontales para dar cuenta de la dilatación térmica de las tuberías. La reubicación de al menos una porción de estas tuberías en el interior de la vasija principal 1075 de contención puede reducir la distancia entre los puntos de anclaje térmico para las tuberías de vapor principal (MS) y de agua de alimentación (FW) y reducir, de forma similar, el número de curvas y de tramos horizontales de las tuberías. Adicionalmente, la eliminación de una porción significativa de las tuberías de MS y de FW del entorno de los mecanismos 1025 de accionamiento de las barras de control puede reducir la cantidad de soportes/restricciones de las tuberías.

La reducción del tamaño y/o del volumen totales del módulo 1000 del reactor puede afectar a la presión máxima de contención y/o a los niveles de agua. Además de reducir la altura total 1030 (FIG. 10) del módulo 1000 de reactor, una vasija separable de contención, tal como la vasija superior 1050 de contención, puede reducir adicionalmente el

peso y la altura de flete del módulo 1000 del reactor. En algunos módulos ejemplares de reactor, se pueden eliminar varias toneladas de peso por cada 30 centímetros que se reduzca la altura total 1030 del módulo 1000 del reactor.

5 La FIG. 12 ilustra un procedimiento ejemplar 1200 de montaje de una placa integral de tubos. En la operación 1210, la placa integral de tubos puede ser soldada a una vasija a presión del reactor. En algunos ejemplos, la placa integral de tubos puede comprender una brida que está soldada a un cilindro inferior de la vasija.

En la operación 1220, una o más barras de soporte pueden ser soldadas a las vigas en voladizo de la placa de tubos y/o directamente a la placa integral de tubos. Las vigas en voladizo pueden comprender vigas radiales en voladizo para una pluralidad de soportes de tubos. Las vigas en voladizo pueden caber debajo de la placa integral de tubos.

10 En la operación 1230, se puede insertar una pluralidad de tubos en un plenum ubicado encima de la placa integral de tubos. En algunos ejemplos, el cilindro inferior puede ser soldado a la brida de la placa integral de tubos en la operación 1210 antes de insertar los tubos de transferencia de calor. En algunos ejemplos, las operaciones de tuberías pueden ser llevadas a cabo en el interior de la vasija a presión del reactor.

En la operación 1240, se pueden colocar los tubos de transferencia de calor en la placa integral de tubos y/o pueden estar soportados por la pluralidad de soportes de tubos.

15 En la operación 1250, la brida de la placa integral de tubos puede ser soldada a un cilindro superior de la vasija. En algunos módulos ejemplares de la RPV, un cilindro superior de la vasija puede comprender una cabeza del PZR que está soldada al cilindro inferior de la vasija.

20 Aunque los ejemplos proporcionados en la presente memoria pueden ser descritos y/o son compatibles con un reactor de agua a presión, debería ser evidente para un experto en la técnica que se pueden aplicar los ejemplos a otros tipos de sistemas de suministro eléctrico según se ha descrito o con alguna modificación evidente. Por ejemplo, también se puede hacer que los ejemplos o variaciones de los mismos sean operables con un reactor de agua en ebullición, un reactor refrigerado por metal líquido de sodio, un reactor de lecho de bolas, o un reactor diseñado para operar en un espacio, tal como en un sistema de propulsión con un espacio limitado de operación.

25 Otros ejemplos pueden incluir diversas tecnologías de reactor nuclear, tales como reactores nucleares que emplean óxidos de uranio, hidruros de uranio, nitruros de uranio, carburos de uranio, óxidos mixtos y/u otros tipos de combustible radiactivo. Se debería hacer notar que los ejemplos no están limitados a ningún tipo particular de mecanismo de refrigeración del reactor, ni a ningún tipo particular de combustible empleado para producir calor en un reactor nuclear, o asociado con el mismo. Cualquier tasa y valor descritos en la presente memoria son proporcionados únicamente a modo de ejemplo. Se pueden determinar otras tasas y otros valores mediante
30 experimentación, tal como mediante la construcción de modelos a escala o a escala real de un sistema de reactor nuclear.

Habiendo descrito e ilustrado diversos ejemplos en la presente memoria, debería ser evidente que se pueden modificar otros ejemplos en disposición y en detalle. Los inventores reivindican todas las modificaciones y las variaciones que se encuentren dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

35

REIVINDICACIONES

1. Una vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor para un reactor nuclear que tiene un sistema de control térmico, comprendiendo la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor:
- 5 una placa orientada horizontalmente y/o sustancialmente circular (410, 550, 750, 850, 940), en la que la placa (410, 550, 750, 850, 940) divide la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor en una región superior de la vasija a presión del reactor y en una región inferior de la vasija a presión del reactor, y en la que la placa (410, 550, 750, 850, 940) está configurada para proporcionar una barrera líquida y/o térmica entre un volumen (520) a presión ubicado en la región superior de la vasija a presión del reactor y un refrigerante primario (10) ubicado en la región inferior de la vasija a presión del reactor;
- 10 una pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor; y
- uno o más plenums (445, 710, 810) fijados a la placa (410, 550, 750, 850, 940) y ubicados en la región superior de la vasija a presión del reactor, proporcionando los uno o más plenums (445, 710, 810) un paso para que la pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor pase a través de la pared de la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor, pasando la pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor a través de la placa (410, 550, 750, 850, 940) y están configurados para permitir que un refrigerante secundario pase a través del refrigerante primario (10) ubicado en la región inferior de la vasija a presión del reactor sin que el refrigerante primario (10) y el refrigerante secundario se mezclen.
- 15 2. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que la región superior de la vasija a presión del reactor contiene al menos una porción de un sistema de refrigeración de emergencia del núcleo, y en la que la región inferior de la vasija a presión del reactor contiene un núcleo (6) del reactor sumergido en el refrigerante primario (10).
- 20 3. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que la pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor están conectados con la placa (410, 550, 750, 850, 940) debajo de los uno o más plenums (445, 710, 810).
4. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que la placa (410, 550, 750, 850) comprende una placa sustancialmente horizontal (410, 550, 750, 850) fijada a la pared de la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor, y en la que la pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor pasa a través de un número de agujeros pasantes ubicados en la placa horizontal (410, 550, 750, 850).
- 30 5. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor comprende una vasija superior a presión del reactor que aloja la región superior de la vasija a presión del reactor y una vasija inferior a presión del reactor que aloja la región inferior de la vasija a presión del reactor, y en la que la placa (410, 550, 750, 850, 940) comprende una brida superior (820) que se monta en la vasija superior a presión del reactor y una brida inferior (830) que se monta en la vasija inferior a presión del reactor.
- 35 6. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 5,
- 40 en la que la vasija superior a presión del reactor está separada de la vasija inferior a presión del reactor, cuando la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor está completamente montada, según una distancia entre la brida superior (820) y la brida inferior (830); y/o
- en la que la brida superior (820) forma una porción de la pared de la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor entre la vasija superior a presión del reactor y la vasija inferior a presión del reactor.
- 45 7. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 5, en la que una pared lateral (828) de la brida superior (820) se extiende desde la placa (410, 550, 750, 850, 940) hasta una altura que está por encima de los uno o más plenums (445, 710, 810).
8. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 7, en la que una porción inferior de los uno o más plenums (445, 710, 810) está soldada a la placa (410, 550, 750, 850, 940), y en la que un lado de los uno o más plenums (445, 710, 810) está soldado a la pared lateral (828) de la brida superior (820).
- 50 9. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 5, en la que la vasija superior a presión del reactor está soldada a una superficie superior (824) de la brida superior (820), y en la que la vasija inferior a presión del reactor está soldada a una superficie inferior (834) de la brida inferior (830).
- 55 10. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que la placa (410, 550, 750, 850, 940) comprende un número de orificios (670) que están configurados para permitir, de forma controlable,

que pase el refrigerante primario (10) a través de la placa (410, 550, 750, 850, 940) a la región superior de la vasija a presión del reactor y que recircule nuevamente a la región inferior de la vasija a presión del reactor.

5 11. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 10, en la que los orificios (670) están configurados, además, en una posición cerrada, para prohibir que el refrigerante primario (10) pase a través de la placa (410, 550, 750, 850, 940).

12. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, en la que los uno o más plenums (445, 710, 810) comprenden una placa sustancialmente vertical fijada a la pared de la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor, y en la que la pluralidad de tubos (930) de transferencia de calor pasan a través de un número de agujeros pasantes ubicados en la placa vertical.

10 13. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 12, en la que la placa vertical forma una porción de la pared de la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor.

15 14. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 1, que comprende, además, una vasija (4, 1050, 1075) de contención configurada para alojar la vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor, en la que un diámetro externo de una porción superior (1050) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención ubicada encima de la placa (410, 550, 750, 850, 940) es menor que un diámetro externo de una porción inferior (1075) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención.

20 15. La vasija (2, 52, 425, 510, 700, 900) a presión del reactor de la reivindicación 14, en la que el diámetro externo de la porción superior (1050) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención es inferior a la mitad del diámetro externo de la porción inferior (1075) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención; y/o

25 que comprende, además, una pluralidad de barras de control que están suspendidas de la porción superior (1050) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención y pasan a través de la placa (410, 550, 750, 850, 940) a la región inferior de la vasija a presión del reactor ubicada en la porción inferior (1075) de la vasija (4, 1050, 1075); y/o

en la que la porción superior (1050) de la vasija (4, 1050, 1075) de contención forma una cúpula con forma de pezón en una porción inferior (1075) con forma cilíndrica de la vasija (4, 1050, 1075) de contención.

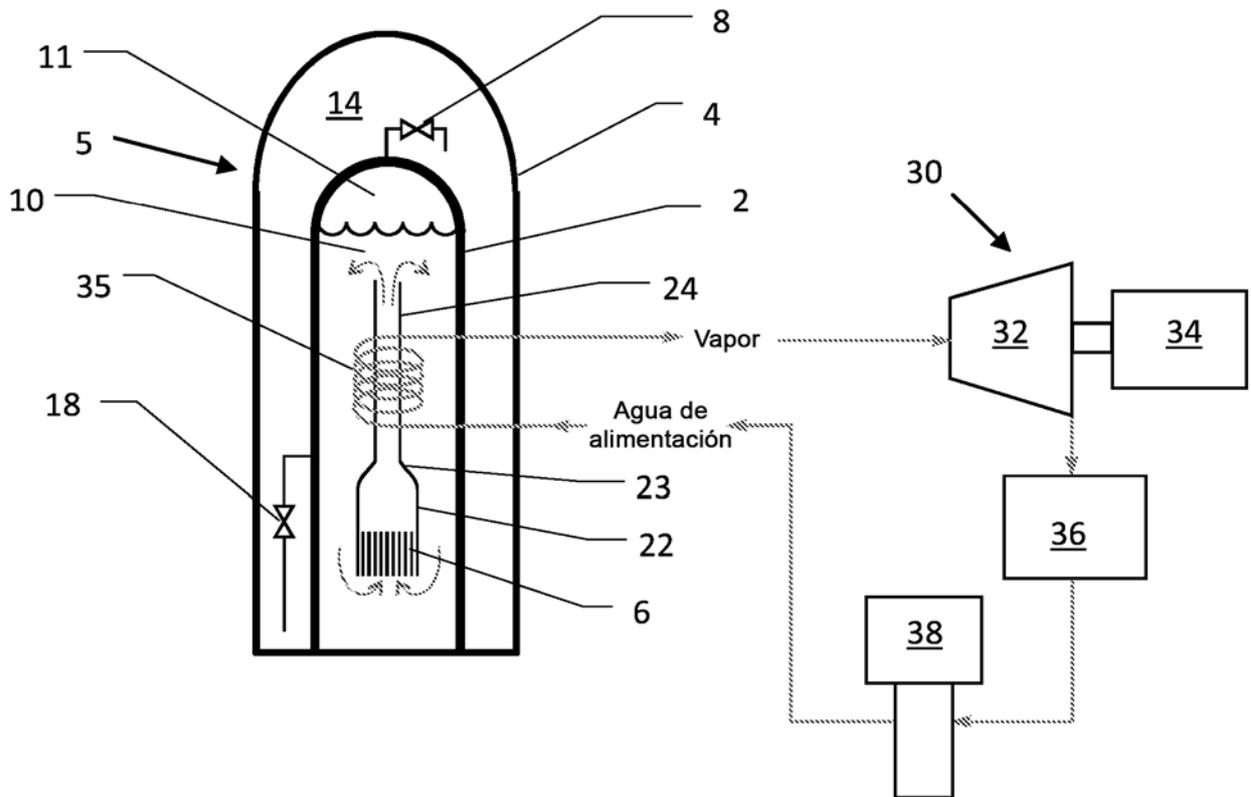


FIG. 1

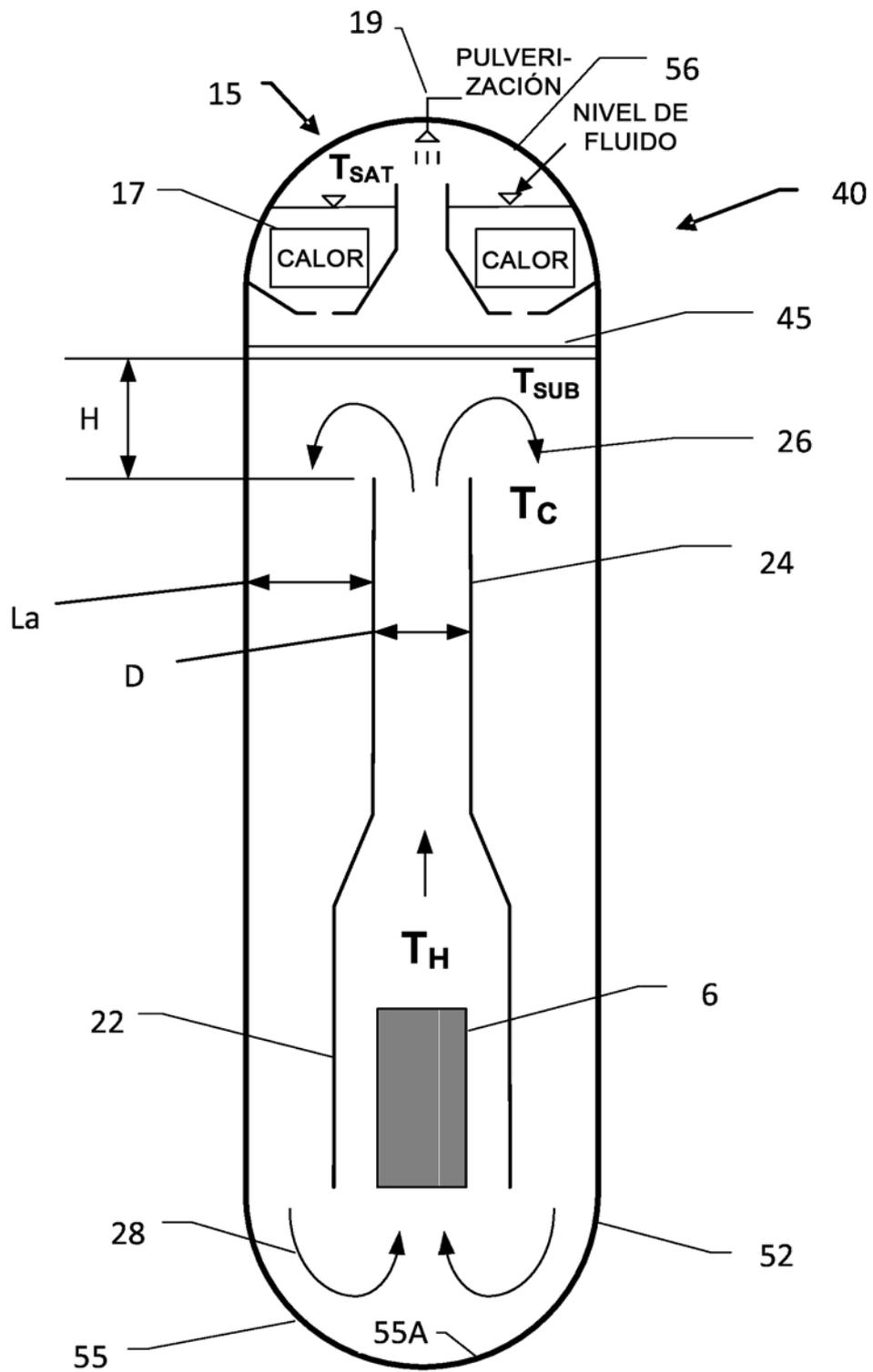


FIG. 2

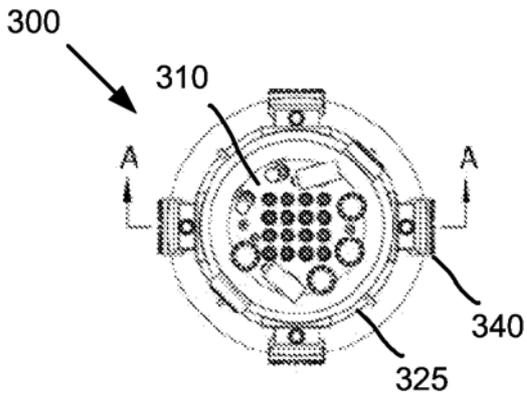


FIG. 3A

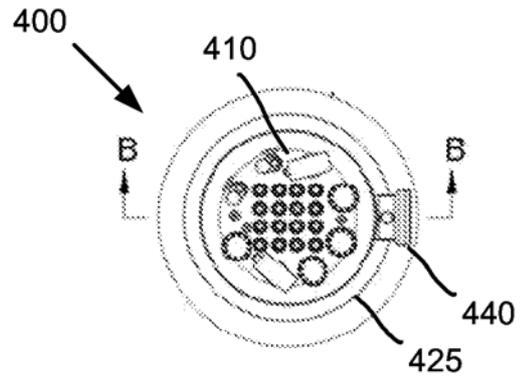


FIG. 4A

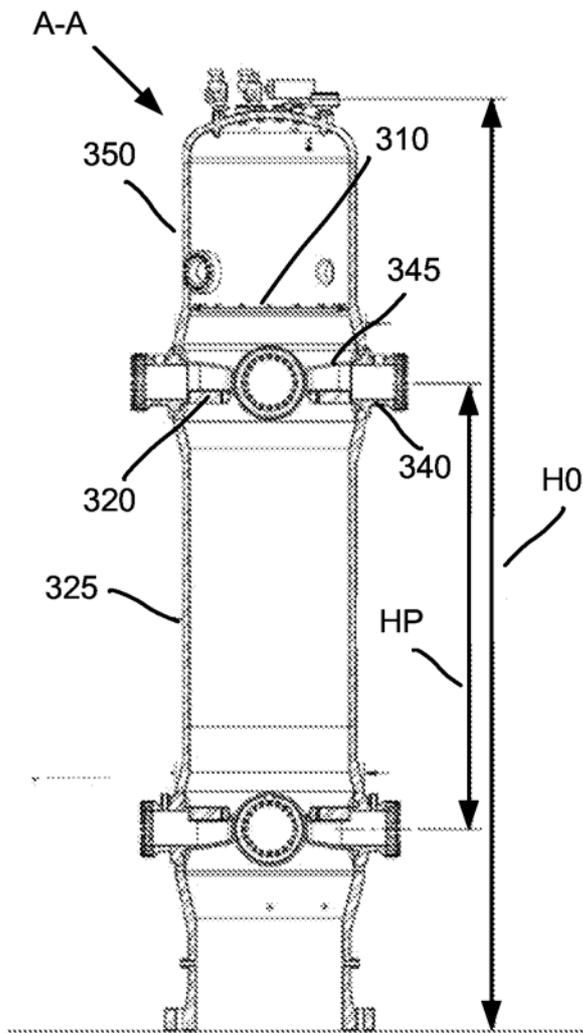


FIG. 3B

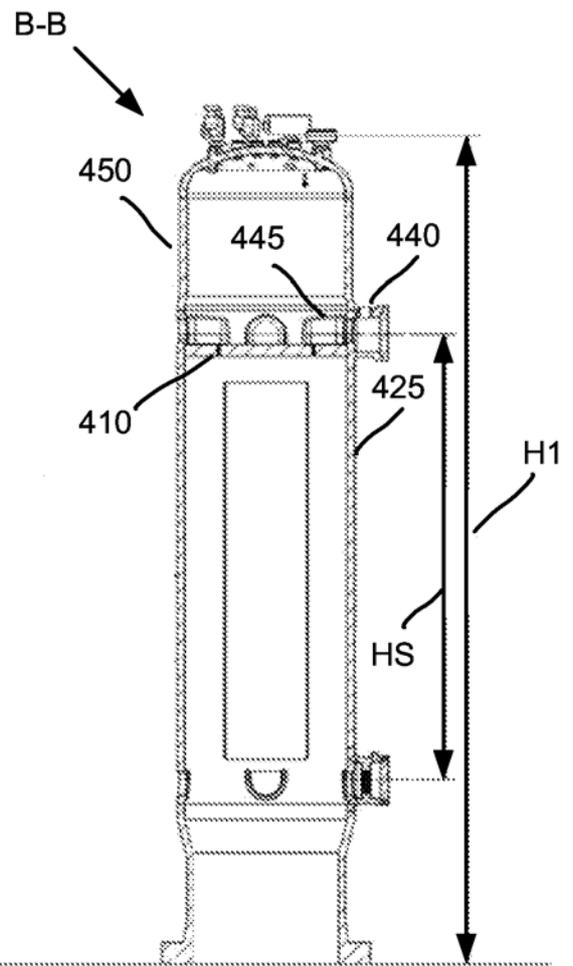


FIG. 4B

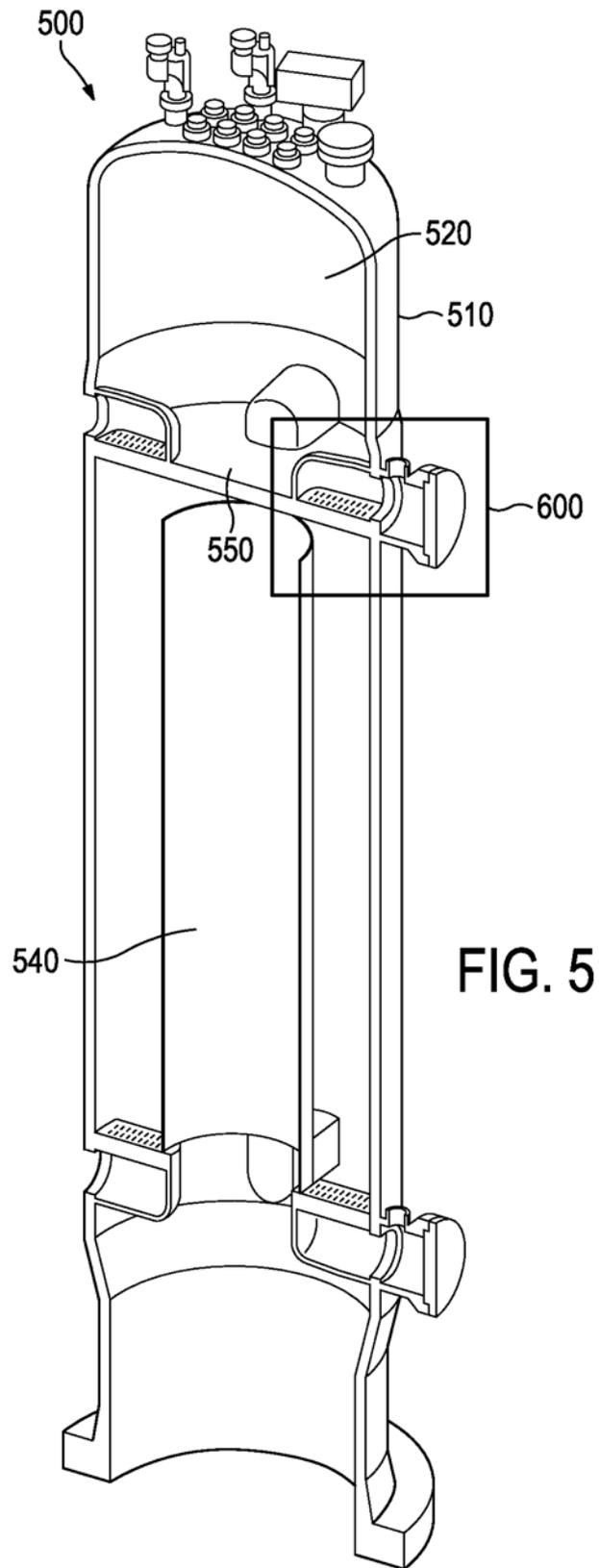


FIG. 5

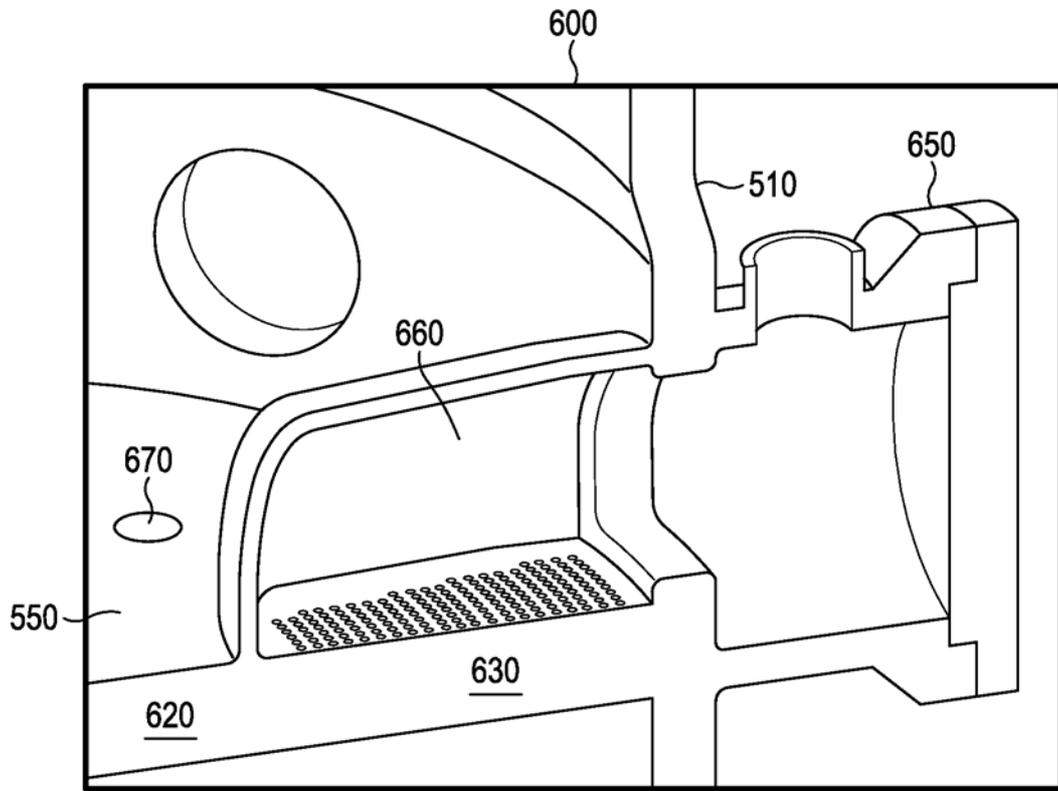


FIG. 6

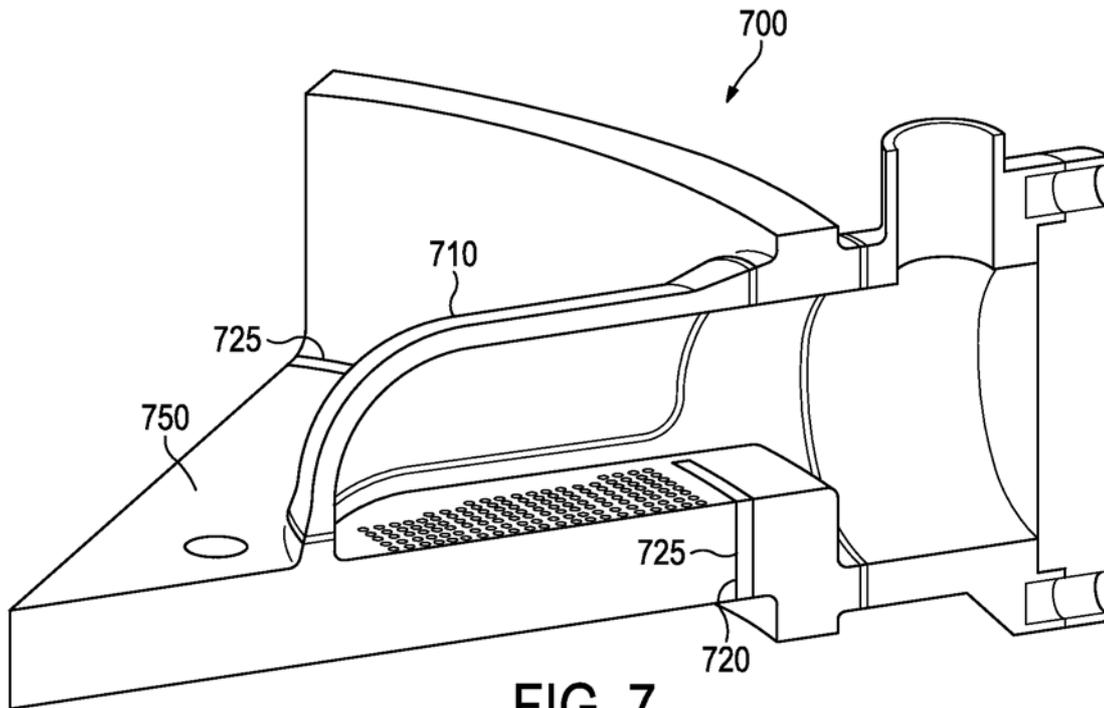
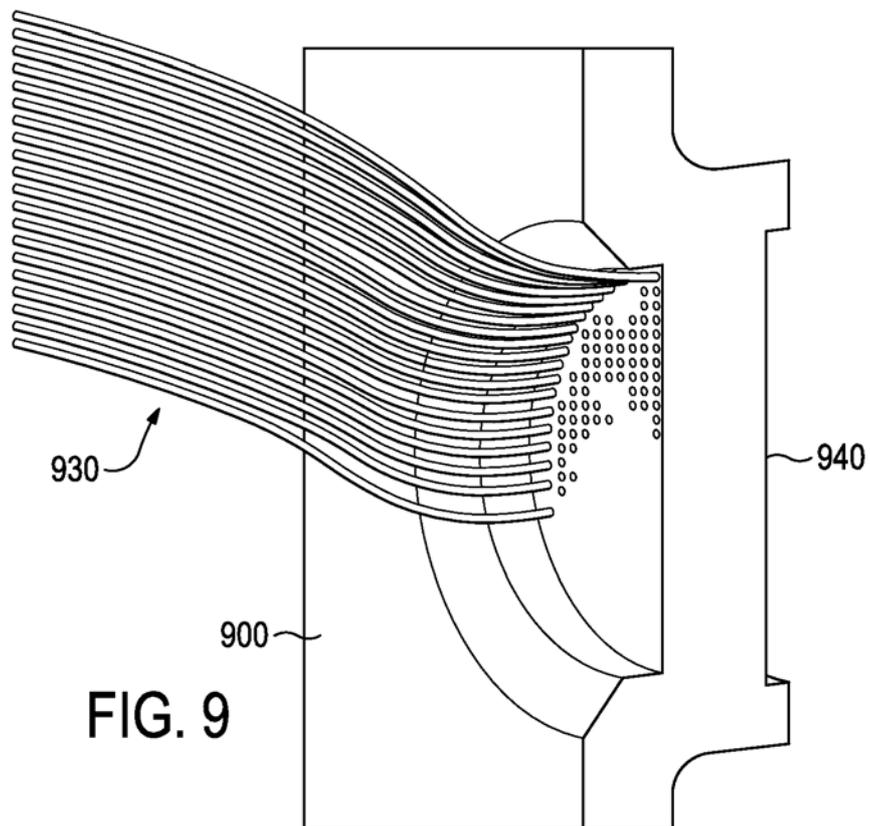
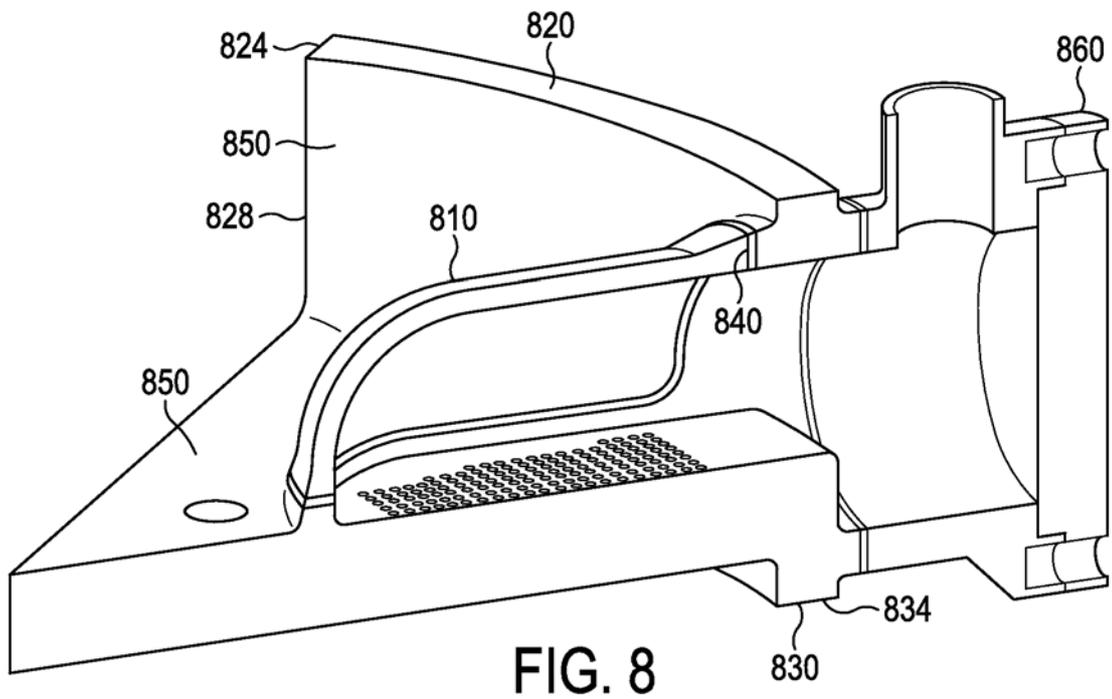


FIG. 7



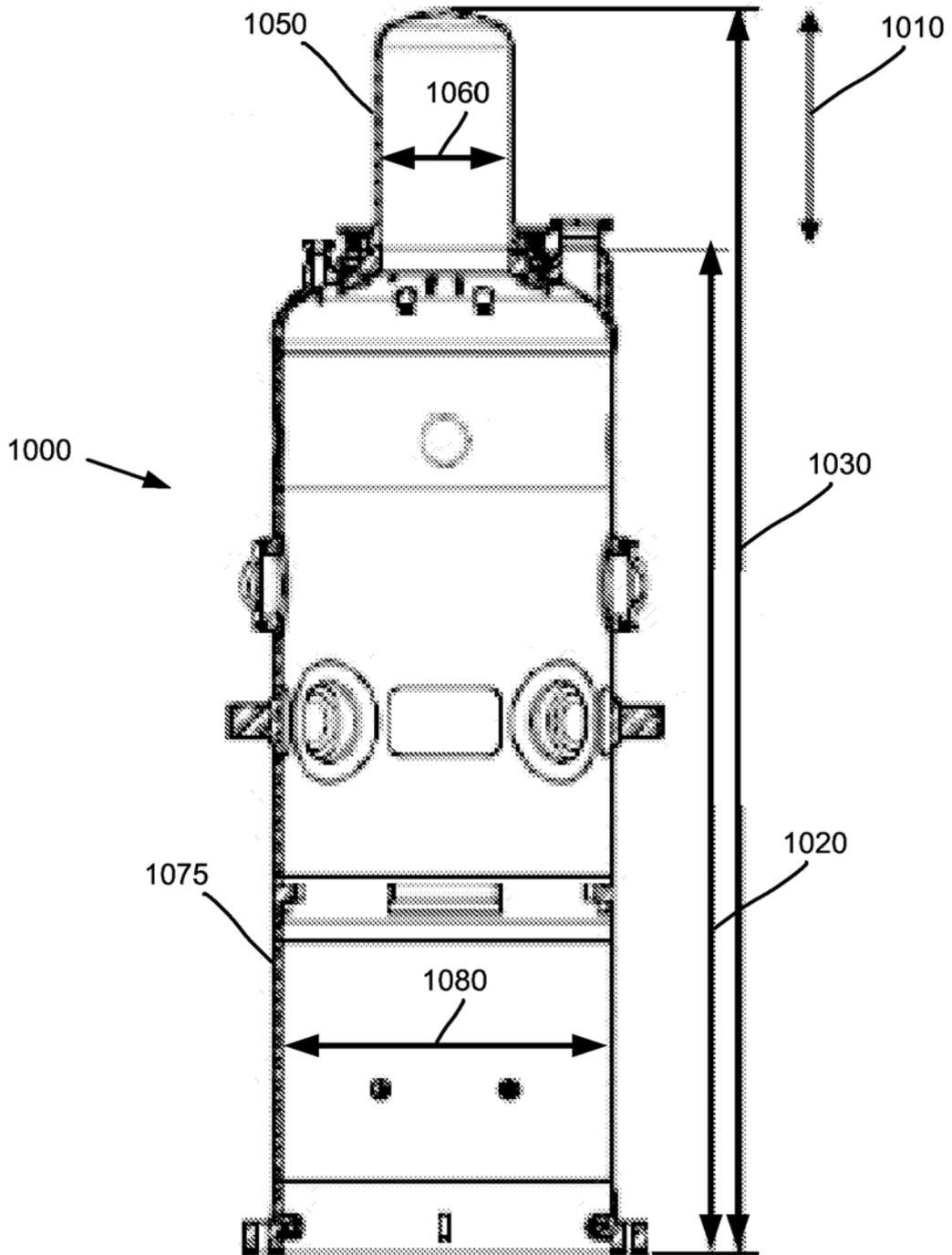


FIG. 10

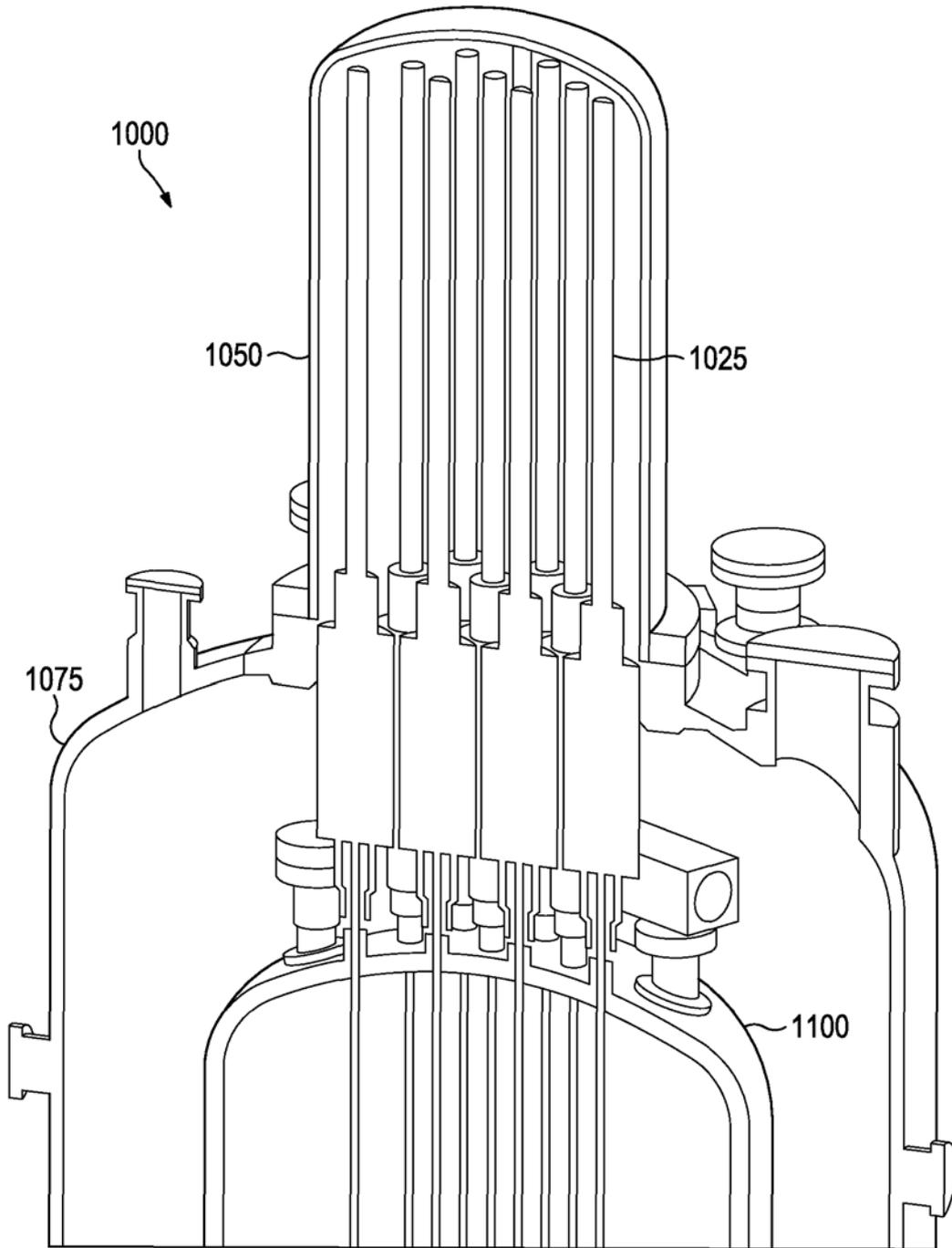


FIG. 11

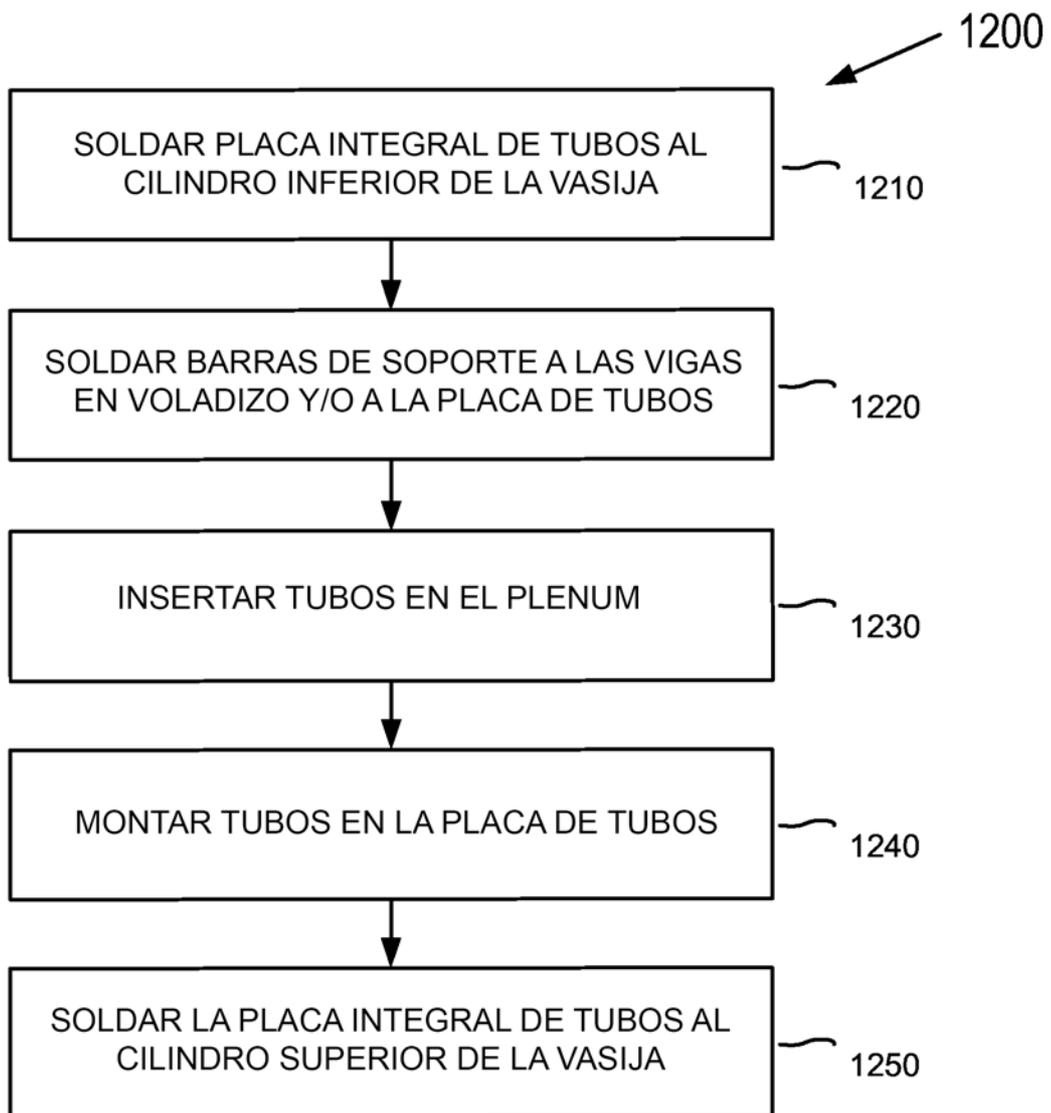


FIG. 12