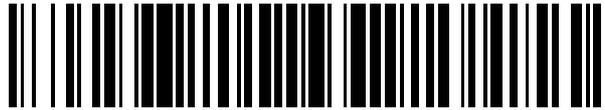


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 958**

51 Int. Cl.:

G21C 1/32 (2006.01)

G21C 15/26 (2006.01)

G21C 15/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2009 E 09760391 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.09.2014 EP 2366180**

54 Título: **Sistema de derivación de flujo de un generador de vapor**

30 Prioridad:

17.11.2008 US 272175

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

03.12.2014

73 Titular/es:

**NUSCALE POWER, LLC (100.0%)
1000 NE Circle Blvd., Suite 10310
Corvallis, OR 97330, US**

72 Inventor/es:

**YOUNG, ERIC PAUL;
GROOME, JOHN T. y
REYES, JOSÉ N., JR.**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 523 958 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de derivación del flujo de un generador de vapor.

Campo técnico

La invención versa acerca de un sistema para eliminar calor de desintegración de un reactor nuclear.

5 Antecedentes

En los reactores nucleares diseñados con sistemas operativos pasivos, se emplean las leyes de la física para garantizar que se mantiene una operación segura del reactor nuclear durante la operación normal o incluso en una condición de emergencia sin la intervención ni supervisión de un operario, al menos durante algún periodo predefinido de tiempo. Un reactor nuclear 5 incluye un núcleo 6 del reactor nuclear rodeado por una vasija 2 del reactor. El agua 10 en la vasija 2 del reactor rodea el núcleo 6 del reactor nuclear. El núcleo 6 del reactor nuclear está ubicado, además, en una envuelta 122 que rodea el núcleo 6 del reactor nuclear en torno a sus lados. Cuando se calienta el agua 10 por medio del núcleo 6 del reactor como resultado de incidentes de fisión, se dirige el agua 10 desde la envuelta 122 y saliendo por un tubo ascendente 124. Esto tiene como resultado que agua adicional 10 sea aspirada y calentada por el núcleo 6 del reactor nuclear, que aspira aún más agua 10 al interior de la envuelta 122. El agua 10 que sale del tubo ascendente 124 es refrigerada y dirigida hacia la zona anular 124 y luego vuelve a la parte inferior de la vasija 2 del reactor mediante una circulación natural. Se produce vapor 11 a presión en la vasija 2 del reactor según se calienta el agua 10.

Un intercambiador 35 de calor hace circular agua de alimentación y vapor en un sistema secundario 30 de refrigeración para generar electricidad con una turbina 32 y un generador 34. El agua de alimentación pasa a través del intercambiador 35 de calor y se convierte en vapor sobrecalentado. El sistema secundario 30 de refrigeración incluye un condensador 36 y una bomba 38 de agua de alimentación. El vapor y el agua de alimentación en el sistema secundario 30 de refrigeración están aislados del agua 10 en la vasija 2 del reactor, de forma que no se permite que se mezclen ni hagan contacto entre sí.

La vasija 2 del reactor está rodeada por una vasija 4 de contención. La vasija 4 de contención está diseñada de forma que no se permita que el agua o el vapor procedente de la vasija 2 del reactor escape al interior del entorno circundante. Se proporciona una válvula 8 de vapor para expulsar vapor 11 de la vasija 2 del reactor al interior de una mitad superior 14 de la vasija 4 de contención. Se proporciona una válvula sumergida 18 de purga para liberar el agua 10 al interior de la piscina 12 de supresión que contiene agua subenfriada.

Durante una pérdida de flujo de agua de alimentación, el reactor nuclear 5 está diseñado para responder parando bruscamente el núcleo 6 del reactor nuclear, inundando la vasija 4 de contención o despresurizando la vasija 2 del reactor. Estas últimas dos respuestas tienen como resultado que el reactor nuclear 5 sea parado y no pueda generar electricidad durante un periodo prolongado de tiempo. Además, durante una condición de pérdida de refrigerante en la que se expulsa refrigerante de la vasija 2 del reactor, se reduce un flujo de refrigerante a través del núcleo 6 del reactor. Esto aumenta el tiempo necesario para hacer que las temperaturas del núcleo del reactor nuclear 35 desciendan hasta un nivel deseado.

La presente invención aborda estos y otros problemas.

La patente U.S. nº 4.554.129 da a conocer un reactor nuclear refrigerado por gas que tiene un núcleo central ubicado en la porción inferior de una vasija de hormigón del reactor. El núcleo está rodeado por una envuelta metálica que tiene una sección tubular vertical de una altura tal que se extiende ligeramente por encima de la parte superior del núcleo. Hay ubicado un intercambiador de calor por encima de la envuelta. Gas a alta temperatura procedente del núcleo fluye ascendentemente a través de una tubería central del intercambiador de calor y luego descendentemente a través de un paso anular circundante frente a conductos de transferencia de calor. Hay ubicado un medio de válvula de desviación en la parte superior de cada intercambiador. Tras la detección de una emergencia, se hace que se abra el medio de válvula de desviación de forma que pueda entrar refrigerante, después de haber pasado a través de la tubería central del intercambiador de calor, en un paso externo.

El artículo "Testing of the Multi-Application Small Light Water Reactor (MASLWR) Passive Safety Systems" de J. Reyes y otros., Nuclear Engineering and Design, vol. 237, nº 18, agosto de 2007, páginas 1999-2005, da a conocer un concepto de diseño para un reactor nuclear de agua ligera a presión que utiliza una circulación natural tanto en una operación normal como transitoria.

50 El documento FR 1 445 877 A da a conocer un diseño de un reactor nuclear.

La presente invención está definida por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes se refieren a características opcionales de algunas realizaciones de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra un sistema de energía nuclear.

La FIG. 2 ilustra un conjunto modular de potencia que comprende una vasija de contención seca internamente.

5 La FIG. 3 ilustra el conjunto modular de potencia de la FIG. 2 durante una operación de emergencia.

La FIG. 4 ilustra una realización de un módulo de potencia que comprende un sistema de derivación del flujo del generador de vapor durante una operación de emergencia.

10 La FIG. 5 ilustra una realización de un módulo de potencia que comprende un sistema de derivación del flujo del generador de vapor durante condiciones de operación normal.

La FIG. 6A ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor durante condiciones de operación normal.

15 La FIG. 6B ilustra una realización del sistema de derivación del flujo del generador de vapor de la FIG. 6A durante una operación de apagado.

20 La FIG. 7 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor que comprende un paso.

La FIG. 8 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una válvula.

25 La FIG. 9 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una o más placas difusoras.

La FIG. 10 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor que comprende un paso activado por temperatura.

30 La FIG. 11 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una válvula esférica de retención.

35 La FIG. 12 ilustra una realización de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor accionado por medio de varillas de control.

La FIG. 13 ilustra una realización alternativa de un sistema de derivación del flujo del generador de vapor accionado por medio de varillas de control.

40 La FIG. 14 ilustra un procedimiento novedoso para refrigerar un núcleo del reactor utilizando un sistema de derivación del flujo del generador de vapor.

Sumario de la invención

45 Se da a conocer un conjunto modular de potencia que comprende un alojamiento del reactor, un núcleo de reactor ubicado en una porción inferior del alojamiento del reactor, y un intercambiador de calor ubicado proximalmente en torno a una porción superior del alojamiento del reactor. El refrigerante primario fluye fuera del alojamiento del reactor a través de la porción superior, y el refrigerante primario fluye al interior del alojamiento del reactor a través de la porción inferior. El conjunto modular de potencia comprende, además, un paso proporcionado en el alojamiento del reactor entre la porción inferior y la porción superior, en el que el paso está configurado para proporcionar un flujo auxiliar de refrigerante primario al núcleo del reactor para aumentar el flujo del refrigerante primario fuera de la porción superior del alojamiento del reactor y al interior de la porción inferior.

50 Se da a conocer un módulo de reactor nuclear que comprende una vasija del reactor y un alojamiento del reactor montado en el interior de la vasija del reactor, en el que el alojamiento del reactor comprende una envuelta y un tubo ascendente ubicado por encima de la envuelta. Hay ubicado un intercambiador de calor proximalmente en torno al tubo ascendente, y hay ubicado un núcleo del reactor en la envuelta. El módulo de reactor nuclear comprende, además, el paso configurado para proporcionar un recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario hasta el núcleo del reactor para aumentar un recorrido de flujo primario del refrigerante primario fuera del tubo ascendente y al interior de la envuelta, en el que el recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario sale del alojamiento del reactor sin pasar por el intercambiador de calor.

60 Se da a conocer un procedimiento para refrigerar un reactor nuclear. Se hace circular un refrigerante primario a través del alojamiento del reactor que comprende un tubo ascendente superior y una envuelta inferior. Un recorrido de flujo primario del refrigerante primario pasa por el intercambiador de calor ubicado proximalmente en torno al tubo ascendente, y el refrigerante primario entra en la envuelta inferior. Se detecta un accidente con pérdida de

refrigerante (LOCA) o un incidente de despresurización, y se reduce un nivel de fluido del refrigerante primario por debajo de la parte superior del tubo ascendente. El recorrido de flujo primario del refrigerante primario sale del tubo ascendente como vapor. Se hace circular refrigerante primario por un recorrido de flujo auxiliar a través de un paso auxiliar proporcionado en el alojamiento del reactor, en el que el recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario sale del alojamiento del reactor sin pasar por el intercambiador de calor. Se combina el refrigerante primario procedente del recorrido de flujo auxiliar con el refrigerante primario procedente del recorrido de flujo primario que entra en la envuelta inferior.

La invención será más inmediatamente evidente a partir de la siguiente descripción detallada de una realización preferente de la invención que prosigue con referencia a los dibujos adjuntos.

10 Descripción de realizaciones ejemplares

La FIG. 2 ilustra un conjunto modular 50 de potencia que comprende una vasija 54 de contención seca internamente. La vasija 54 de contención tiene una forma cilíndrica, y tiene extremos superior e inferior esféricos, convexos o elipsoidales. Todo el conjunto modular 50 de potencia puede estar sumergido en una piscina de agua 16 que hace de disipador de calor eficaz. La piscina de agua 16 y la vasija 54 de contención pueden estar ubicadas por debajo del suelo 9 en una dársena 7 de reactor. La vasija 54 de contención puede estar soldada o sellada de otra manera al entorno, de forma que los líquidos y gases no se escapen del conjunto modular 50 de potencia, o entren en el mismo. La vasija 54 de contención puede estar soportada sobre cualquier superficie externa.

En una realización, la vasija 54 de contención está suspendida en la piscina de agua 16 por medio de una o más conexiones 80 de montaje. Hay ubicada una vasija 52 del reactor en el interior de la vasija 54 de contención. Una superficie interna de la vasija 52 del reactor puede estar expuesta a un entorno húmedo que incluye un refrigerante 100 o líquido, tal como agua, y una superficie externa puede estar expuesta a un entorno seco tal como aire. La vasija 52 del reactor puede estar fabricada de acero inoxidable o de acero al carbono, puede incluir una vaina, y puede estar soportada en el interior de la vasija 54 de contención.

El conjunto modular 50 de potencia puede estar dimensionado de forma que pueda ser transportado sobre un automotor. Por ejemplo, la vasija 54 de contención puede ser construida para que tenga un diámetro de aproximadamente 4,3 metros y una altura (longitud) de 17,7 metros. La recarga del núcleo 6 del reactor puede llevarse a cabo transportando todo el conjunto modular 50 de potencia por medio de automotor o por vía marítima, por ejemplo, y sustituirlo por un conjunto modular de potencia nuevo o reacondicionado que tenga un suministro nuevo de varillas de combustible.

La vasija 54 de contención encapsula y, en algunas condiciones, refrigera el núcleo 6 del reactor. Es relativamente pequeña, tiene una resistencia elevada y puede ser capaz de soportar seis o siete veces la presión de diseños convencionales de contención debido, en parte, a sus menores dimensiones totales. Si se produce una rotura en el sistema primario de refrigeración del conjunto modular 50 de potencia no se liberan productos de fisión al entorno. Se puede eliminar calor de desintegración del conjunto modular 50 de potencia en condiciones de emergencia.

Se ilustra que el núcleo 6 del reactor está sumergido o inmerso en un refrigerante primario 100, tal como agua. La vasija 52 del reactor aloja el refrigerante 100 y el núcleo 6 del reactor. Un alojamiento 20 del reactor comprende una envuelta 22 en una porción inferior y un tubo ascendente 24 en una porción superior del alojamiento 20 del reactor. La envuelta 22 rodea el núcleo 6 del reactor en torno a sus lados y sirve para dirigir el refrigerante 100 (mostrado como el flujo refrigerante 65, 67) ascendentemente a través del tubo ascendente 24 ubicado en la mitad superior de la vasija 52 del reactor como un resultado de una circulación natural del refrigerante 100. En una realización, la vasija 52 del reactor tiene un diámetro de aproximadamente 2,7 metros e incluye una altura (longitud) total de 13,7 metros. La vasija 52 del reactor puede incluir una forma predominantemente cilíndrica con extremos superior e inferior elipsoidales, convexos o esféricos. La vasija 52 del reactor se encuentra normalmente a una presión y a una temperatura operativas. La vasija 54 de contención está seca internamente y puede operar a una presión atmosférica con temperaturas de pared a la temperatura, o cerca de la misma, de la piscina de agua 16.

La vasija 54 de contención rodea sustancialmente la vasija 52 del reactor y puede proporcionar un entorno seco, vaciado o gaseoso identificado como la región 44 de contención. La región 44 de contención puede comprender una cantidad de aire u otro gas de relleno, tal como argón u otro gas noble. La vasija 54 de contención incluye una superficie interna 55 o pared interna que es adyacente a la región 44 de contención. La región 44 de contención puede incluir uno o más gases en vez de aire, o además del mismo. En una realización, se mantiene la región 44 de contención a presión atmosférica, o por debajo de la misma, por ejemplo como un vacío parcial. Se pueden eliminar el o los gases en la vasija de contención de forma que la vasija 52 del reactor se encuentre ubicada en un vacío completo o parcial en la región 44 de contención.

Durante una operación normal, la energía térmica procedentes de los incidentes de fisión en el núcleo 6 del reactor provoca que se caliente el refrigerante 100. Según se calienta el refrigerante 100, se vuelve menos denso y tiende a ascender por el tubo ascendente 24. Según se reduce la temperatura del refrigerante 100, se vuelve relativamente más denso que el refrigerante calentado y es hecho circular en torno al exterior de la zona anular 23, descendiendo hasta la parte inferior de la vasija 52 del reactor y ascendiendo a través de la envuelta 22 para ser calentado de

nuevo por el núcleo 6 del reactor. Esta circulación natural provoca que el refrigerante 100 (mostrado como el flujo refrigerante 65) realice un ciclo a través del intercambiador 35 de calor, transfiriendo calor a un refrigerante secundario, tal como el sistema secundario 30 de refrigeración de la FIG. 1 para generar electricidad.

5 La FIG. 3 ilustra el conjunto modular 50 de potencia de la FIG. 2 durante una operación de emergencia. La operación de emergencia puede incluir una respuesta a un sobrecalentamiento del núcleo 6 del reactor, o un incidente de sobrepresurización de la vasija 52 del reactor, por ejemplo. Durante algunas operaciones de emergencia, la vasija 6 del reactor puede estar configurada para liberar el refrigerante 100 al interior de la región 44 de contención de la vasija por otra parte seca 54 de contención. Se puede eliminar el calor de desintegración del núcleo 6 del reactor por medio de la condensación del refrigerante 100 sobre la superficie interna 55 de la vasija 54 de contención. Mientras que la vasija 54 de contención puede estar sumergida en una piscina de agua 16, la superficie interna 55 de la vasija 54 de contención puede estar completamente seca antes de la operación de emergencia o del incidente de sobrepresurización.

15 Puede haber montado un limitador 58 del flujo o un orificio de evacuación de vapor en la vasija 52 del reactor para expulsar el refrigerante 100 al interior de la vasija 54 de contención durante la operación de emergencia. El refrigerante 100 puede ser liberado al interior de la vasija 54 de contención como vapor 41, tal como vapor. El limitador 58 de flujo puede estar conectado o montado directamente en una pared externa de la vasija 52 del reactor, sin ninguna estructura intermedia tales como conductos o conexiones. La condensación del vapor 41 puede reducir la presión en la vasija 54 de contención con aproximadamente la misma velocidad a la que añade presión el vapor evacuado 41 a la vasija 54 de contención.

20 El refrigerante 100 que es liberado como vapor 41 al interior de la vasija 54 de contención se condensa sobre la superficie interna 55 de la vasija 54 de contención como líquido. La condensación del vapor 41 provoca que se reduzca la presión en la vasija 54 de contención, dado que se transforma el vapor 41 en el refrigerante líquido 100. Se puede eliminar una cantidad suficiente de calor del conjunto modular 50 de potencia mediante la condensación del vapor 41 sobre la superficie interna 55 de la vasija de contención para gestionar la eliminación de calor de desintegración procedente del núcleo 6 del reactor. En una realización, no se libera el refrigerante líquido 100 de la vasija 52 del reactor incluso durante una operación de emergencia. El refrigerante condensado 100 desciende hasta la parte inferior de la vasija 54 de contención y se recoge como una piscina de líquido. Según se condensa más vapor 41 en la superficie interna 55, aumenta progresivamente el nivel del refrigerante 100 en la parte inferior de la vasija 54 de contención. El calor almacenado en el vapor 41 es transferido a través de las paredes de la vasija 54 de contención al interior de la piscina de agua 16 que actúa como un disipador de calor definitivo. El calor almacenado en el refrigerante 100 ubicado en la parte inferior de la vasija 54 de contención es transferido mediante convección de líquido y transferencia de calor por conducción sobre la superficie interna 55.

35 El calor eliminado del vapor 41 puede ser transferido a la superficie interna 55 relativamente fría mediante condensación en las paredes internas de la vasija fría 54 de contención y mediante una convección natural desde el refrigerante caliente a la superficie interna 55. Se puede transferir calor a la piscina de agua 16 mediante conducción a través de las paredes de la vasija de contención y mediante una convección natural en una superficie externa de la vasija 54 de contención. El refrigerante 100 permanece confinado en el interior del conjunto modular 50 de potencia después de que se sobrecalienta el núcleo 6 del reactor y durante la operación de emergencia. El calor transferido a la piscina de agua 16 puede proporcionar una eliminación pasiva adecuada de calor de desintegración durante tres días o más sin ninguna intervención del operario.

40 La vasija 54 de contención puede estar diseñada para soportar la presión máxima que se produciría si se diese una liberación instantánea del flujo a alta presión procedente de la vasija 52 del reactor al interior de la vasija 54 de contención. La presión en el interior de la vasija 54 de contención puede estar diseñada para que se equilibre aproximadamente con la presión en el interior de la vasija 52 del reactor, reduciendo el flujo de rotura causado por la diferencia de presión y teniendo como resultado un nivel 100A de refrigerante en la vasija 52 del reactor y un nivel 100B de refrigerante en la vasija 54 de contención como se muestra en la FIG. 3. Se muestra el nivel 100B de refrigerante con respecto al nivel 100A de refrigerante debido a una cantidad de fuerza hidrostática de accionamiento requerida para un flujo a través de las válvulas inferiores 57 de vuelta al interior de la vasija 52 del reactor. También pueden existir diferencias en los niveles 100A y 100B de refrigerante debidas a una diferencia de presión en la vasija 52 del reactor con respecto a la vasija 54 de contención debida a la caída de presión de la válvula 58 de flujo del vapor. La FIG. 3 muestra que los niveles 100A y 100B de refrigerante pueden equilibrarse como resultado de una cabeza hidrostática generada por un desequilibrio de los niveles de refrigerante. El nivel 100A de refrigerante en la vasija 52 del reactor permanece por encima de la parte superior del núcleo 6 del reactor, manteniendo cubierto el núcleo 6 del reactor con refrigerante 100 en todo momento. Se mantiene el nivel 100A de refrigerante por medio de vapor que es emitido desde el tubo ascendente 24 (mostrado como el flujo 42 de refrigerante) que se condensa sobre la superficie inferior 55 de la vasija 52 del reactor antes de acumularse en la parte inferior de la vasija 52 del reactor para volver a hacerlo circular a través del núcleo 6 del reactor.

55 Se puede proporcionar una válvula 57 de paso para permitir que el refrigerante 100 fluya desde la vasija 54 de contención de vuelta al interior de la vasija 52 del reactor una vez que se consigue una condición apropiada o predeterminada de los niveles 100A, 100B de refrigerante. El refrigerante 100 que se permite que vuelva a entrar en

60

la vasija 52 del reactor a través de la válvula 57 de paso rellena el refrigerante 100 que fue evacuado como vapor 41 a través del limitador 58 de flujo. El flujo de refrigerante 100 a través de la válvula 57 de paso puede ser conseguido mediante la circulación natural del sistema pasivo debido a los distintos niveles de refrigerante y densidades de refrigerante que son consecuencia de las diferencias de temperatura y del flujo de refrigerante por la válvula en las vasijas 52, 54.

Aunque puede ser comercial o técnicamente poco práctico conseguir o mantener un vacío completo o perfecto, se puede crear un vacío parcial en la vasija 54 de contención. Por lo tanto, se comprende que cualquier referencia a un vacío en el presente documento es un vacío bien parcial o bien completo. En una realización, se mantiene la región 44 de contención a una presión de vacío que reduce significativamente la transferencia térmica convectiva y conductiva a través de los gases de contención. Al eliminar sustancialmente los gases de la región 44 de contención, por ejemplo al mantener un vacío en la vasija 54 de contención, se aumentan una tasa inicial al igual que las tasas subsiguientes de condensación de vapor 41 en la superficie interna 55. El aumento de la tasa de condensación aumenta la tasa de transferencia térmica a través de la vasija 54 de contención.

En el incidente de una pérdida del vacío en la región 44 de contención, el vapor o líquido introducido proporciona un mecanismo pasivo adicional de refrigeración de seguridad para transferir calor entre la vasija 52 del reactor y la vasija 54 de contención mediante una convección natural. Por ejemplo, al reducir o eliminar el aislamiento térmico, por ejemplo el proporcionado por un vacío, se puede realizar una transferencia térmica más eficaz desde la vasija 52 del reactor durante una operación de emergencia debido al refrigerante líquido condensado 100 que se acumula en la parte inferior de la vasija 54 de contención. El calor es transferido desde la vasija 52 del reactor a través del refrigerante líquido 100 hasta la vasija 54 de contención.

La FIG. 4 ilustra una realización de un conjunto modular 40 de potencia que comprende un sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor según la invención durante una operación de emergencia, tal como un accidente con pérdida de refrigerante (LOCA) o un incidente de sobrepresurización. Aunque se describe el conjunto modular 40 de potencia con referencia a realizaciones ilustradas en las FIGURAS 2-3, se debería comprender que se podrían aplicar muchas o todas de las características al sistema de energía nuclear descrito con respecto a la FIG. 1 al igual que a sistemas convencionales de potencia.

Hay montado un alojamiento 20 del reactor en el interior de la vasija 52 del reactor, comprendiendo el alojamiento 20 del reactor la envuelta 22 y el tubo ascendente 24 ubicado por encima de la envuelta 20. El intercambiador 35 de calor está ubicado proximalmente en torno al tubo ascendente 24. El núcleo 6 del reactor está ubicado en la envuelta 22. Se muestra que el tubo ascendente 24 ilustrado está fijado a la vasija 52 del reactor por medio de un miembro superior 41 de fijación, mientras que se muestra que la envuelta ilustrada está fijada a la vasija 52 del reactor por medio de un miembro inferior 43 de fijación.

El sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor está configurado para proporcionar un flujo auxiliar 48 de refrigerante primario al núcleo 6 del reactor para aumentar un flujo del refrigerante primario 100 fuera del tubo ascendente 24 y al interior de la envuelta 22. El flujo auxiliar 48 de refrigerante primario sale del alojamiento 20 del reactor sin pasar por el intercambiador 35 de calor. El sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor puede proporcionar una conexión hidráulica a través de uno o más componentes del alojamiento 20 del reactor. En una realización, el sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor proporciona una conexión hidráulica a través de la zona anular (ref. 123 de la FIG. 1) ubicada entre el tubo ascendente 24 y la envuelta 22.

El flujo 42 de refrigerante fuera de la porción superior (por ejemplo, el tubo ascendente 24) del alojamiento 20 del reactor comprende vapor, comprendiendo el flujo auxiliar 48 de refrigerante primario una mezcla de refrigerante de dos fases, tal como agua en ebullición. El flujo 42 de refrigerante que sale del tubo ascendente 24 puede comprender menos refrigerante 100 por caudal másico en comparación con el flujo 67 de refrigerante (FIG. 2) durante operaciones normales (por ejemplo, una operación a plena potencia). Por lo tanto, el flujo auxiliar 48 puede servir para formar parte del caudal perdido, de forma que se aumente el flujo 46 de refrigerante que entra en la envuelta 22 hasta el mismo caudal, o casi, que el flujo 65 de refrigerante en la FIG. 2 durante una operación normal.

A diferencia del nivel 100N de refrigerante que se encuentra por encima de la salida o parte superior del tubo ascendente 24 mostrado en la FIG. 2 durante condiciones operativas normales, en la realización ilustrada por la FIG. 4 se muestra el nivel 100A de refrigerante por debajo de la parte superior del tubo ascendente 24 durante la operación de emergencia. Aunque se muestra el alojamiento 20 del reactor completamente sumergido en refrigerante primario 100 en la FIG. 2, el alojamiento 20 del reactor solo está sumergido parcialmente en el refrigerante 100, como se ilustra en la FIG. 4. El nivel del refrigerante primario 100 permanece por encima del paso 45 durante una operación normal, al igual que durante una operación anormal, una operación de parada o de emergencia, cuando se produce una derivación del generador de vapor.

Durante condiciones de operación normal, el flujo 65 de refrigerante puede comprender, predominantemente o exclusivamente, refrigerante de una fase, por ejemplo en un diseño de reactor de agua a presión (PWR). En consecuencia, un flujo de refrigerante de una fase circula a través del núcleo 6 del reactor como el flujo 65 de refrigerante y fuera del tubo ascendente 24 como el flujo 67 de refrigerante (véanse las FIGURAS 2 y 5). Esto

proporciona una transferencia térmica convectiva de una fase en la superficie de la vaina del combustible en el núcleo 6 del reactor.

5 Cuando se produce un LOCA y el nivel 100A de refrigerante cae por debajo de la parte superior del tubo ascendente 24, como se ilustra en la FIG. 4, se puede interrumpir el flujo de refrigerante de una fase. Cuando variaciones de presión o de temperatura permiten condiciones en las que se superan condiciones de saturación, puede producirse una transferencia térmica de cambio de fase. Puede desarrollarse un refrigerante de dos fases según pasa a través del núcleo 6 del reactor que puede salir entonces del alojamiento 20 del reactor a través del flujo 42 de refrigerante como vapor que se condensa en la pared interna de la vasija 52 del reactor. Al incluir el flujo auxiliar 48 a través del sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor, se proporciona una transferencia térmica convectiva al núcleo 6 del reactor, además de la transferencia térmica que se produce por medio de la generación de vapor.

10 El nivel de refrigerante 100C en el interior del tubo ascendente 24 durante el LOCA puede caer hasta un nivel que es aproximadamente igual al del nivel 100A de refrigerante en el exterior (bajante) del alojamiento 20 del reactor cuando el módulo de potencia consigue una condición estable. Puede producirse una condición estable cuando el flujo 46 de refrigerante que entra en la envuelta 22 es igual al caudal combinado del flujo de refrigerante que sale del tubo ascendente 24 y el flujo auxiliar 48 que sale del sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor. El sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor está ubicado por encima del núcleo 6 del reactor para optimizar el flujo de refrigerante a través de las varillas de combustible.

15 En la invención, el sistema 45 de derivación del flujo del generador de vapor comprende un paso proporcionado en el alojamiento 20 del reactor entre la porción inferior (por ejemplo, la envuelta 22) y la porción superior (por ejemplo, el tubo ascendente 24) del alojamiento 20, en el que el paso está configurado para proporcionar el flujo auxiliar 48 del refrigerante primario al núcleo 6 del reactor que aumenta el flujo del refrigerante primario 100 fuera de la porción superior del alojamiento 20 del reactor y al interior de la porción inferior. En consecuencia, el flujo auxiliar 48 del refrigerante primario circunvala el intercambiador 35 de calor, ubicado proximalmente en torno a la porción superior del alojamiento 20 del reactor.

20 El paso 45 puede cerrarse durante una operación a plena potencia del conjunto modular 40 de potencia, mientras que durante un procedimiento de operación de emergencia, el paso 45 está configurado para abrirse. De forma similar, el paso 45 puede estar configurado para abrirse durante una parada, o una operación de apagado, incluyendo un LOCA o un incidente de sobrepresurización. En una realización, el paso permanece abierto durante todos los modos de operación, mientras que se minimiza sustancialmente o se reduce a cero el flujo auxiliar 48 durante operaciones normales del conjunto modular 40 de potencia.

25 La FIG. 5 ilustra una realización de un módulo de potencia que comprende un sistema 59 de derivación del flujo del generador de vapor durante condiciones de operación normal. El sistema 59 de derivación del flujo del generador de vapor comprende un paso o abertura a través del alojamiento 120 del reactor. Por ejemplo, el paso puede estar ubicado entre un extremo inferior 60, o a través del mismo, del tubo ascendente 24 y un extremo superior 62 de la envuelta 22. El flujo 65 de refrigerante pasa a través del núcleo 6 del reactor ubicado en la envuelta 22 antes de salir del tubo ascendente 24 como el flujo 67 de refrigerante. Durante operaciones normales, poco o ningún flujo 65 de refrigerante escapa a través del sistema 59 de derivación del flujo del generador de vapor. Al prohibir o reducir el caudal a través del sistema 59 de derivación del flujo del generador de vapor, un flujo máximo de refrigerante pasa por el intercambiador 35 de calor para eliminar calor del núcleo 6 del reactor. En consecuencia, el caudal másico de flujo 65 de refrigerante es aproximadamente igual al del flujo 67 de refrigerante.

30 La FIG. 6A ilustra una realización de un sistema 69 de derivación del flujo del generador de vapor durante condiciones de operación normal, tales como cuando un módulo de potencia se encuentra operando a plena potencia. Durante una operación normal, el módulo de potencia genera una temperatura operativa que es normalmente mayor que una temperatura asociada con la puesta en marcha del reactor, la parada del reactor u otras condiciones de operación. Se pueden generar distintas temperaturas en distintas ubicaciones dentro del refrigerante 100 como resultado de una interacción con el intercambiador 35 de calor (FIG. 4). A temperaturas de operación normal, los flujos 65 y 67 de refrigerante se comportan sustancialmente como se ha descrito con respecto a las FIGURAS 2 a 5. Distintos componentes del alojamiento 20 del reactor pueden experimentar distintas cantidades de expansión térmica, como resultado de la diferencia de temperatura operativa o como resultado de diferencias en las propiedades térmicas de los diversos componentes. Por ejemplo, algunos componentes pueden estar fabricados de distintos materiales, composición o cantidad (por ejemplo, grosor), de forma que un componente puede dilatarse o contraerse un mayor grado que otro componente.

35 En una realización, una dirección de dilatación o contracción de la envoltura 22 y del tubo ascendente 24 se encuentran en direcciones opuestas. Por ejemplo, mientras que el tubo ascendente 24 se expande hacia la parte inferior de la vasija 52 del reactor (FIG. 2), la envoltura 22 se expande hacia la parte superior de la vasija 52 del reactor. Esta relación se ilustra de forma esquemática por medio de las flechas orientadas hacia abajo y hacia arriba en el extremo inferior 60 del tubo ascendente 24 y en el extremo superior 62 de la envoltura 22, respectivamente. Se puede lograr la expansión de los componentes en direcciones opuestas fijando el tubo ascendente 24 al miembro superior 41 de fijación y fijando por separado la envoltura 22 al miembro inferior 43 de fijación (FIG. 4).

Se muestra dislocado un paso 63 en el extremo superior 62 de la envoltura 22 con un paso 61 en el extremo inferior 60 del tubo ascendente 24. Con la envoltura 22 y el tubo ascendente 24 en la condición térmicamente expandida, los pasos dislocados 61, 63 no casan, de forma que se permite que pase poco o nada del flujo 65 de refrigerante a través del sistema 69 de derivación del flujo del generador de vapor.

5 La FIG. 6B ilustra una realización del sistema 69 de derivación del flujo del generador de vapor de la FIG. 6A durante una operación de apagado. La operación de apagado puede incluir una parada del reactor, un disparo del reactor o PARADA BRUSCA, un LOCA o un incidente de sobrepresurización, por ejemplo. Durante la operación de apagado, las temperaturas en la vasija 52 del reactor (FIG. 2) tienden a reducirse, lo que tiene como resultado una contracción o retracción de diversos componentes del reactor. Por ejemplo, mientras que el tubo ascendente 24 se contrae hacia
10 la parte superior de la vasija 52 del reactor (FIG. 2), la envuelta 22 se contrae hacia la parte inferior de la vasija 52 del reactor. Esta relación se ilustra de forma esquemática por medio de las flechas dirigidas hacia arriba y hacia abajo en el extremo inferior 60 del tubo ascendente 24 y en el extremo superior 62 de la envuelta 22, respectivamente. El tubo ascendente 24 y la envuelta 22 pueden expandirse o contraerse distintas cantidades para el mismo cambio de temperatura, en cuyo caso las direcciones de dilatación y de contracción pueden ser
15 mutuamente relativas.

Se muestra el paso 63 en el extremo superior 62 de la envuelta 22 alineado con el paso 61 en el extremo inferior 60 del tubo ascendente 24, permitiendo que pase un flujo auxiliar 48 de refrigerante a través del sistema 69 de derivación del flujo del generador de vapor. Con la envuelta 22 y el tubo ascendente 24 en la condición contraída
20 térmicamente, los pasos colocalizados 61, 63 casan formando un paso, de forma que se combina el flujo auxiliar 48 con el flujo 42 de refrigerante. En una realización, los pasos 61, 63 se abren debido a un cambio en la temperatura en el interior de la vasija 52 del reactor (FIG. 2), en la cual una diferencia en la tasa de expansión térmica entre la envuelta 22 y el tubo ascendente 24 provoca que se abran los pasos 61, 63. Un caudal del flujo auxiliar 48 puede variar según el cambio en la temperatura, un grado de alineamiento entre los pasos 61, 63 o el número de pasos proporcionados en el alojamiento 20 del reactor. El flujo auxiliar 48 de refrigerante sale del alojamiento 20 del reactor
25 sin pasar por el intercambiador 35 de calor (FIG. 4), ni a través del mismo.

La FIG. 7 ilustra una realización de un sistema 79 de derivación del flujo del generador de vapor que comprende un paso 70. El paso 70 puede estar formado entre el extremo inferior 60 del tubo ascendente 24 y el extremo superior 62 de la envuelta 22. Se muestran el extremo inferior 60 y el extremo superior 62 mutuamente solapados, de forma que el flujo auxiliar 48 circula a través del paso 70. Se puede comprender que la FIG. 7 representa el flujo de refrigerante durante una operación de parada o de apagado, en la que el flujo 42 de refrigerante proporciona un caudal reducido en comparación con el flujo 67 de refrigerante de la FIG. 5. En la FIG. 5, durante una operación normal del módulo 40 de potencia, los flujos 65, 67 de refrigerante pueden ser lo suficientemente intensos, de forma que poco o ningún flujo auxiliar se escape del sistema 59 de derivación del flujo del generador de vapor. Los recorridos de flujo a través del tubo ascendente 24 pueden proporcionar la vía de menor resistencia durante una
30 operación normal.

Durante una operación de parada, o un LOCA, en la que puede reducirse el flujo 42 de refrigerante, se puede permitir que el flujo auxiliar 48 salga del paso 70 mediante convección natural, cuando el flujo 46 de refrigerante supere el caudal del flujo 42 de refrigerante. En una realización, el refrigerante primario sale del sistema 79 de derivación del flujo del generador de vapor como resultado de una reducción en el caudal del flujo 42 de refrigerante
40 del refrigerante primario fuera del tubo ascendente 24. De forma correspondiente, la reducción del caudal puede reducir una cantidad de turbulencias que se forman, si no, en el paso 70 durante condiciones de operación normal, permitiendo que el refrigerante "bulla" por el sistema 79 de derivación del flujo del generador de vapor.

En la realización ilustrada en la FIG. 7 al igual que las otras realizaciones diversas descritas e ilustradas en el presente documento, el flujo auxiliar 48 de refrigerante primario puede salir del alojamiento 20 del reactor debido a una convección natural, o circulación natural del refrigerante. Un estado de dos fases del refrigerante puede promover que un flujo auxiliar 48 de refrigerante pase a través del sistema de derivación del flujo del generador de vapor, mientras que la mayoría del refrigerante, o todo él, saldría, si no, del tubo ascendente 24 cuando el refrigerante se encuentra en un estado de una fase (por ejemplo, durante condiciones de operación normal). Una refrigeración pasiva del núcleo 6 del reactor (FIG. 5) reduce o elimina la necesidad de proporcionar piezas móviles o mecánicas, tales como motores.
50

En una realización, una distancia entre la sección solapada del extremo inferior 60 y del extremo superior 62 aumenta o se reduce con un cambio en la temperatura del módulo 40 de potencia. Durante una reducción en la temperatura del reactor, las fuerzas F1 y F2 pueden actuar sobre los extremos 60, 62 del tubo ascendente 24 y de la envuelta 22 para aumentar el tamaño del paso 70 y permitir un aumento del flujo auxiliar 48. Por otra parte, durante un aumento en la temperatura del reactor, el tamaño del paso 70 puede reducirse según se reduce la distancia entre la sección solapada de los extremos 60, 62, lo que tiene como resultado que el flujo auxiliar 48 se reduzca o que deje de fluir. Un caudal del refrigerante auxiliar 48 puede variar con un cambio en la temperatura del reactor y un cambio asociado en el tamaño o área de flujo del paso 70.
55

La FIG. 8 ilustra una realización de un sistema 89 de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una válvula 80 colocada cerca del extremo inferior 60 del tubo ascendente 24 y del extremo superior 62 de la envuelta 22. Se puede permitir que el flujo auxiliar 48 fluya de forma similar a la relativa a la descripción de la FIG. 7, mientras que se puede proporcionar la válvula 80 para limitar una dirección del flujo 48 de refrigerante en una única dirección.

5 En una realización, la válvula 80 es una válvula unidireccional que limita la dirección del flujo 48 de refrigerante desde el interior del alojamiento 20 del reactor hasta el exterior del alojamiento 20 del reactor. En una realización, la válvula 80 siempre está abierta, y se regula el caudal del flujo auxiliar 48 por medio del caudal de flujo 42, 46 de refrigerante o del flujo 65, 67 de refrigerante (FIG. 5). En otra realización, se acciona (por ejemplo, se abre) la válvula 80 tras la detección de una operación de parada o una parada brusca del reactor, por ejemplo, de forma que la
10 válvula 80 se encuentre cerrada por otra causa durante una operación normal (por ejemplo, a plena potencia) del reactor.

La FIG. 9 ilustra una realización de un sistema 99 de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una o más placas difusoras 90. El flujo auxiliar 48 a través de las placas difusoras 90 puede operar o funcionar de forma similar a lo descrito anteriormente con respecto a las realizaciones ilustradas en las FIGURAS 4-8. Por ejemplo, durante una operación normal del módulo 40 de potencia, se puede permitir que poco o ningún flujo auxiliar 48 salga a través de la o las placas difusoras 90. Durante una operación de parada, se puede habilitar o aumentar el flujo auxiliar 48 a través de las placas difusoras 90.

En una realización, la o las placas difusoras 90 giran en torno a un pivote para abrirse o cerrarse. La placa difusora 90A ilustra una placa difusora en una posición cerrada, mientras que la placa difusora 90B ilustra una placa difusora en una posición abierta. La o las placas difusoras 90 pueden abrirse o cerrarse dependiendo del caudal del flujo 42, 46 de refrigerante, dado que estos caudales pueden ejercer presión P1, P2 sobre la o las placas difusoras 90. Si un caudal o diferencia de presiones entre las presiones P1, P2 es lo suficientemente grande, la o las placas difusoras 90 pueden cerrarse, y prohibir un flujo de refrigerante a través del sistema 99 de derivación del flujo del generador de vapor. El sistema 99 de derivación del flujo del generador de vapor puede comprender, además, un mecanismo de retorno, tal como un resorte, que devuelve la o las placas difusoras 90 a una posición abierta cuando el caudal cae por debajo de algún umbral predeterminado. En una realización, el sistema 99 de derivación del flujo del generador de vapor comprende una pantalla con respiraderos o placas difusoras miniatura que permiten el paso de refrigerante en ebullición, pero prohíben o limitan el paso de refrigerante de una fase.
20
25

La FIG. 10 ilustra una realización de un sistema 109 de derivación del flujo del generador de vapor que comprende un paso 100 activado por temperatura. El paso 100 puede estar configurado para abrirse debido a un cambio en la temperatura dentro de la vasija 52 del reactor (FIG. 4). En una realización, el sistema 109 de derivación del flujo del generador de vapor comprende una cubierta bimetalica ubicada sobre el paso, en el que la cubierta bimetalica comprende materiales que tienen distintas tasas o propiedades de expansión térmica. En una realización, el paso está formado entre el tubo ascendente 24 y la envuelta 22. Un primer extremo del paso 100 activado por temperatura puede ser fijado o unido de otra manera al alojamiento 20 del reactor (FIG. 4). Debido a distintas propiedades de expansión térmica, un segundo extremo del paso 100 activado por temperatura puede flexionarse alejándose del alojamiento 20 del reactor con una fuerza F_0 según se reduce la temperatura del reactor. Por lo tanto, se puede formar un paso a través del alojamiento 20 del reactor que permita que el flujo auxiliar 48 salga del sistema 109 de derivación del flujo del generador de vapor.
30
35

Según aumenta la temperatura del reactor, el paso 100 activado por temperatura puede relajarse, o doblarse hacia atrás para cubrir el paso (mostrado mediante la referencia 100A) y reducir o impedir que el flujo auxiliar 48 salga del alojamiento 20 del reactor.
40

La FIG. 11 ilustra una realización de un sistema 119 de derivación del flujo del generador de vapor que comprende una válvula esférica 110 de retención. La válvula esférica 110 de retención puede moverse en un sentido bidireccional, de forma que en una posición permita que el flujo auxiliar 48 pase a través del sistema 119 de derivación del flujo del generador de vapor, mientras que en una segunda posición (por ejemplo, mostrada como la referencia 110A) limita o prohíbe la liberación de flujo auxiliar 48 fuera del alojamiento 20 del reactor.
45

El sistema 119 de derivación del flujo del generador de vapor puede comprender un resorte 115 de retorno que empuja a la válvula esférica 110 de retención hacia la primera posición, abierta. La cantidad de fuerza ejercida por el resorte 115 de retorno puede superar la fuerza debido al flujo 48 de refrigerante durante una condición de parada, por ejemplo. Durante una operación normal, un caudal debido al flujo 65 de refrigerante (FIG. 5) puede superar la fuerza ejercida por el resorte 115 de retorno y colocar la válvula esférica 110 de retención en la segunda posición, cerrada 110A. En otra realización, el peso de la bola en la válvula esférica de retención proporciona la fuerza descendente de la válvula esférica 110 de retención, obviando la necesidad del resorte 115 de retorno.
50

En otra realización, hay un resorte cerca de la parte inferior de la válvula esférica 110 de retención, en vez de como se muestra en la FIG. 11. El resorte se expande durante una operación normal debido a un aumento en la temperatura, empujando a la válvula esférica 110 de retención hacia la segunda posición, cerrada 110A. El resorte se contrae durante una condición de apagado debido a una reducción de la temperatura, empujando a la válvula esférica 110 de retención hacia la primera posición, abierta.
55

La FIG. 12 ilustra una realización de un sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor accionado por medio de varillas 125A, 125B de control. El sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor puede comprender uno o más orificios de ventilación o válvulas 120 fijados al alojamiento 20 del reactor. En una realización, el sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor está fijado al alojamiento 20 del reactor entre la envuelta 22 y el tubo ascendente 24.

Cuando se retiran las varillas de control (identificadas con el número 125B de referencia) del núcleo 6 del reactor, se puede accionar el sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor para que se cierre, de forma que se permita que poco o ningún flujo auxiliar salga del alojamiento 20 del reactor. El sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor puede ser cerrado, por ejemplo, durante una operación normal o a plena potencia del módulo 40 de potencia. Cuando se insertan las varillas de control (identificadas con el número 125A de referencia) en el núcleo 6 del reactor, se puede accionar el sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor para que se abra, de forma que se permita que salga el flujo auxiliar del alojamiento 20 del reactor. El sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor puede abrirse, por ejemplo, durante una operación de parada o de apagado del módulo 40 de potencia. Uno o más conmutadores o sensores pueden determinar cuando se insertan las varillas 125A, 125B de control en el núcleo 6 del reactor, o se retiran del mismo, y envían una señal para accionar el sistema 129 de derivación del flujo del generador de vapor.

La FIG. 13 ilustra una realización alternativa de un sistema 139 de derivación del flujo del generador de vapor accionado por medio de varillas 135A, 135B de control. El sistema 139 de derivación del flujo del generador de vapor puede comprender una o más varillas de control diseñadas de forma que cuando sean retiradas (135A) para su operación obstruyan el recorrido de flujo del sistema de derivación, y que cuando sean insertadas (135B) durante condiciones de apagado proporcionen un paso abierto para el flujo 48 de derivación de refrigerante auxiliar. La ubicación de las varillas 135A, 135B de control permite o evita que el flujo auxiliar de refrigerante primario pase a través del alojamiento 20. En una realización, el sistema 139 de derivación del flujo del generador de vapor está fijado al alojamiento 20 del reactor entre la envuelta 22 y el tubo ascendente 24.

Uno o más interruptores o sensores pueden determinar cuándo se insertan (135B) las varillas de control en el núcleo 6 del reactor, o se retiran del mismo.

La FIG. 14 ilustra un procedimiento novedoso para refrigerar un núcleo del reactor utilizando un sistema de derivación del flujo del generador de vapor. Se puede comprender que el procedimiento opera, sin limitación, con diversas realizaciones ilustradas en el presente documento como las FIGURAS 1-13.

En la operación 140, se hace circular un refrigerante primario a través del alojamiento del reactor que comprende un tubo ascendente superior y una envuelta inferior, en el que un recorrido de flujo primario del refrigerante primario pasa por un intercambiador de calor ubicado proximalmente en torno al tubo ascendente, y en el que el refrigerante primario entra en la envuelta inferior.

En la operación 150, se detecta un accidente con pérdida de refrigerante (LOCA) o un incidente de despresurización. El LOCA o incidente de despresurización puede indicar una cantidad reducida de refrigerante o de presión en la vasija del reactor.

En la operación 160, se reduce un nivel de fluido del refrigerante primario por debajo de la parte superior del tubo ascendente, saliendo el refrigerante primario del tubo ascendente como vapor. En una realización, el refrigerante primario que sale del tubo ascendente como vapor se condensa como refrigerante líquido antes de ser combinado con un recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario que es hecho circular a través de un paso auxiliar en el alojamiento del reactor.

En la operación 170, el recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario es hecho circular a través del paso auxiliar proporcionado en el alojamiento del reactor, saliendo el refrigerante primario del recorrido de flujo auxiliar del alojamiento del reactor sin pasar por el intercambiador de calor. En una realización, el recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario circula a través del paso auxiliar debido a una diferencia en las fuerzas hidrostáticas a ambos lados del paso.

En la operación 180, se combina el refrigerante primario procedente del recorrido de flujo auxiliar con el refrigerante primario procedente del recorrido de flujo primario que entra en la envuelta inferior.

En una realización, se combinan los aditivos químicos solubles en refrigerante de un reactor nuclear con el refrigerante primario de un reactor nuclear, modificando las características nucleares y químicas del refrigerante. Se detecta una pérdida de inventario de refrigerante primario, y se reduce un nivel de fluido del refrigerante primario, de forma que se interrumpe o se reduce el recorrido de flujo nominal. La producción de vapor se produce en la región del núcleo, y sale del tubo ascendente como vapor. Los aditivos no volátiles en el refrigerante primario están concentrados en el núcleo y el refrigerante privado de los aditivos no volátiles se acumula en regiones que presentan una condensación. Se hace que el refrigerante primario circule a través del paso proporcionado en el alojamiento del reactor, en el que se combina el refrigerante privado de aditivos con el refrigerante con una mayor concentración de aditivos, proporcionando la mezcla de las corrientes de refrigerante y mitigando el procedimiento de concentración.

La circulación del recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario a través del paso auxiliar reduce una concentración de aditivos no volátiles en el refrigerante primario en el interior del alojamiento del reactor.

5 Aunque las realizaciones proporcionadas en el presente documento han descrito principalmente un reactor de agua a presión, debería ser evidente para un experto en la técnica que las realizaciones pueden ser aplicadas a otros tipos de sistemas de energía nuclear como se han descrito o con alguna modificación obvia. Por ejemplo, también se puede hacer que las realizaciones o variaciones de las mismas sean operables con un reactor de agua en ebullición o, más en general, con cualquier otro diseño integrado de reactor pasivo.

10 La tasa de liberación del refrigerante al interior de la vasija de contención, la tasa de condensación del refrigerante formando un líquido y la tasa de aumento de presión en la vasija de contención, al igual que otros valores y tasas descritos en el presente documento solo son proporcionados a modo de ejemplo. Se pueden determinar otros valores y tasas mediante experimentación, tal como mediante la construcción de modelos en tamaño real o a escala de un reactor nuclear.

15 Habiendo descrito e ilustrado los principios de la invención en una realización preferente de la misma, debería ser evidente que la invención puede ser modificada en su disposición y detalle sin alejarse de tales principios. Los inventores reivindican todas las modificaciones y variaciones que se encuentren dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

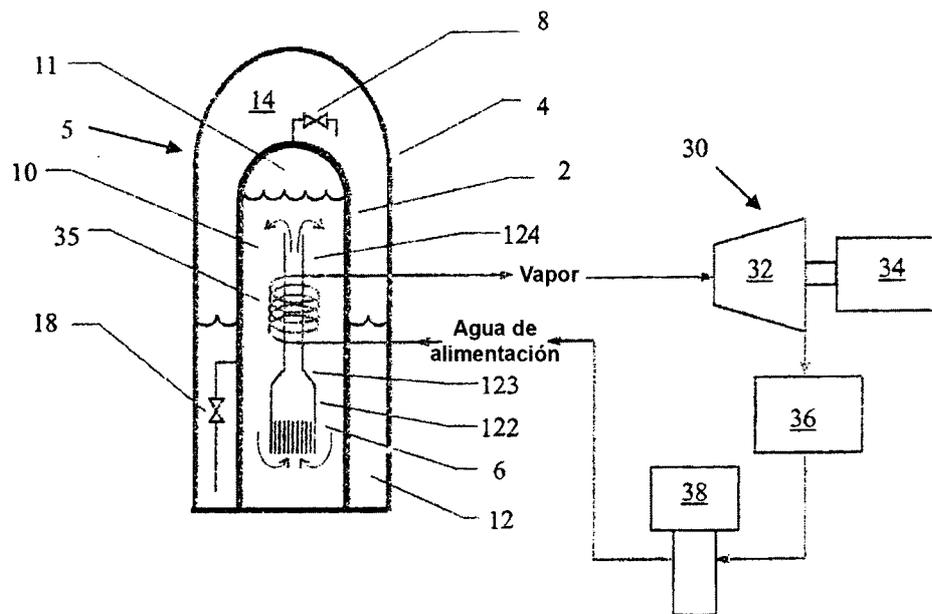
REIVINDICACIONES

1. Un conjunto modular (50) de potencia que comprende:
un alojamiento (20) de reactor;
- 5 un núcleo (6) de reactor nuclear ubicado en una porción inferior (22) del alojamiento (20) del reactor;
- un intercambiador (35) de calor ubicado proximalmente en torno a una porción superior (24) del alojamiento (20) del reactor, en el que el refrigerante primario (100) fluye fuera del alojamiento (20) del reactor a través de la porción superior (24) y en el que el refrigerante primario (100) fluye al interior del alojamiento (20) del reactor a través de la porción inferior (22); y
- 10 un paso (45) proporcionado en el alojamiento (20) del reactor entre la porción inferior (22) y la porción superior (24), en el que el paso (45) está configurado para proporcionar un flujo auxiliar (48) de refrigerante primario (100) al núcleo (6) del reactor nuclear para aumentar el flujo del refrigerante primario (100) fuera de la porción superior (24) del alojamiento (20) del reactor y al interior de la porción inferior (22), y
- 15 en el que el flujo auxiliar (48) de refrigerante primario (100) circunvala el intercambiador (35) de calor.
2. El conjunto modular de potencia según la reivindicación 1, en el que el paso se cierra o se reduce durante una operación a plena potencia del conjunto modular de potencia.
- 20 3. El conjunto modular de potencia según la reivindicación 2, en el que el paso está configurado para abrirse durante una operación de parada.
4. Un módulo (5) de reactor nuclear que comprende:
una vasija (2) del reactor; y
- 25 un conjunto modular (25) de potencia según la reivindicación 1, en el que:
el alojamiento (20) del reactor está montado en el interior de la vasija (2) del reactor y comprende una envuelta (22) y un tubo ascendente (24) ubicado por encima de la envuelta (22);
- 30 el intercambiador (35) de calor está ubicado proximalmente en torno al tubo ascendente (24); y
el núcleo (6) del reactor está ubicado en la envuelta (22).
5. El módulo del reactor nuclear según la reivindicación 4, en el que el paso comprende una válvula unidireccional.
6. El módulo del reactor nuclear según la reivindicación 4, en el que el paso forma un paso para que el refrigerante salga del alojamiento del reactor durante un accidente con pérdida de refrigerante o un incidente de despresurización.
- 35 7. El módulo del reactor nuclear según la reivindicación 6, en el que el paso está adaptado para abrirse debido a un cambio en la temperatura en el interior de la vasija del reactor.
8. El módulo del reactor nuclear según la reivindicación 7, en el que el paso comprende una cubierta bimetalica ubicada sobre el paso, y en el que la cubierta bimetalica comprende materiales que tienen distintas propiedades de expansión térmica.
- 40 9. Un procedimiento para refrigerar un reactor nuclear que comprende:
hacer circular un refrigerante primario (100) a través de un alojamiento (20) del reactor que comprende un tubo ascendente superior (24) y una envuelta inferior (22), en el que un recorrido de flujo primario del refrigerante primario (100) pasa por un intercambiador (35) de calor ubicado proximalmente en torno al tubo ascendente superior (24), y en el que el refrigerante primario (100) entra en la envuelta inferior (22);
- 45 detectar un accidente con pérdida de refrigerante o un incidente de despresurización;
- reducir un nivel de fluido del refrigerante primario (100) por debajo de la parte superior del tubo ascendente superior (24), en el que el refrigerante primario (100) sale del tubo ascendente superior (24) como vapor (11);
- 50 hacer circular refrigerante primario (100) por un recorrido (48) de flujo auxiliar a través de un paso auxiliar (45) proporcionado en el alojamiento (20) del reactor, en el que el recorrido (48) de flujo auxiliar del refrigerante primario (100) sale del alojamiento (20) del reactor sin pasar por el intercambiador (35) de calor; y
- 55

combinar el refrigerante primario (100) procedente del recorrido (48) de flujo auxiliar con el refrigerante primario (100) procedente del recorrido de flujo primario que entra en la envuelta inferior (22).

- 5 10. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que el refrigerante primario que sale del tubo ascendente como vapor se condensa como refrigerante líquido antes de ser combinado con el refrigerante primario del recorrido de flujo auxiliar.
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que el refrigerante primario del recorrido de flujo auxiliar circula a través del paso auxiliar debido a una diferencia en fuerzas hidrostáticas a ambos lados del paso.
- 10 12. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que la circulación del recorrido de flujo auxiliar del refrigerante primario a través del paso auxiliar reduce una concentración de aditivos no volátiles en el refrigerante primario dentro del alojamiento del reactor.
13. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que una diferencia en la tasa de expansión térmica entre la envuelta inferior y el tubo ascendente superior provoca que se abra el paso auxiliar.
- 15 14. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que un nivel del refrigerante primario se encuentra por encima de una salida del tubo ascendente superior del alojamiento del reactor durante una operación a plena potencia, y en el que el nivel de refrigerante primario se encuentra por debajo de la salida durante el accidente con pérdida de refrigerante o el incidente de despresurización.
15. El procedimiento según la reivindicación 14, en el que el nivel del refrigerante primario permanece por encima del paso auxiliar durante el accidente con pérdida de refrigerante o el incidente de despresurización.

FIG. 1 (Ejemplo comparativo)



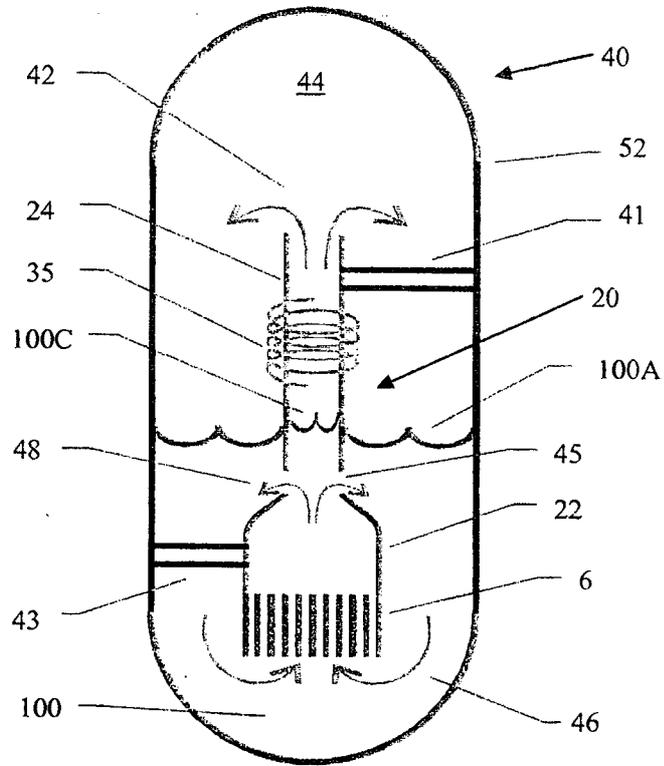


FIG. 4

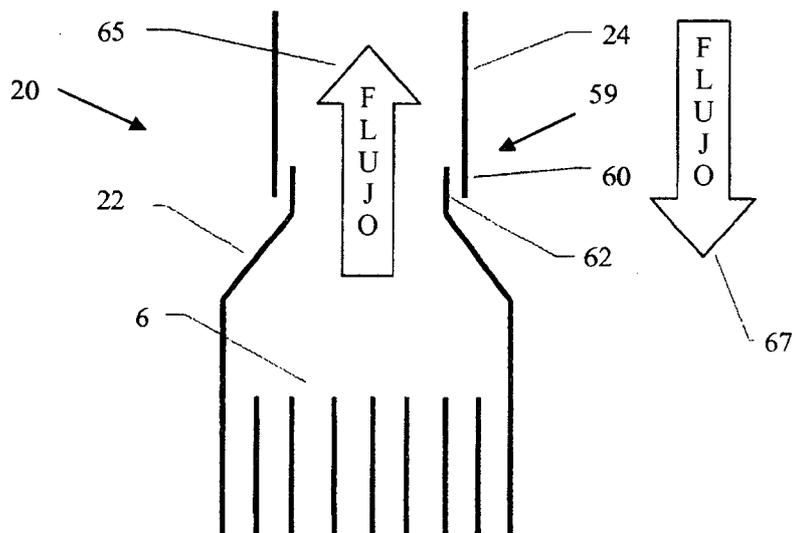


FIG. 5

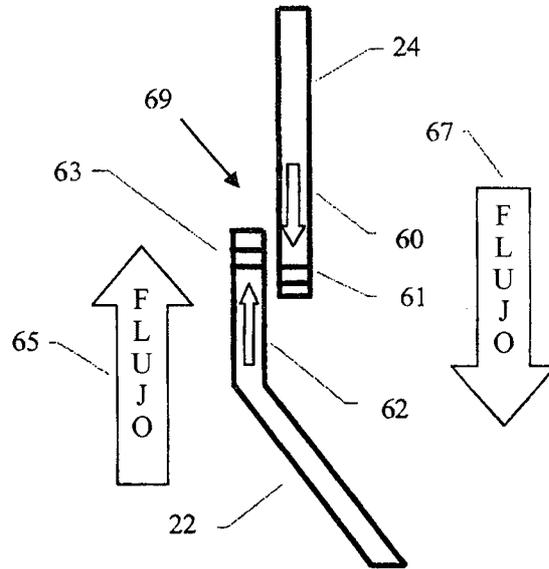


FIG. 6A

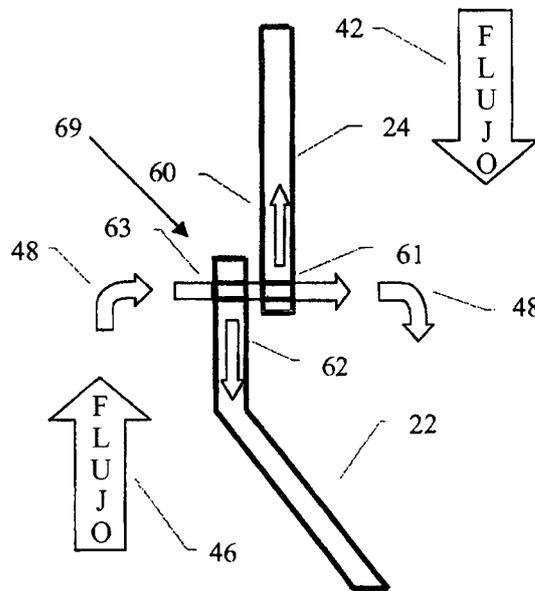


FIG. 6B

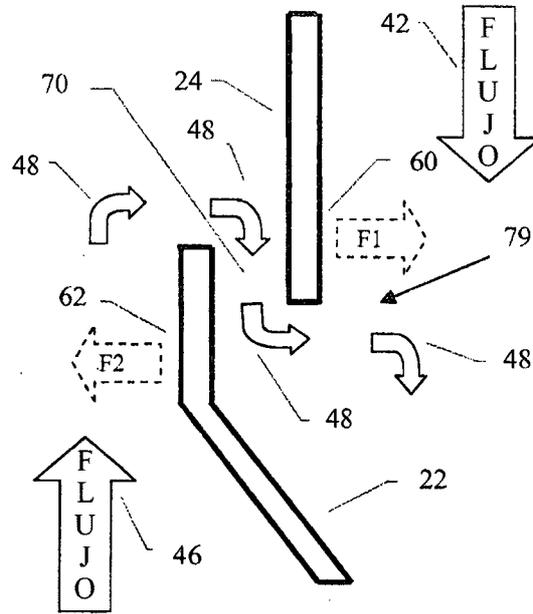


FIG. 7

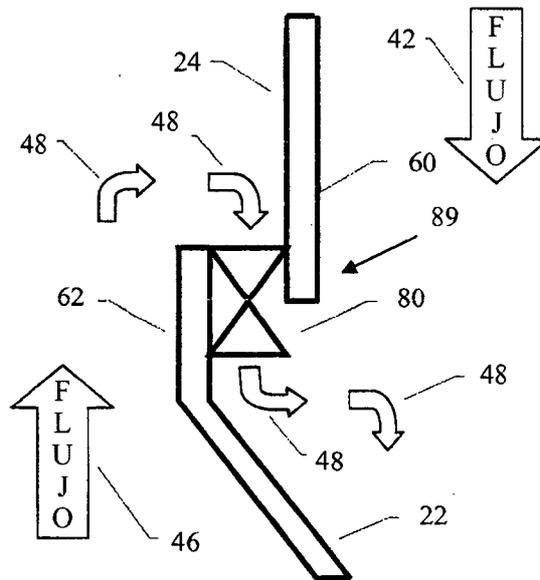


FIG. 8

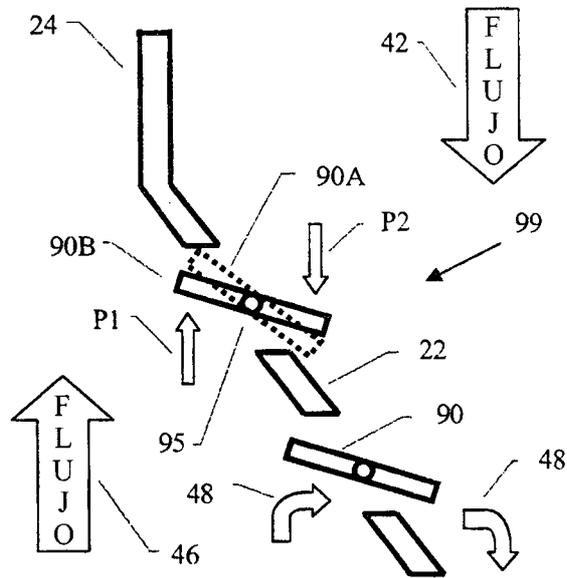


FIG. 9

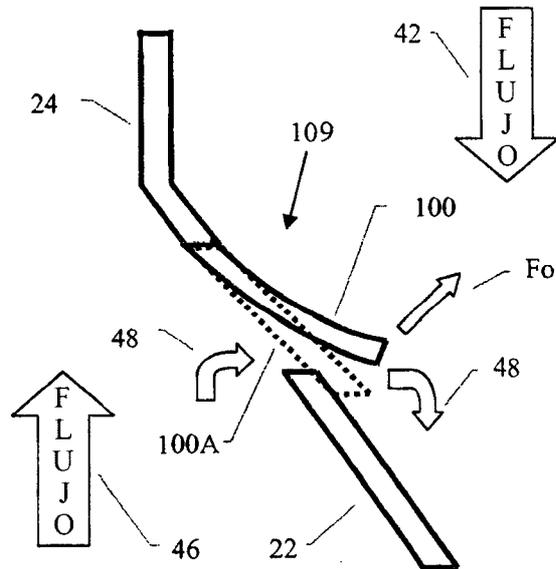


FIG. 10

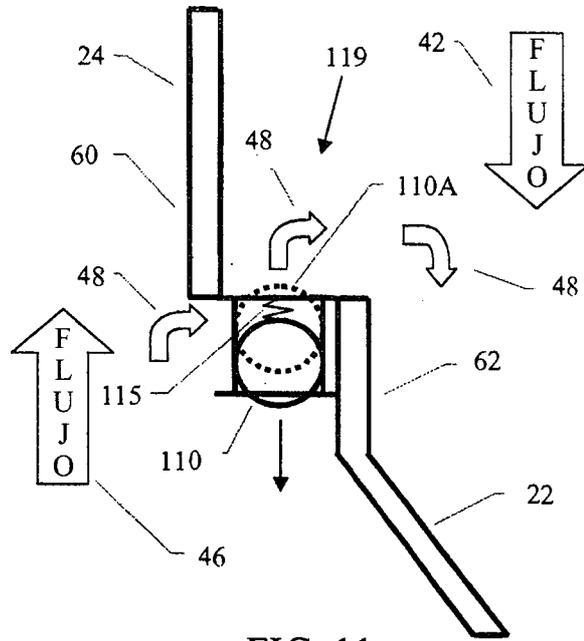


FIG. 11

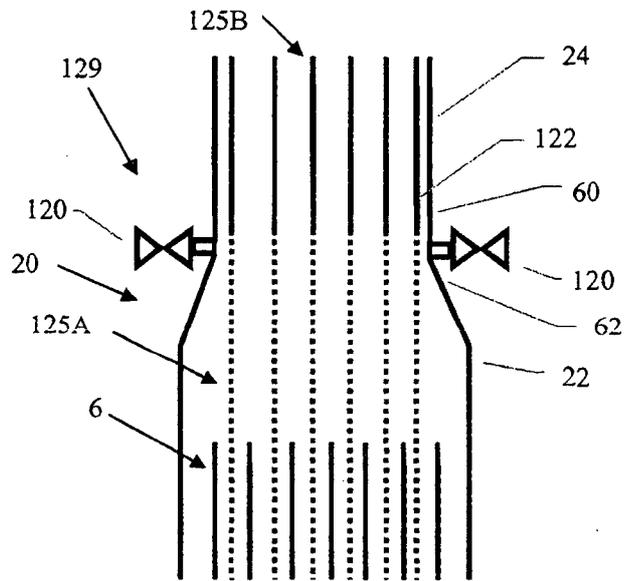


FIG. 12

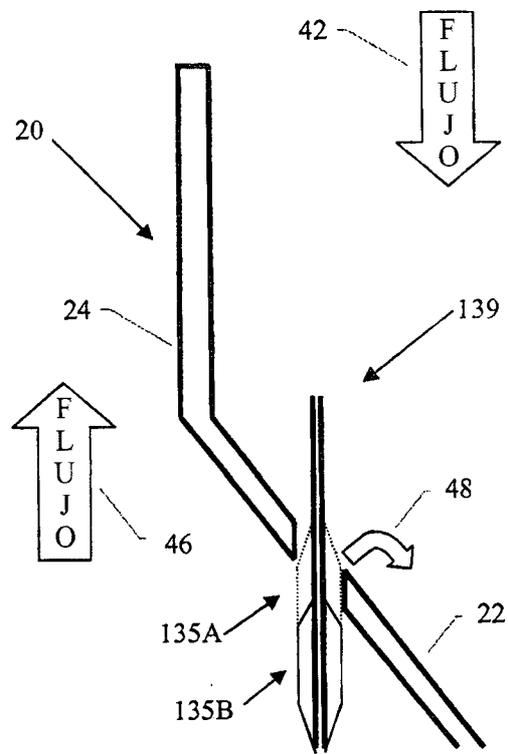


FIG. 13

FIG. 14

