

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 347**

51 Int. Cl.:

**G21C 15/12** (2006.01)

**G21D 1/02** (2006.01)

**G21C 1/32** (2006.01)

**G21C 17/022** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2012 PCT/US2012/025001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12112509**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2012 E 12746803 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2676277**

54 Título: **Reactor nuclear y método de eliminación de calor del reactor nuclear**

30 Prioridad:

**15.02.2011 US 201161463282 P**  
**23.11.2011 US 201113303408**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.04.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SEXTON, COLIN, MAXWELL;**  
**MATONIC, JOHN, HAROLD;**  
**LAFOUNTAIN, MAURICE ANDREW;**  
**HOUGHTON, ZACHARY, JAMES;**  
**BIASCA, RICHARD y**  
**ARTHUR, JONATHAN, JAMES**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 710 347 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**

Reactor nuclear y método de eliminación de calor del reactor nuclear

**5 Antecedentes**

En un reactor nuclear, un núcleo de material nuclear se limita a un pequeño volumen interno en el reactor de modo que se puede producir una reacción. En muchos casos, una reacción nuclear controlada puede persistir durante un período prolongado de tiempo, que puede incluir varios años antes de que se requiera la recarga de combustible del núcleo nuclear. En consecuencia, cuando se utiliza como una fuente de calor para la conversión de grandes cantidades de agua en vapor, un reactor nuclear diseñado correctamente puede proporcionar una fuente de energía estable y altamente confiable, libre de carbono.

Cuando dos o más reactores nucleares se sitúan en un sitio del reactor, la estabilidad y la fiabilidad de la producción de energía pueden aumentar. En una disposición de este tipo, si bien un primer reactor puede estar fuera de línea para el reabastecimiento de combustible, mantenimiento, reparación, o similar, un segundo reactor puede continuar funcionando a su nivel de potencia de salida nominal. Puesto que reactores adicionales se integran en el sitio del reactor, la estabilidad y la fiabilidad de la producción de energía pueden mejorarse ser mejorado aún más.

Además de múltiples unidades de reactor como un medio para proporcionar un flujo constante de potencia de salida, unidades de reactores nucleares individuales que operan en un sitio pueden, cada una, diseñarse de manera que promuevan un alto nivel de seguridad, además de una mayor fiabilidad. Por ejemplo, una unidad de reactor puede incorporar características que proporcionan protección durante y después de la ocurrencia de eventos que pueden degradar un sistema de refrigeración primario del reactor nuclear. Cuando se produce un evento de este tipo, un sistema de eliminación de calor residual se puede emplear para asegurar que el reactor particular permanezca en una condición estable.

**Sumario**

De acuerdo con la invención, se proporciona un reactor nuclear como se define en la reivindicación 1 y un método de eliminar el calor de un reactor nuclear como se define en la reivindicación 12.

**Breve descripción de los dibujos**

Aspectos no limitantes y no exhaustivos se describen con referencia a las siguientes figuras, en las que números de referencia iguales se refieren a partes similares en todas las diversas Figuras.

La Figura 1 es un diagrama de un reactor nuclear que emplea un sistema de eliminación de calor de acuerdo con una primera implementación.

La Figura 2A muestra una porción del reactor nuclear de la Figura 1 junto con un gráfico de la presión de entrada del condensador como una función del tiempo en la Figura 2B.

La Figura 3 es un diagrama de un segundo ejemplo de un reactor nuclear y del sistema de eliminación de calor asociado.

La Figura 4 es un diagrama de un reactor nuclear que emplea diversas implementaciones de un sistema de eliminación de calor.

La Figura 5 es una vista de extremo de un recipiente de contención para un reactor nuclear que descansa sobre una instalación de servicio.

**Descripción detallada**

Se describen métodos y sistemas para la eliminación de calor de un reactor nuclear. En una implementación, un condensador se acopla estructuralmente (por ejemplo, se fija, monta, sujeta, suelda, etc.) a un recipiente de contención y al menos parcialmente sumergido en el agua en un compartimento del reactor. El condensador y el recipiente de contención pueden, a continuación, transportarse con el reactor a medida que el reactor se eleva del compartimento del reactor y se coloca en una instalación de servicio. Por lo tanto, incluso si el reactor se retira de un compartimento del reactor lleno de agua, el condensador puede continuar proporcionando la capacidad de eliminar el exceso de calor generado dentro del recipiente del reactor.

En otra implementación, un condensador de eliminación de calor se acopla estructuralmente a una superficie interior (por ejemplo, una pared, un suelo, u otra porción interior) de una estructura que define la forma de la piscina del reactor. Como tal, el condensador y el reactor pueden estar parcial o totalmente sumergidos dentro de una piscina común de líquido que sirve como un disipador de calor, tanto para el condensador como para el reactor. En un

ejemplo, el condensador y el reactor se acoplan fluidamente a modo de tuberías u otros conductos que permiten que el líquido y/o vapor fluyan entre el condensador y el reactor. Antes de su retirada del compartimento del reactor, el condensador puede desacoplarse del reactor.

5 Como se utiliza en la presente memoria y como se describe en mayor detalle en las secciones siguientes, las realizaciones de la invención pueden incluir diversas tecnologías de reactores nucleares. Por tanto, algunas implementaciones pueden incluir tecnologías de reactores que emplean agua a presión, que pueden incluir de boro y/u otros productos químicos o compuestos, agua en ebullición, refrigeración de metal líquido, refrigeración de gas, refrigeración de sal fundida, y/u otros métodos de refrigeración. Las implementaciones pueden incluir también  
10 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. Cabe señalar que las realizaciones no se limitan a ningún tipo particular de mecanismo de refrigeración del reactor, ni a ningún tipo particular de combustible empleado para producir calor en o asociado con una reacción nuclear.

15 En algunas implementaciones, una señal presente en un puerto de entrada de un dispositivo de control se acciona para permitir que el refrigerante fluya desde un intercambiador de calor dentro de un recipiente del reactor hasta un condensador estructuralmente acoplado a un recipiente de contención o a un condensador estructuralmente acoplado a una superficie interior de un compartimento del reactor que define la forma de la piscina. Un dispositivo de control se puede accionar, al menos en parte, como resultado de una señal en un puerto de entrada de un puerto  
20 de salida de un sensor de degradación que detecta una degradación en la capacidad de refrigeración nominal. Una degradación en la capacidad de refrigeración puede provocarse por una pérdida de agua de alimentación, una pérdida de potencia fuera de sitio, un fallo dentro de una bomba de refrigerante, una rotura en una tubería u otro conducto que transporte agua de alimentación, una pérdida de un calentador de agua de alimentación, o cualquier otro evento relacionado con la refrigeración que evite, degrade, o disminuya el flujo de refrigerante hacia el núcleo del reactor.  
25

En implementaciones particulares, por ejemplo, el refrigerante vaporizado se transporta desde un intercambiador de calor hasta un condensador al menos parcialmente sumergido en una piscina de líquido en la que un reactor nuclear puede también estar al menos parcialmente sumergido. Un líquido que comprende la piscina del reactor puede estar  
30 en contacto directo con un recipiente de contención que rodea a un recipiente del reactor y también en contacto directo con un condensador al menos parcialmente sumergido. El refrigerante vaporizado a una temperatura elevada se puede condensar por medio del intercambio de calor entre el condensador y el líquido que comprende la piscina del reactor.

35 La Figura 1 es un diagrama de un reactor nuclear que emplea un sistema de eliminación de calor de acuerdo con una primera implementación. En la Figura 1, el núcleo 105 del reactor se coloca en una porción inferior de un recipiente 110 del reactor en forma de cilindro o en forma de cápsula. El núcleo 105 del reactor comprende una cantidad de material fisionable que genera una reacción controlada que puede ocurrir durante un período de quizás varios años. Aunque no se muestra explícitamente en la Figura 1, se pueden emplear barras de control para  
40 controlar la velocidad de fisión dentro del núcleo 105 del reactor. Las barras de control pueden comprender plata, indio, cadmio, boro, cobalto, hafnio, disprosio, gadolinio, samario, erbio, y europio, o sus aleaciones y compuestos. Sin embargo, estos son solo algunos de los muchos materiales posibles para las barras de control.

45 En implementaciones, un recipiente de contención en forma de cilindro o en forma de cápsula 100 rodea el recipiente 110 del reactor y se sumerge parcial o completamente dentro de una piscina del reactor, tal como debajo de la línea de flotación 199. El volumen entre el recipiente 110 del reactor y el recipiente 100 de contención puede evacuarse parcial o completamente para reducir la transferencia de calor del recipiente 110 del reactor a la piscina del reactor. Sin embargo, en otras realizaciones, el volumen entre el recipiente 110 del reactor y el recipiente de contención 100 puede estar al menos parcialmente lleno con un gas y/o un líquido que aumente la transferencia de  
50 calor entre los recipientes del reactor y de contención.

En una implementación particular, el núcleo 105 del reactor se sumerge dentro de un líquido, tal como agua, que puede incluir boro u otro aditivo, que se eleva en el canal 130 después de hacer contacto con una superficie del núcleo del reactor. En la Figura 1, el movimiento hacia arriba del refrigerante caliente se representa por las flechas  
55 135 dentro del canal 130. El refrigerante se desplaza sobre la parte superior de los intercambiadores de calor 140 y 145 y se tira hacia abajo por medio de convección a lo largo de las paredes internas del recipiente 110 del reactor, permitiendo, por tanto, que el refrigerante imparta calor a los intercambiadores de calor 140 y 145. Después de alcanzar una porción inferior del recipiente del reactor, se pone en contacto con el núcleo 105 del reactor lo que da como resultado el calentamiento del refrigerante, que de nuevo se eleva a través del canal 130.  
60

Aunque los intercambiadores de calor 140 y 145 se muestran como dos elementos distintos de la Figura 1, los intercambiadores de calor 140 y 145 pueden representar una serie de bobinas helicoidales que se envuelven alrededor del canal 130. En otra implementación, otro número de bobinas helicoidales se puede envolver alrededor del canal 130 en una dirección opuesta, en la que, por ejemplo, una primera bobina helicoidal se envuelve  
65 helicoidalmente en una dirección en sentido antihorario, mientras que una segunda bobina helicoidal se envuelve helicoidalmente en una dirección en sentido horario. Sin embargo, nada evita el uso de intercambiadores de calor

configurados de manera diferente y/o en orientaciones diferentes y las realizaciones no están limitadas en este sentido. Además, aunque la línea de flotación 160 se muestra como estando situada justo por encima de las porciones superiores de los intercambiadores de calor 140 y 145, en otras implementaciones, el recipiente 110 del reactor puede incluir una mayor o menor cantidad de agua.

5 En la Figura 1, la operación normal del reactor nuclear procede en una forma en la que el refrigerante caliente se eleva a través del canal 130 y hace contacto con los intercambiadores de calor 140 y 145. Después de ponerse en contacto con los intercambiadores de calor 140 y 145, el refrigerante se disipa hacia la parte inferior del recipiente 110 del reactor de una manera que induce un proceso de sifón térmico. En el ejemplo de la Figura 1, el refrigerante dentro del recipiente 110 del reactor permanece a una presión por encima de la presión atmosférica, permitiendo así que el refrigerante mantenga una temperatura alta sin vaporización (es decir, ebullición).

15 A medida que el refrigerante dentro de los intercambiadores de calor 140 y 145 aumenta la temperatura, el refrigerante puede comenzar a hervir. A medida que comienza la ebullición, el refrigerante vaporizado se encamina a través de la válvula de aislamiento de vapor principal (MSIV) 180 y MSIV 185. El refrigerante vaporizado, tal como vapor, se puede utilizar para accionar una o más turbinas que convierten la energía potencial térmica del vapor en energía eléctrica. Después de la condensación, el refrigerante se devuelve a los intercambiadores de calor 140 y 145 a modo de dispositivos de control tal como la válvula de aislamiento de alimentación principal (MFIV) 170 y MFIV 175, respectivamente. En el ejemplo de la Figura 1, las válvulas de aislamiento de eliminación de calor (HRIV) 20 120 y HRIV 125 y/o MSIV 180 y 185 mantienen los condensadores 150 y 155 en una condición relativamente aislada en la que ni vapor ni agua se transportan a los condensadores. En un ejemplo, los condensadores 150 y 155 se acoplan estructuralmente al recipiente de contención 100.

25 Las MSIV 180 y 185, MFIV 170 y 175, y HRIV 120 y 125 representan uno cualquiera de los diversos tipos de dispositivos de control que, en respuesta a una señal en un puerto de entrada, funcionan para conectar un puerto de entrada a un puerto de salida en respuesta a una señal recibida. Por ejemplo, el sensor de degradación 115 puede generar una señal en un puerto de salida que responde a la detección de una caída de presión en un puerto de entrada y/o un puerto de salida de la MSIV 180 o 185 o una caída de presión en una entrada y/o una salida de las MFIV 170 y 175 que cumplen con ciertos criterios. Sin embargo, en otras implementaciones, los dispositivos de control (por ejemplo MSIV, MFIV, y HRIV) pueden accionarse como resultado de otros estímulos presentes en un puerto de entrada del dispositivo.

35 En el ejemplo de la Figura 1, un sensor de degradación 115 genera una señal a un puerto de salida que identifica la ocurrencia de un evento relacionado con la refrigeración, que puede incluir una pérdida de agua de alimentación, una pérdida de potencia fuera de sitio, un fallo dentro de una bomba de refrigerante, una rotura en una tubería u otro conducto que transporte agua de alimentación, una pérdida de un calentador de agua de alimentación, o cualquier otro evento que evite, degrade, o disminuya el flujo de refrigerante a un generador de vapor dentro de un recipiente del reactor. Como resultado, una o más de MSIV 180 y 185 y/o MFIV 170 y 175 se ajustan para aislar uno o más de los condensadores 150 y 155. Además, una señal procedente de un puerto de salida del sensor de degradación 115 da como resultado que las HRIV 120 y 125 se ajusten para permitir el flujo a través de los condensadores 150 y 155. Sin embargo, en otros ejemplos, una o más de MSIV 180 y 185, y/o MFIV 170 y 175, pueden ajustarse como resultado de otras condiciones.

45 La Figura 2A muestra una porción del reactor nuclear de la Figura 1 junto con un gráfico de la presión de entrada del condensador como una función del tiempo en la Figura 2B. En la Figura 2A, diversas porciones del reactor nuclear de la Figura 1 se han eliminado o reducido en tamaño a fin de aclarar las porciones operativas del reactor. Un tiempo  $t_0$ , que se muestra en la Figura 2B, representa un tiempo antes de la ocurrencia de un evento relacionado con la refrigeración. Por lo tanto, la presión en un puerto de entrada al condensador 150 y/o 155 puede representarse como  $p_0$ , y corresponde a una presión normal o en estado estacionario. En el tiempo  $t_0$ , los intercambiadores de calor 140 y 145 incluyen refrigerante líquido a el nivel del  $L_{h0}$ , como se muestra en la Figura 2A. El nivel del refrigerante líquido presente en los condensadores 150 y 155 puede representarse como  $L_{c0}$ , también en el tiempo  $t_0$ . Cabe señalar que, en algunas implementaciones, el nivel de refrigerante en el tiempo  $t_0$  puede aumentar a un nivel incluso mayor que  $L_{c0}$ , tal vez a un nivel que está próximo con línea de flotación 199 de la Figura 2.

55 En el ejemplo de la Figura 2A, si se produce un evento relacionado con la refrigeración, la MSIV 180 se puede cerrar de una manera que bloquee el refrigerante vaporizado del intercambiador de calor. Un evento relacionado con la refrigeración puede resultar también que la MFIV 170 se cierre y la HRIV 120 conmute de modo permita el flujo de refrigerante desde un puerto de salida del condensador 150 hacia un puerto de entrada del intercambiador de calor 140 dentro del recipiente 110 del reactor. Un evento relacionado con la refrigeración da como resultado que la MSIV 185 se cierre, lo que resulta en permitir que el refrigerante fluya desde un puerto de salida del intercambiador de calor 145 hasta un puerto de entrada del condensador 155. El evento relacionado con la refrigeración puede también resultar en la conmutación de la HRIV 125, lo que permite que el refrigerante fluya desde un puerto de salida de un condensador 155 hacia un puerto de entrada del intercambiador de calor 145.

65 En un ejemplo, en un tiempo  $t_1$ , que corresponde a un tiempo después de la ocurrencia de un evento relacionado con la refrigeración, el nivel del refrigerante líquido, presente en los intercambiadores de calor 140 y 145, disminuye

desde un nivel relativamente alto, tal como  $L_{h0}$ , hasta un nivel relativamente bajo, que se representa como  $L_{h1}$ . Puesto que una cantidad relativamente grande de refrigerante se convierte de una fase líquida a una fase de vapor, la presión dentro de los intercambiadores de calor y en los puertos de entrada de los condensadores 150 y 155 se incrementa al nivel de  $p_1$ , mostrado en la Figura 2B. Puesto que el refrigerante vaporizado en virtud de un aumento de la presión de los intercambiadores de calor puede fluir a los puertos de entrada de los condensadores 150 y 155 140 y 145, al menos algo del refrigerante líquido se impulsa desde los condensadores 150 y 155, reduciendo de este modo el nivel del refrigerante líquido de  $L_{c0}$  a  $L_{c1}$ .

A medida que el refrigerante vaporizado desde los puertos de salida de los intercambiadores de calor 140 y 145 se transporta a los puertos de entrada de los condensadores 150 y 155, el refrigerante experimenta un cambio de fase de vapor a líquido como resultado de la transferencia de calor desde los condensadores al líquido circundante en el que el reactor y el condensador se sumergen al menos parcialmente. Por consiguiente, en un tiempo  $t_2$ , una presión correspondiente dentro de los intercambiadores de calor 140 y 145, así como los condensadores 150 y 155 regresa de  $p_1$  a un nivel que se aproxima a  $p_0$ . Puesto que se produce una condensación adicional del refrigerante vaporizado, el nivel del refrigerante presente en los intercambiadores de calor 140 y 155 puede aumentar  $L_{h1}$  a  $L_{h2}$ . En la Figura 2A, los niveles del refrigerante líquido dentro de los condensadores 150 y 155,  $L_{c2}$ , se muestran como siendo aproximadamente iguales a  $L_{c1}$ . Sin embargo, en otras implementaciones,  $L_{c2}$  puede representar un nivel mayor o menor que  $L_{c1}$ .

La Figura 3 es un diagrama de un segundo ejemplo de un reactor nuclear y del sistema de eliminación de calor asociado. En la Figura 3, el recipiente de contención 200 rodea el recipiente 210 del reactor, que incluye núcleo 205 del reactor. A medida que se genera calor dentro del núcleo 205 del reactor, el refrigerante líquido, como se muestra por las flechas 235, se eleva hacia arriba a través del canal 230 y sobre la porción superior de los intercambiadores de calor 240 y 245. A medida que el refrigerante se desplaza hacia abajo a lo largo del perímetro del recipiente 210 del reactor, el refrigerante imparte calor a los intercambiadores de calor 240 y 245. Por ejemplo, el refrigerante dentro del recipiente reactor 210 se llena hasta el nivel 260.

En una implementación, el recipiente de contención 200 junto con los condensadores 250 y 255 se sumergen parcialmente por debajo de la línea de flotación 299 dentro de un compartimento del reactor en el que los condensadores se acoplan estructuralmente a las paredes 290 y 295 del compartimento del reactor. Por ejemplo, durante un evento relacionado con la refrigeración, una o más de MSIV 280 y 285 y/o MFIV 270 y 275 se ajustan para bloquear el flujo de refrigerante procedente de los intercambiadores de calor 240 y 245. Además, las HRIV 220 y 225 se ajustan para permitir el flujo a través de los condensadores 250 y 255 hacia los puertos de entrada de los intercambiadores de calor 240 y 245. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una o más de MSIV 280 y 285, MFIV 270 y 275, y/o HRIV 220 y 225 se pueden ajustar como resultado de otras condiciones, y las realizaciones no se limitan en este sentido.

La Figura 4 es un diagrama de un reactor nuclear que emplea diversas y quizás implementaciones separadas de un sistema de eliminación de calor. En la Figura 4, el recipiente de contención 300 es mucho más grande que el recipiente 310 del reactor. El núcleo 305 del reactor se muestra como entrando en contacto con un refrigerante dentro del recipiente 310 del reactor, que se eleva como resultado del calentamiento por el núcleo del reactor. En un primer ejemplo, el condensador 351 se coloca entre el recipiente 310 del reactor y el recipiente de contención 300 y extrae refrigerante desde una ubicación por debajo de la línea de flotación 360. Después de pasar a través del condensador 351, el refrigerante se alimenta de nuevo en el recipiente 310 del reactor en una ubicación próxima al núcleo 305 del reactor, proporcionando así la capacidad de eliminar el calor del refrigerante del circuito primario dentro del recipiente 310 del reactor. En un circuito secundario, un condensador 350, al menos parcialmente sumergido por debajo de línea de flotación 399, se acopla fluidamente al condensador 351 para proporcionar la capacidad de eliminar calor del condensador 351.

En un segundo ejemplo, que también se muestra en la Figura 4, un puerto de entrada y un puerto de salida del condensador 352 interfieren directamente con el refrigerante dentro del recipiente 310 del reactor. En un tercer ejemplo, que se muestra también en la Figura 4, el condensador 352 se sumerge al menos parcialmente junto con recipiente de contención 300 dentro de una piscina común de líquido dentro de un compartimento del reactor. En otro ejemplo, el condensador 353 y el recipiente de contención 300 se sumergen al menos parcialmente por debajo de la línea de flotación 399 dentro de una piscina común de líquido. El condensador 353 recibe refrigerante del intercambiador de calor 345 y proporciona refrigerante a una temperatura reducida al intercambiador de calor dentro del recipiente 310 del reactor.

La Figura 5 es una vista de extremo de un recipiente de contención para un reactor nuclear que descansa sobre una instalación de servicio. En la Figura 5, el recipiente de contención 415 está descansando en una instalación de servicio 420. Los condensadores 405 y 410 se acoplan, ambos, estructuralmente adyacentes entre sí en un lado del recipiente de contención en forma cilíndrica o en forma de cápsula. Para montar los condensadores en el recipiente de contención como una estructura unitaria, toda la estructura se puede retirar de un compartimento del reactor lleno de agua y colocarse sobre la instalación de servicio 420 para el envío, reabastecimiento de combustible, reparación, y/u otro tipo de mantenimiento.

Aunque varios ejemplos se han ilustrado y descrito, se entenderá por los expertos en la materia que diversas otras modificaciones pueden hacerse sin apartarse del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un reactor nuclear, que comprende:
  - 5 un recipiente del reactor (110, 210, 310);  
un recipiente de contención (100, 200, 300) que rodea el recipiente del reactor;  
un intercambiador de calor (140, 150) dentro del recipiente del reactor; y  
un primer condensador (150, 155) dispuesto para recibir refrigerante procedente del intercambiador de calor  
dentro del recipiente del reactor, estando el primer condensador situado fuera del recipiente de contención,  
10 teniendo, además, el primer condensador un puerto de entrada y un puerto de salida, cada uno acoplado  
fluidamente con el refrigerante procedente del intercambiador de calor dentro del recipiente del reactor, con lo  
que el refrigerante fluye entrando en el puerto de entrada y saliendo del puerto de salida; y  
en donde el recipiente de contención y el primer condensador están sumergidos al menos parcialmente dentro de  
una piscina común (199, 299, 399).  
15
  2. El reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que la piscina común comprende refrigerante líquido.
  3. El reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que el primer condensador está acoplado estructuralmente al  
recipiente de contención.  
20
  4. El reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que un segundo condensador (150, 155) está acoplado  
estructuralmente adyacente al primer condensador en una porción cilíndrica del recipiente de contención.
  5. El reactor nuclear de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:  
25 un primer dispositivo de control (120, 125) que se puede ajustar para permitir que el refrigerante fluya desde el  
primer condensador hasta una primera porción del intercambiador de calor (140, 145) dentro del recipiente del  
reactor.
  6. El reactor nuclear de la reivindicación 5, que comprende adicionalmente:  
30 un segundo dispositivo de control (180, 185) que se puede ajustar para permitir que el refrigerante fluya desde una  
segunda porción del intercambiador de calor dentro del recipiente del reactor hasta el primer condensador.
  7. El reactor nuclear de la reivindicación 6, que comprende adicionalmente:  
35 un sensor de degradación (115) sensible a la degradación en un sistema de refrigeración del reactor nuclear, el  
sensor de la degradación adaptado para generar una señal de salida en un puerto de entrada del primer dispositivo  
de control (120, 125), y  
pudiendo el primer dispositivo de control ajustarse para permitir que el refrigerante fluya desde el primer  
condensador hacia el intercambiador de calor dentro del recipiente del reactor.
  - 40 8. El reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que el condensador está acoplado estructuralmente a una superficie  
interior de una estructura que define, al menos en parte, la forma de la piscina común.
  9. El reactor nuclear de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:  
45 una válvula de aislamiento de vapor principal (180, 185) situada entre el intercambiador de calor dentro del  
recipiente del reactor y el primer condensador, pudiendo la válvula de aislamiento de vapor principal ajustarse  
para permitir que el refrigerante fluya desde el recipiente del reactor hacia el primer condensador; y  
una válvula de aislamiento de alimentación principal (170, 175) acoplada a una válvula de aislamiento de  
eliminación de calor (120, 125), pudiendo la válvula de aislamiento de alimentación principal y la válvula de  
50 aislamiento de eliminación de calor ajustarse selectivamente para permitir que el refrigerante fluya desde el  
primer condensador hacia el intercambiador de calor dentro del recipiente del reactor.
  10. El reactor nuclear de la reivindicación 9, en el que la válvula de aislamiento de vapor principal está situada entre  
el intercambiador de calor y el primer condensador, y además en el que la válvula de aislamiento de eliminación de  
55 calor está situada entre el primer condensador y el intercambiador de calor.
  11. El reactor nuclear de la reivindicación 1, que comprende además:  
60 un segundo condensador (351) situado entre el recipiente del reactor y el recipiente de contención y configurado  
para recibir el refrigerante procedente del recipiente del reactor; y  
un tercer condensador (350) situado fuera del recipiente del reactor y configurado para recibir el refrigerante  
procedente del segundo condensador.
  - 65 12. Un método de eliminación de calor de un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende:

accionar un dispositivo de control; y  
transportar, en respuesta al accionamiento del dispositivo de control, refrigerante vaporizado a través de un  
condensador, en donde  
5 el condensador y un recipiente de contención del reactor nuclear están sumergidos al menos parcialmente en  
una piscina común,  
el condensador y el recipiente de contención están en contacto directo con el líquido de la piscina común.

13. El método de la reivindicación 12, en el que el transporte comprende:

10 transportar el refrigerante vaporizado al condensador, en donde  
el condensador está acoplado estructuralmente al recipiente de contención.

14. El método de la reivindicación 12, en el que el transporte comprende acoplar fluidamente el refrigerante  
vaporizado a un condensador estructuralmente acoplado a una superficie de una estructura que define, al menos en  
15 parte, la forma de la piscina común.

15. El método de la reivindicación 12, que comprende adicionalmente:

20 detectar, antes de accionar el dispositivo de control, una capacidad de refrigeración III de degradación del reactor  
nuclear,  
en donde la detección es el resultado de, al menos en parte, uno del grupo que consiste en: una pérdida de agua  
de alimentación, una pérdida de potencia fuera de sitio, un fallo dentro de una bomba de refrigerante, una rotura  
en un conducto que transporta agua de alimentación, una pérdida de un calentador de agua de alimentación,  
y cualquier combinación de los mismos.  
25



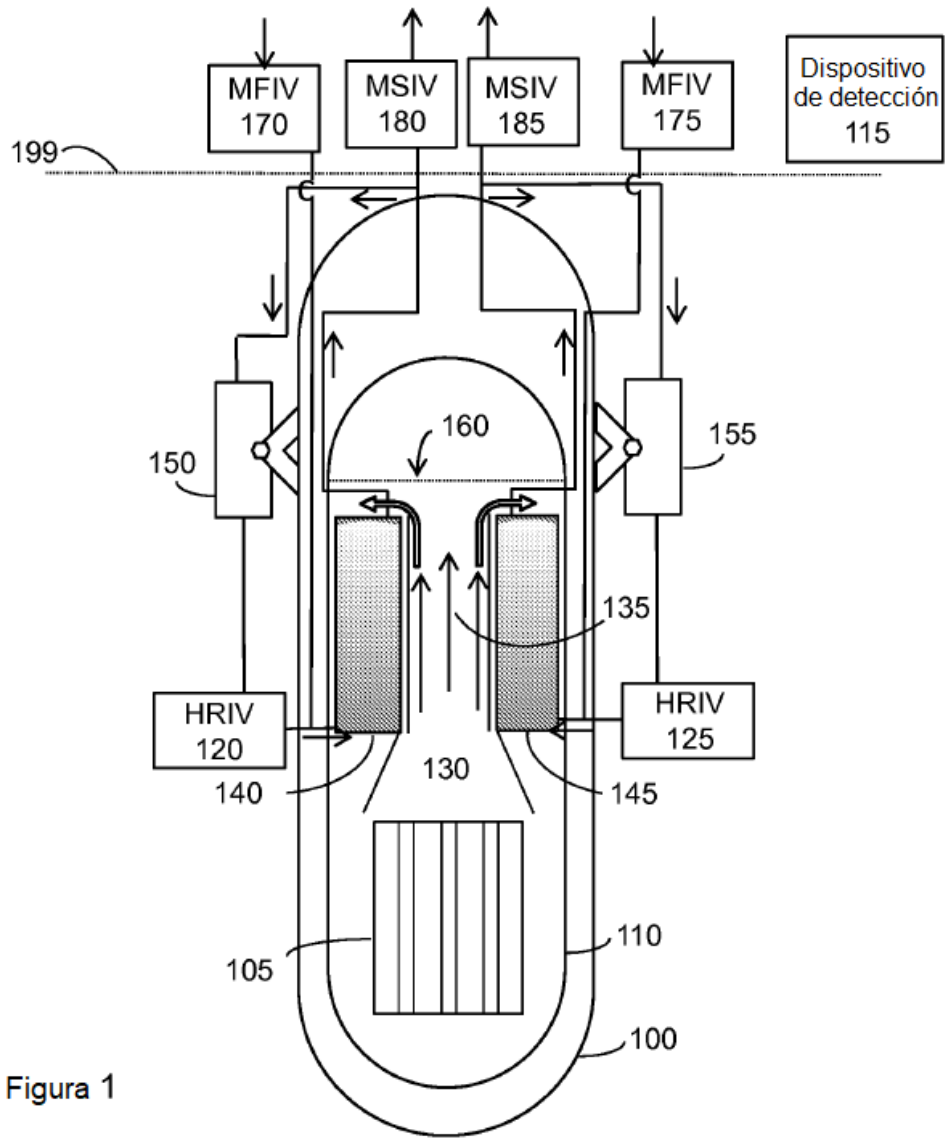


Figura 1

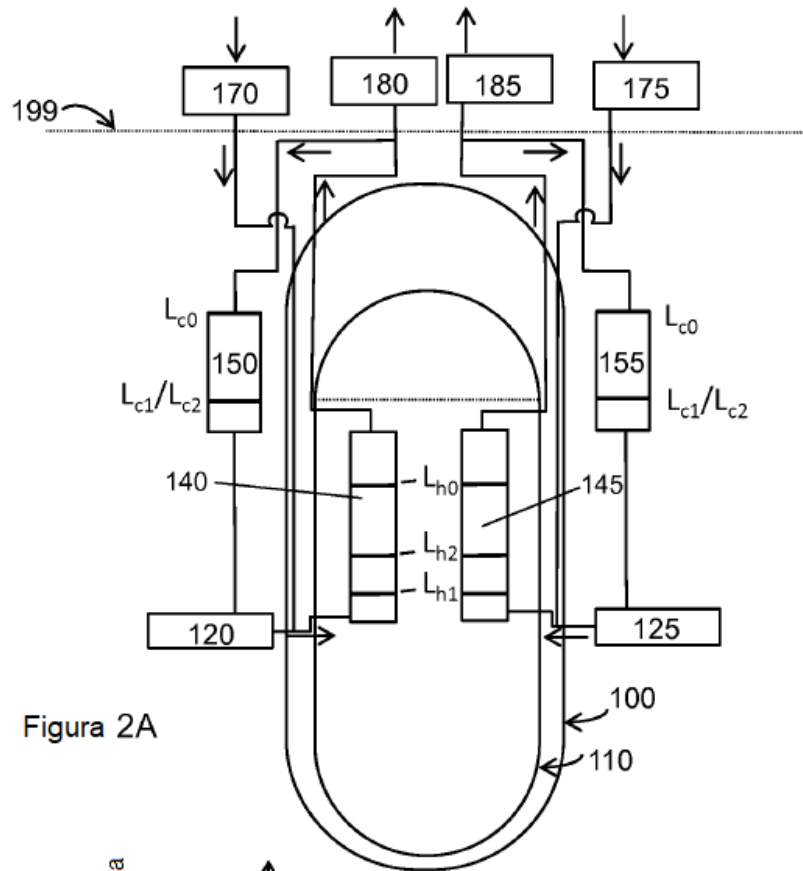


Figura 2A

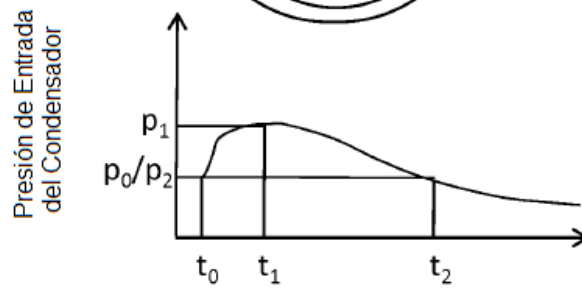


Figura 2B

Tiempo

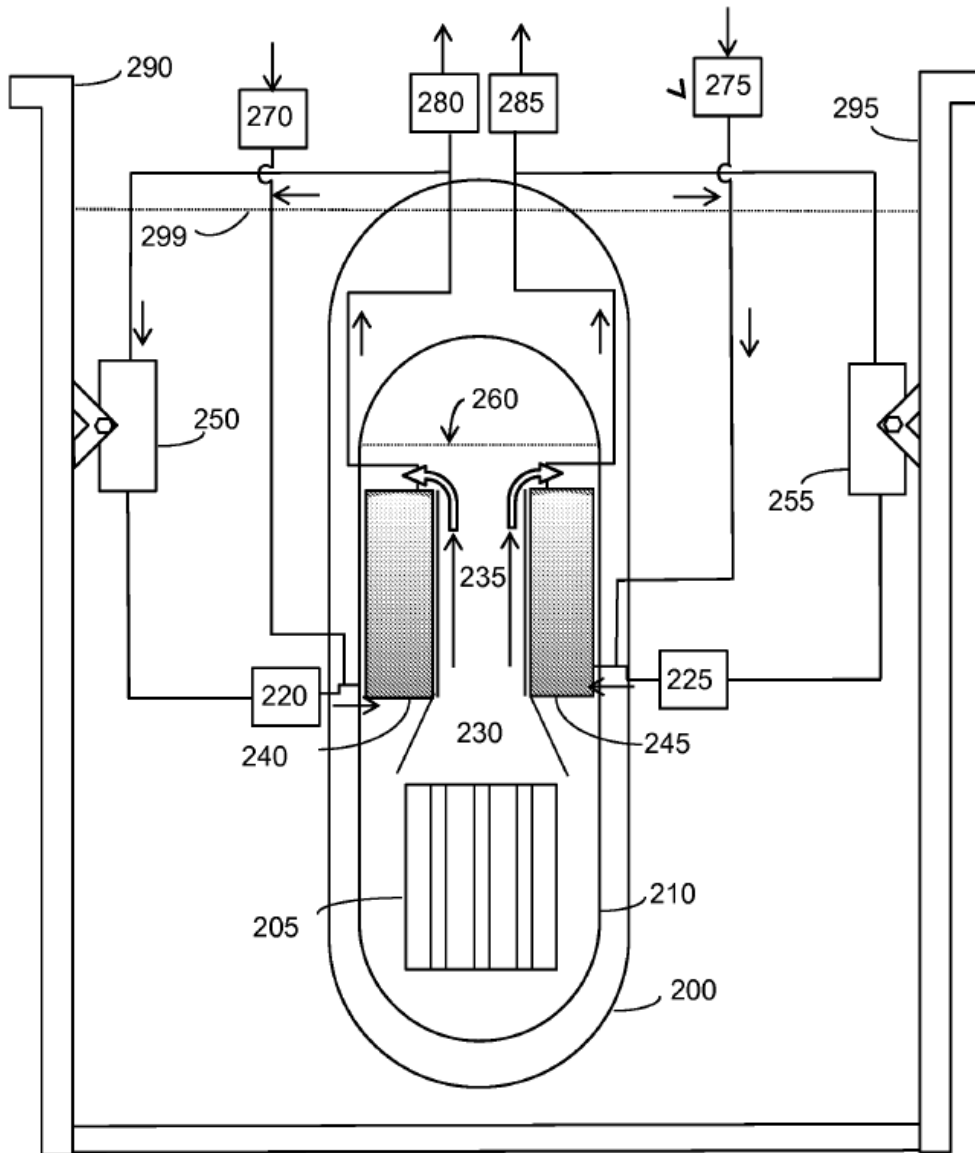


Figura 3

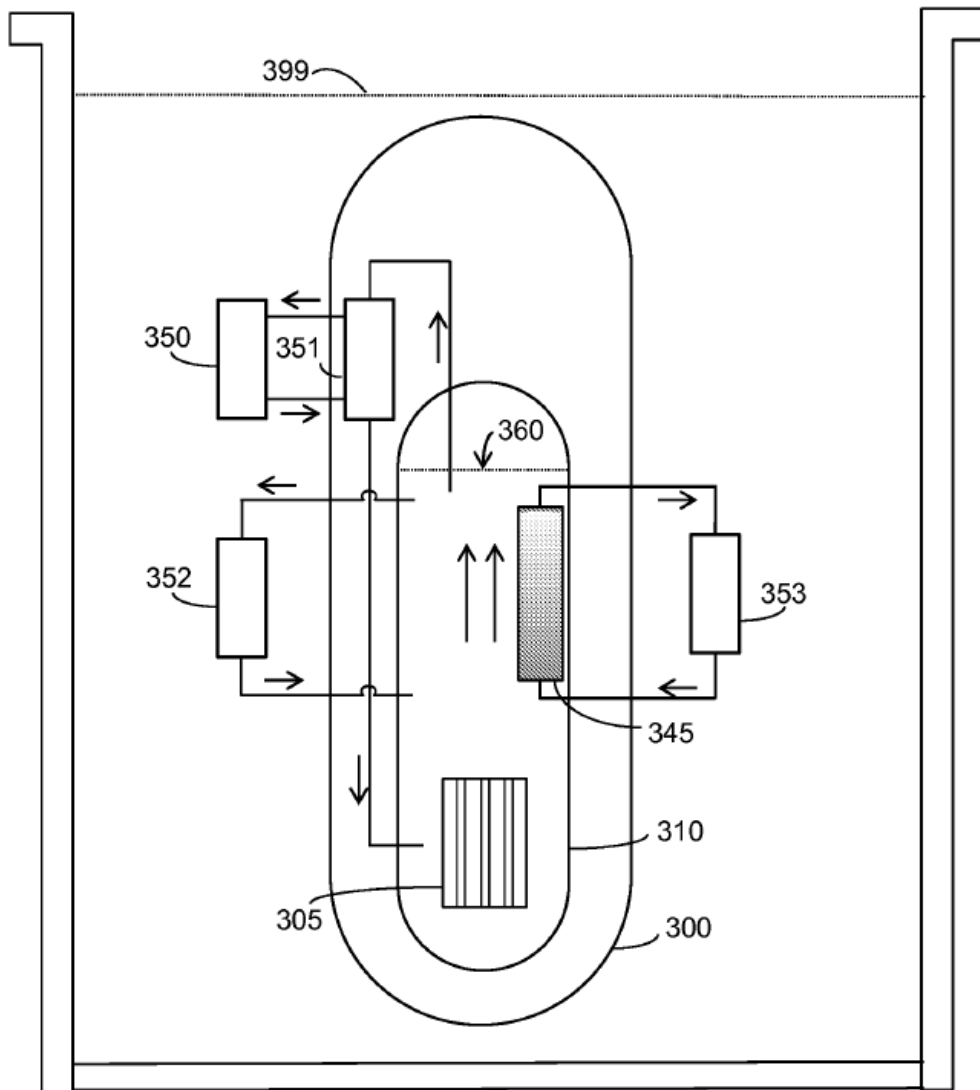


Figura 4

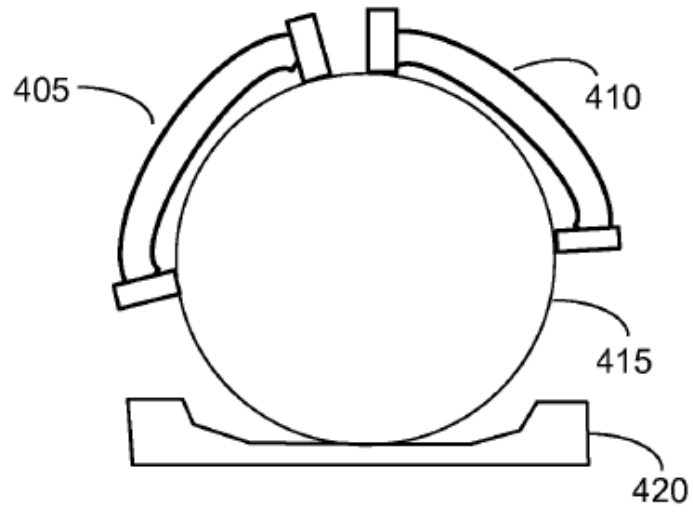


Figura 5