

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 477 587**

51 Int. Cl.:

G21C 1/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2008 E 08871861 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2218076**

54 Título: **Sistema pasivo de alimentación de agua de emergencia para un reactor nuclear**

30 Prioridad:

15.05.2008 US 121733
15.11.2007 US 988348 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.07.2014

73 Titular/es:

**THE STATE OF OREGON ACTING BY AND
THROUGH THE STATE BOARD OF HIGHER
EDUCATION ON BEHALF OF OREGON STATE
UNIVERSITY (100.0%)
Oregon State University Office of Technology
Transfer, Kerr 312
Corvallis, OR 97331-2140, US**

72 Inventor/es:

**REYES, JOSE N. y
GROOME, JOHN T.**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 477 587 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 pasivo de alimentación de agua de emergencia para un reactor nuclear.

Campo técnico

La presente invención versa sobre un sistema refrigerador para 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 intervención o supervisión de operarios, al menos durante algún periodo predefinido de tiempo. Un proyecto de reactor pequeño de aplicaciones múltiples de agua ligera realizado con la asistencia del Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, NEXANT, y del Departamento de Ingeniería Nuclear de la Universidad Estatal de Oregón se propuso desarrollar un reactor de agua ligera natural seguro y económico. La Figura 1 ilustra un diseño 5 de reactor nuclear resultante de este proyecto.

El diseño 5 de reactor nuclear incluye un núcleo 6 de reactor rodeado por una vasija 2 de reactor. El agua 10 de la vasija 2 del reactor rodea el núcleo 6 del reactor. El núcleo 6 del reactor está además situado en una envoltura 22 que rodea al núcleo 6 del reactor por sus lados. Cuando el núcleo 6 del reactor calienta el agua 10 como consecuencia de eventos de fisión, el agua 10 se dirige desde la envoltura 22 y saliendo de un tubo elevador 24. Esto da como resultado que más agua 10 sea introducida y calentada por el núcleo 6 del reactor, que mete más agua 10 aún en la envoltura 22. El agua 10 que emerge del tubo elevador 24 es enfriada y dirigida hacia el anillo 23 y luego vuelve al fondo de la vasija 2 del reactor mediante circulación natural. Al calentarse el agua 10, se produce vapor 11 a presión en la vasija 2 del reactor.

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 supercalentado. 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 modo que nos se les permite mezclarse ni entrar en contacto entre sí.

La vasija 2 del reactor está rodeada por una vasija 4 de contención. La vasija 4 de contención está situada en una piscina 16 de agua. La piscina 16 de agua y la vasija 4 de contención están bajo tierra 9 en un hueco 7 del reactor. La vasija 4 de contención está diseñada de modo que no se permite que agua o vapor de la vasija 2 del reactor escape a la piscina 16 de agua ni al entorno circundante. Se proporciona una válvula 8 de vapor para descargar vapor 11 de la vasija 2 del reactor a la mitad superior 14 de la vasija 4 de contención. Se proporciona una válvula sumergida 18 de purga para liberar el agua 10 en la piscina 12 de supresión, que contiene agua subenfriada.

El reactor nuclear 5 está diseñado para responder, durante una pérdida de flujo, disparando automáticamente el núcleo 6 del reactor, inundando la vasija 4 de contención o despresurizando la vasija 2 del reactor. Estas últimas dos respuestas dan como resultado que el reactor nuclear 5 se pare y sea incapaz de generar electricidad durante un periodo de tiempo prolongado.

La presente invención aborda estos y otros problemas.

El documento EP 0 353 867 A1 da a conocer un sistema pasivo de refrigeración de emergencia del núcleo y de eliminación del calor residual para reactores nucleares refrigerados por agua. Un reactor nuclear incluye un núcleo de reactor sumergido en un refrigerante primario. El refrigerante primario circula no solo por el núcleo del reactor, sino también por toda la vasija a presión. Cualquier agua proporcionada por un depósito de refrigeración de emergencia del núcleo entra en la vasija a presión a través de una tubería. El depósito de refrigeración de emergencia del núcleo proporciona agua de aporte para el refrigerante primario que puede ser liberada nuevamente a través de una tubería de ventilación en el depósito de refrigeración de emergencia del núcleo.

La patente estadounidense nº 4.363.780 da a conocer un reactor de agua en ebullición en el que se logra una refrigeración de emergencia sin el uso de bombas. Un núcleo de reactor está rodeado por una vasija a presión, y la vasija a presión está rodeada por una piscina llena de agua. Las válvulas de refrigeración de emergencia se controlan de tal modo que están abiertas cuando el nivel de agua en la vasija del reactor está por debajo de cierto nivel mínimo. Cuando se abren las válvulas, fluye vapor al exterior de la vasija del reactor a través de una tubería superior de refrigeración de emergencia, mientras que fluye agua desde la piscina a la vasija del reactor a través de tuberías inferiores de refrigeración de emergencia tan pronto como la diferencia de presión estática en la piscina entre la tubería inferior de refrigeración de emergencia y la tubería superior de refrigeración de emergencia es mayor que la caída de presión del flujo de vapor que atraviesa esta.

La invención está definida por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes versan sobre características opcionales de algunas realizaciones de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra un sistema de energía nuclear conocido en la técnica.

La Figura 2 ilustra un conjunto novedoso de módulo de potencia que incluye un sistema secundario de refrigeración.

La Figura 3 ilustra una realización de un sistema novedoso de refrigeración de emergencia.

La Figura 4 ilustra un procedimiento novedoso de refrigeración de un reactor nuclear.

Sumario de la invención

En el presente documento se divulga que un conjunto de módulo de potencia comprende una vasija de reactor que contiene un núcleo de reactor rodeado por un refrigerante primario. Una vasija de contención está adaptada para estar sumergida en una piscina de refrigeración de contención y para prohibir la liberación de refrigerante primario fuera de la vasija de contención. Un sistema secundario de refrigeración está configurado para eliminar calor generado por el núcleo del reactor, en el que el calor se elimina haciendo circular líquido desde la piscina de refrigeración de contención mediante el refrigerante primario.

En el presente documento se divulga que un sistema de refrigeración para un reactor nuclear comprende una conducción de entrada configurada para suministrar refrigerante a un intercambiador de calor, y una conducción de salida conectada al intercambiador de calor. La conducción de salida está configurada para eliminar calor del reactor nuclear. El sistema de refrigeración comprende, además, un orificio de entrada adaptado para suministrar agua de alimentación de emergencia a la conducción de entrada, y un orificio de salida conectado a la conducción de salida y configurado para desgasificar el agua de alimentación de emergencia. El sistema de refrigeración está configurado para hacer circular el agua de alimentación de emergencia por el intercambiador de calor mediante circulación natural.

En el presente documento se divulga un procedimiento de refrigeración de un reactor nuclear. El procedimiento comprende detectar una condición de pérdida de agua de alimentación y sustituir un flujo de agua de alimentación desde un sistema secundario de refrigeración con un suministro de agua de alimentación de emergencia. Se hace circular el agua de alimentación de emergencia por un intercambiador de calor para eliminar calor del reactor nuclear. Se hace circular el agua de alimentación de emergencia mediante circulación natural.

Descripción de realizaciones ejemplares

La obtención de las licencias y la construcción de instalaciones nucleares convencionales resultan caras, con costes de inversión significativa por adelantado y una demora en la obtención de beneficios. Además de consideraciones sobre el coste de la energía, los requisitos de eficiencia y las inquietudes de fiabilidad, los diseños actuales de reactores nucleares también deben tener en cuenta asuntos relativos a la proliferación nuclear, actividades terroristas y una mayor conciencia de la mayordomía medioambiental.

A menudo, se deja que los países en vías de desarrollo, que, en otro caso, podrían beneficiarse muchísimo de la energía nuclear, recurran a otras fuentes de energía tales como el carbón, el gas o generadores de energía hidroeléctrica que producen cantidades significativas de contaminación o tienen otro impacto medioambiental perjudicial. Estos países en vías de desarrollo pueden no tener los recursos tecnológicos o naturales que les permitan construir una central nuclear. Los países que ya han desarrollado la energía nuclear pueden vacilar a la hora de introducir estas tecnologías en países en vías de desarrollo debido a la preocupación de perder el control de los materiales o la tecnología nucleares.

Los sistemas de energía nuclear de seguridad pasiva contribuyen a abordar algunas de estas inquietudes. Se espera que mejoras adicionales de sistemas y los diseños innovadores den lugar a una nueva era de la energía nuclear como una fuente primaria de energía viable globalmente.

En el diseño de un reactor pequeño de aplicaciones múltiples de agua ligera (MASLWR), una pérdida de flujo del agua de alimentación requiere la actuación del modo de operación de enfriamiento a largo plazo para proporcionar refrigeración al núcleo. Por ejemplo, disparando el núcleo del reactor, inundando la vasija de contención o despresurizando la vasija del reactor. Estas últimas dos respuestas dan como resultado que el reactor nuclear se pare y sea incapaz de generar electricidad durante un periodo de tiempo prolongado. Además, en el diseño del MASLWR no se hizo provisión alguna para la eliminación del calor de decaimiento durante una pérdida de potencia del emplazamiento.

La Figura 2 ilustra un conjunto 25 novedoso de un módulo de potencia que incluye un sistema 50 de refrigeración secundaria. El conjunto 25 de módulo de potencia incluye una vasija 44 de contención internamente seca. La vasija 44 de contención tiene forma cilíndrica, y tiene unos extremos superior e inferior esféricos. Todo el conjunto 25 de módulo de potencia puede estar sumergido en una piscina 46 de refrigeración de contención que hace de sumidero final de calor. La vasija 44 de contención puede estar soldada o sellada de otra forma con respecto al entorno, de

modo que no puedan escapar del conjunto 25 de módulo de potencia, ni entrar en el mismo, líquidos ni gas. La vasija 44 de contención puede estar apoyada en su parte inferior, soportada por su parte superior o soportada en torno a su centro. Soportar la vasija 44 de contención por la parte superior puede facilitar el mantenimiento y la extracción del conjunto 25 de módulo de potencia de la piscina 46 de refrigeración de contención.

- 5 Dentro de la vasija 44 de contención hay situada o montada una vasija 42 de reactor. Una superficie interior de la vasija 42 del reactor puede estar expuesta a un entorno húmedo que incluya un refrigerante o líquido primario 100, tal como agua, y una superficie exterior puede estar expuesta a un entorno seco, tal como el aire. La vasija 42 del reactor puede estar fabricada de acero inoxidable o acero al carbono, puede incluir envainado y puede estar soportada dentro de la vasija 44 de contención.
- 10 El conjunto 25 de módulo de potencia puede estar dimensionado de modo que pueda ser transportado en un vagón ferroviario. Por ejemplo, la vasija 44 de contención puede ser construida para que sea de aproximadamente 4,3 metros de diámetro y de 17,7 metros de altura (longitud). Sellando completamente la vasija 44 de contención, puede restringirse el acceso al núcleo 6 del reactor. Puede monitorizarse cualquier acceso o manipulación no autorizados. Además, el perfil subterráneo de un sistema de energía nuclear lo hace menos visible y más fácil de ocultar. La
- 15 piscina 46 de refrigeración de contención puede estar cubierta de un blindaje protector (no mostrado) para aislar adicionalmente al conjunto 25 de módulo de potencia de amenazas externas u objetos aerotransportados, como aviones o misiles.

20 La vasija 44 de contención encapsula y, en algunas condiciones, enfría el núcleo 6 del reactor. Es relativamente pequeña, tiene una gran resistencia y puede ser capaz de soportar seis o siete veces la presión de los diseños de contención convencional, en parte debido a sus menores dimensiones totales. Dada una rotura en el sistema de refrigeración primaria del conjunto 25 de módulo de potencia, no se libera al entorno ningún producto de fisión. El refrigerante primario 100 permanece contenido por entero en la vasija 44 de contención.

25 El núcleo 6 del reactor está ilustrado sumergido o inmerso en un refrigerante primario 100, tal como agua. La vasija 42 del reactor aloja el refrigerante primario 100 y el núcleo 6 del reactor. Una envoltura 22 rodea el núcleo 6 del reactor en torno a sus lados y sirve para dirigir el refrigerante primario 100 ascendentemente a través de un anillo 23 y saliendo por un tubo ascendente 24 situado en la mitad superior de la vasija 42 del reactor como consecuencia de la circulación natural del refrigerante primario 100. En una realización, la vasija 42 del reactor tiene aproximadamente 2,7 metros de diámetro e incluye una altura total (longitud) de 13,7 metros. La vasija 42 del reactor puede incluir una forma predominantemente cilíndrica con unos extremos superior e inferior esféricos. La

30 vasija 42 del reactor está normalmente a una presión y una temperatura operativas. En una realización, la vasija 44 de contención está internamente seca y puede operar a presión atmosférica con temperaturas de la pared a la temperatura de la piscina 46 de refrigeración de contención, o a una temperatura cercana.

35 Durante la operación normal, la energía térmica derivada de eventos de fisión en el núcleo 6 del reactor hace que el refrigerante primario 100 se caliente. A medida que el refrigerante primario 100 se calienta, se vuelve menos denso y tiende a subir por el tubo ascendente 24. A medida que el refrigerante primario 100 se enfría, se vuelve relativamente más denso que el refrigerante calentado y se lo hace circular alrededor del exterior del anillo 23, descendiendo hasta el fondo de la vasija 42 del reactor y ascendiendo por la envoltura 22 para ser calentado de nuevo por el núcleo 6 del reactor. Esta circulación natural hace que el refrigerante primario 100 realice un ciclo a través del núcleo 6 del reactor, transfiriendo calor a un sistema 50 de refrigeración secundaria para generar

40 electricidad en un generador, tal como el generador 34 de la Figura 1.

45 El sistema 50 de refrigeración secundaria comprende una conducción 53 de entrada configurada para suministrar un refrigerante secundario a un intercambiador 55 de calor que opera como un sumidero de calor para el conjunto 25 de módulo de potencia. Hay conectada una conducción 52 de salida al intercambiador 55 de calor y está configurada para eliminar calor del núcleo 6 del reactor haciendo circular el refrigerante secundario a través del refrigerante primario contenido en la vasija 42 del reactor. Por lo tanto, la conducción 53 de entrada y la conducción 52 de salida hacen de medio de suministro del refrigerante secundario para el sistema 50 de refrigeración secundaria. Se transporta refrigerante secundario relativamente frío al intercambiador 55 de calor por medio de la conducción 53 de entrada, mientras que como refrigerante relativamente caliente o supercalentado es transportado desde el intercambiador 55 de calor hasta el generador por medio de la conducción 52 de salida.

50 El sistema 50 de refrigeración secundaria comprende, además, uno o más orificios 54 de entrada adaptados para suministrar agua de alimentación de emergencia a la conducción 53 de entrada. En una realización, el suministro de agua de alimentación de emergencia está contenido en la piscina 46 de refrigeración de contención. La piscina 46 de refrigeración de contención puede contener agua o algún otro refrigerante líquido. Puede haber una o más válvulas 58 de salida conectadas a la conducción 52 de salida y configuradas para desgasificar el agua de alimentación de emergencia una vez que ha circulado a través del intercambiador 55 de calor. Puede proporcionarse una válvula 56 de retención entre el orificio 54 de entrada y la conducción 53 de entrada para restringir el flujo de agua de alimentación de emergencia o refrigerante secundario en una dirección. El orificio 54 de entrada puede incluir una criba de entrada para filtrar los contaminantes de la piscina 46 de refrigeración de contención.

55

- 5 El sistema 50 de refrigeración secundaria puede estar configurado para hacer circular el agua de alimentación de emergencia a través del intercambiador 55 de calor mediante circulación natural. La circulación natural puede lograrse debido a una diferencia de temperaturas entre el líquido de la piscina 46 de refrigeración de contención y el refrigerante primario. El líquido o agua de alimentación de emergencia, experimenta un cambio de temperatura cuando pasa a través del intercambiador 55 de calor. La circulación natural puede lograrse o aumentarse, además, como consecuencia del cambio de temperatura del agua de alimentación de emergencia y de una diferencia de elevación de los orificios 54 de entrada y las válvulas 58 de salida. En una realización, los uno o más orificios 54 de entrada están situados cerca del fondo de la piscina 46 de refrigeración de contención.
- 10 Según se ha descrito previamente, la conducción 53 de entrada puede estar conectada a una bomba del agua de alimentación, tal como la bomba 38 de la Figura 1, y la conducción 52 de salida puede estar conectada a una turbina de vapor, tal como la turbina 32 de la Figura 1. El sistema 50 de refrigeración secundaria es capaz de proporcionar la circulación natural del agua de alimentación de emergencia sin la asistencia de una bomba del agua de alimentación ni de una fuente externa de energía.
- 15 Durante un escenario de pérdida de flujo de agua de alimentación, se inician, mediante una señal de accionamiento, un disparo del reactor y un disparo de turbina. A medida que aumenta la presión del vapor en el sistema 50 de refrigeración secundaria, las una o más válvulas 58 de salida se abren de forma escalonada para despresurizar el generador de vapor. Las una o más válvulas 58 de salida pueden incluir válvulas redundantes de venteo de fallo sin riesgos que descargan el refrigerante secundario en un conjunto de toberas burbujeadoras sumergidas situadas bajo la superficie de la piscina 46 de refrigeración de contención. Después de un retardo temporal preestablecido desde el accionamiento de las válvulas 58 de salida, un segundo conjunto de válvulas asociadas con los uno o más orificios 54 de entrada puede abrirse de tal modo que se alinee la tubería de suministro del agua de alimentación con el fondo de la piscina 46 de refrigeración de contención.
- 20 A medida que el generador de vapor pierde presión, se establece una vía de flujo de circulación natural desde los orificios 54 de entrada a través del intercambiador 55 de calor y fuera de las válvulas 58 de salida. El líquido procedente de la piscina 46 de refrigeración de contención proporciona una fuente de aporte de agua de alimentación de emergencia. El vapor producido en el intercambiador 55 de calor y soltado a través de las válvulas 58 de salida se condensa en la piscina 46 de refrigeración de contención. Las válvulas 58 de salida pueden situarse inmediatamente por debajo de la superficie de la piscina 46 de refrigeración de contención.
- 25 El sistema 50 de refrigeración secundaria puede estar configurado para retirar el líquido de la piscina 46 de refrigeración de contención durante uno o más tipos de operaciones de emergencia. La operación de emergencia puede incluir, entre otros, un accidente de pérdida de refrigerante, una pérdida de flujo del refrigerante secundario, una pérdida de suministro eléctrico desde el interior del emplazamiento.
- 30 La Figura 3 ilustra una realización de un sistema novedoso 60 de refrigeración. El sistema de refrigeración puede estar configurado para operar con un reactor nuclear tal como el conjunto 25 de módulo de potencia de la Figura 2. El sistema 60 de refrigeración comprende la conducción 53 de entrada y la conducción 52 de salida, configuradas para eliminar calor de un núcleo de reactor haciendo circular un refrigerante a través del intercambiador 55 de calor. Se transporta refrigerante relativamente frío al intercambiador 55 de calor por medio de la conducción 53 de entrada, mientras que, como refrigerante relativamente caliente o supercalentado, es transportado desde el intercambiador 55 de calor al generador por medio de la conducción 52 de salida.
- 35 El sistema 60 de refrigeración comprende, además, uno o más orificios 54 de entrada adaptados para suministrar agua de alimentación de emergencia a la conducción 53 de entrada. En una realización, el suministro de agua de alimentación de emergencia está contenido en una piscina 46 de refrigeración (FIG. 2), y comprende agua o algún otro refrigerante. Una tubería 57 de refrigeración que conecta el orificio 54 de entrada a la conducción 53 de entrada puede estar aislado para reducir la cantidad de calentamiento del agua de alimentación de emergencia que circula por la tubería 57 de refrigeración que, si no, podría ocurrir debido a una diferencia de temperatura del refrigerante situado en la parte superior y el fondo de la piscina de refrigeración. Puede haber uno o más orificios 58 de salida conectados a la conducción 52 de salida para desgasificar el agua de alimentación de emergencia una vez que ha circulado por el intercambiador 55 de calor. El sistema 60 de refrigeración de emergencia comprende, además, uno o más depósitos acumuladores 70 configurados para inyectar refrigerante en la conducción 53 de entrada cuando se detecta una pérdida de flujo del agua de alimentación. Los uno o más depósitos acumuladores 70 proporcionan refrigerante al intercambiador 55 de calor hasta que se establece la circulación natural del agua de alimentación de emergencia a través de los orificios 54 de entrada y los orificios 58 de salida.
- 40 El sistema 60 de refrigeración comprende, además, uno o más orificios 54 de entrada adaptados para suministrar agua de alimentación de emergencia a la conducción 53 de entrada. En una realización, el suministro de agua de alimentación de emergencia está contenido en una piscina 46 de refrigeración (FIG. 2), y comprende agua o algún otro refrigerante. Una tubería 57 de refrigeración que conecta el orificio 54 de entrada a la conducción 53 de entrada puede estar aislado para reducir la cantidad de calentamiento del agua de alimentación de emergencia que circula por la tubería 57 de refrigeración que, si no, podría ocurrir debido a una diferencia de temperatura del refrigerante situado en la parte superior y el fondo de la piscina de refrigeración. Puede haber uno o más orificios 58 de salida conectados a la conducción 52 de salida para desgasificar el agua de alimentación de emergencia una vez que ha circulado por el intercambiador 55 de calor. El sistema 60 de refrigeración de emergencia comprende, además, uno o más depósitos acumuladores 70 configurados para inyectar refrigerante en la conducción 53 de entrada cuando se detecta una pérdida de flujo del agua de alimentación. Los uno o más depósitos acumuladores 70 proporcionan refrigerante al intercambiador 55 de calor hasta que se establece la circulación natural del agua de alimentación de emergencia a través de los orificios 54 de entrada y los orificios 58 de salida.
- 45 El sistema 60 de refrigeración comprende, además, uno o más orificios 54 de entrada adaptados para suministrar agua de alimentación de emergencia a la conducción 53 de entrada. En una realización, el suministro de agua de alimentación de emergencia está contenido en una piscina 46 de refrigeración (FIG. 2), y comprende agua o algún otro refrigerante. Una tubería 57 de refrigeración que conecta el orificio 54 de entrada a la conducción 53 de entrada puede estar aislado para reducir la cantidad de calentamiento del agua de alimentación de emergencia que circula por la tubería 57 de refrigeración que, si no, podría ocurrir debido a una diferencia de temperatura del refrigerante situado en la parte superior y el fondo de la piscina de refrigeración. Puede haber uno o más orificios 58 de salida conectados a la conducción 52 de salida para desgasificar el agua de alimentación de emergencia una vez que ha circulado por el intercambiador 55 de calor. El sistema 60 de refrigeración de emergencia comprende, además, uno o más depósitos acumuladores 70 configurados para inyectar refrigerante en la conducción 53 de entrada cuando se detecta una pérdida de flujo del agua de alimentación. Los uno o más depósitos acumuladores 70 proporcionan refrigerante al intercambiador 55 de calor hasta que se establece la circulación natural del agua de alimentación de emergencia a través de los orificios 54 de entrada y los orificios 58 de salida.
- 50 Los uno o más depósitos acumuladores 70 pueden llenarse parcialmente con agua. Los depósitos acumuladores 70 pueden estar presurizados con un gas no condensable, tal como nitrógeno. En una realización, se proporciona un depósito flexible 71 con o en el depósito acumulador 70 para evitar la liberación del gas no condensable (por ejemplo, nitrógeno) al interior del intercambiador 55 de calor. Durante un escenario de pérdida de flujo del agua de alimentación, los depósitos acumuladores 70 inyectan el agua en la conducción 53 de entrada. La inyección de agua sirve para subenfriar el agua en la vasija del reactor mientras se establece la circulación natural en el sistema de refrigeración.
- 55 Los uno o más depósitos acumuladores 70 pueden llenarse parcialmente con agua. Los depósitos acumuladores 70 pueden estar presurizados con un gas no condensable, tal como nitrógeno. En una realización, se proporciona un depósito flexible 71 con o en el depósito acumulador 70 para evitar la liberación del gas no condensable (por ejemplo, nitrógeno) al interior del intercambiador 55 de calor. Durante un escenario de pérdida de flujo del agua de alimentación, los depósitos acumuladores 70 inyectan el agua en la conducción 53 de entrada. La inyección de agua sirve para subenfriar el agua en la vasija del reactor mientras se establece la circulación natural en el sistema de refrigeración.

Operación

Ahora se proporcionan operaciones ejemplares de diversas realizaciones, con referencia al sistema 50 de refrigeración secundaria de la Figura 2 y al sistema 60 de refrigeración de emergencia de la Figura 3. El núcleo 6 del reactor experimenta una condición de parada en caliente con varillas de control insertadas. La condición de parada puede ser resultado de una operación de emergencia del conjunto 25 de módulo de potencia o del sistema secundario de refrigeración. Se aíslan un flujo normal de vapor por la conducción 52 de salida y un flujo de agua de alimentación por la conducción 53 de entrada. Se abren a la piscina 46 de refrigeración de contención el orificio 54 de entrada y la válvula 58 de salida. Esto crea una vía de flujo de circulación natural impulsada por la diferencia de densidad del refrigerante y la diferencia de elevación entre el agua fría en el orificio 54 de entrada y la válvula 58 de salida.

Se absorbe agua fría de la piscina 46 de refrigeración de contención al interior del intercambiador 55 de calor, en el que es calentada y desgasificada en la piscina 46 de refrigeración de contención. El intercambiador 55 de calor elimina calor del fluido, por ejemplo el refrigerante 100, en el anillo 23, creando una diferencia de densidad entre el fluido dentro del tubo elevador 24 y el fluido en el anillo 23. Dado que el núcleo 6 del reactor está situado a una elevación por debajo del intercambiador 55 de calor, se crea una fuerza hidrostática que impulsa hacia arriba al fluido caliente a través de la envoltura 22 y el tubo elevador 24 e impulsa hacia abajo el fluido frío a través del anillo 23 al interior de la cámara impelente inferior 51. Esto crea un flujo de circulación natural a través del núcleo 6 del reactor que elimina el calor de decaimiento. La válvula 56 de retención limita el flujo de fluido en una dirección.

Durante una pérdida del flujo principal de agua de alimentación, una baja presión de descarga de la bomba inferior 72 de agua de alimentación principal o un bajo nivel de agua del generador 74 de vapor pueden dar como resultado un disparo del reactor. Después de un retardo temporal desde el disparo del reactor, se abren de manera escalonada las válvulas principales de ventilación de vapor (válvulas 58 de salida). Cuando se detectan un bajo nivel del depósito acumulador 70 y una baja presión de descarga de la bomba inferior 72 de agua de alimentación principal, se cierra la válvula principal 76 de cierre del agua de alimentación. Acto seguido, se abre la válvula de entrada (orificios 54 de entrada) para alinear el flujo de refrigeración hacia la piscina 46 de refrigeración de contención. Una válvula 66 de retención impide el flujo inverso desde el generador 74 de vapor y un respiradero 68 en un punto elevado permiten la purga inicial del aire de la conducción del agua de alimentación de emergencia.

En diversas realizaciones, durante la pérdida completa de suministro de corriente alterna a la central o la pérdida de potencia desde el interior de la instalación pueden seguirse las mismas operaciones expuestas para la anterior condición de pérdida de flujo principal de agua de alimentación.

Durante un accidente de pérdida de refrigerante, un bajo nivel de agua del presionador 73 de baja presión, una presión baja del sistema refrigerante o una presión elevada de la vasija 44 de contención pueden dar como resultado un disparo del reactor. Se cierran la válvula principal 78 de aislamiento del vapor y la válvula principal 76 de cierre del agua de alimentación. Si la presión 77 del generador de vapor no aumenta (por ejemplo, no hay ninguna ruptura de los tubos del generador de vapor) y son iguales las presiones de bandas de los tubos del generador de vapor, entonces las válvulas 58 de salida pueden ser abiertas de forma escalonada. Por ejemplo, se cierra la válvula principal 76 de cierre del agua de alimentación cuando se detectan un nivel bajo del depósito acumulador 70 y una baja presión de descarga de la bomba inferior 72 de agua de alimentación principal. Además, puede abrirse el orificio 54 de entrada para alinear el flujo de refrigeración con respecto a la piscina 46 de refrigeración de contención. Las válvulas 58 de salida también pueden ser abiertas de manera escalonada. Puede abrirse una válvula del sumidero del reactor cuando se detecta una presión diferencial baja entre la vasija 44 de contención y la vasija 42 del reactor.

La FIG. 4 ilustra un procedimiento novedoso de refrigeración de un reactor nuclear. En la operación 410, se detecta una condición de pérdida de agua de alimentación. La pérdida de agua de alimentación puede deberse a un accidente de pérdida de refrigerante, a una pérdida de presión del agua de alimentación, a una bomba del agua de alimentación averiada, o a una pérdida del suministro eléctrico desde el interior del emplazamiento, tal como una pérdida completa de suministro de corriente alterna a la central. En la operación 420, se sustituye el flujo de agua de alimentación procedente de un sistema secundario de refrigeración con un suministro de agua de alimentación de emergencia.

En la operación 430, se hace circular el agua de alimentación de emergencia a través de un intercambiador de calor para eliminar calor del reactor nuclear. Se hace circular el agua de alimentación de emergencia a través del intercambiador de calor mediante circulación natural. La circulación natural es debida a una diferencia en temperatura entre el suministro de agua de alimentación de emergencia y el agua de alimentación de emergencia que circula por el intercambiador de calor.

En una realización, el suministro de agua de alimentación de emergencia comprende una piscina de refrigeración de contención que rodea al reactor nuclear. En la operación 440, el agua de alimentación de emergencia es desgasificada en la piscina de refrigeración de contención. Una diferencia de elevación entre un orificio de salida y un orificio de entrada sumergido en la piscina de refrigeración de contención puede permitir la circulación natural

sostenible del agua de alimentación de emergencia durante más de tres días. Dependiendo del tamaño de la piscina de refrigeración de contención, en una realización, la circulación natural puede mantenerse por encima de 90 días.

5 La pérdida de flujo del agua de alimentación y la eliminación del calor de decaimiento se resuelven por medio de las diversas realizaciones dadas a conocer en el presente documento. Los novedosos sistemas añaden una capacidad significativa al diseño del reactor MASLWR proporcionando un medio pasivo de refrigeración del núcleo del reactor después de la inserción de varillas de control sin la necesidad de energía externa. Diversas realizaciones son capaces de proporcionar agua de alimentación de emergencia al generador de vapor en caso de una pérdida del flujo normal de agua de alimentación, y proporcionan la eliminación del núcleo del reactor del calor de decaimiento del núcleo del reactor después de la inserción de varillas de control del reactor.

10 La piscina de refrigeración de contención hace de fuente de aporte de agua de alimentación y de sumidero de calor para la eliminación del calor de decaimiento. Diversas realizaciones son capaces de eliminar el calor de decaimiento del núcleo dirigiendo refrigerante desde la gran piscina de refrigeración de contención a través de los tubos helicoidales en serpentín del intercambiador de calor situados en el anillo de la vasija del reactor. Se establece una vía de flujo de circulación natural al desgasificarse el agua caliente y el vapor en la piscina de contención y se absorbe agua fría dentro del orificio de entrada.

15 Diversas realizaciones dadas a conocer en el presente documento proporcionan un modo alternativo de operación de refrigeración a largo plazo y una eliminación indefinida de calor del núcleo del reactor sin intervención del operario. Se pierde muy poca masa de la piscina de contención. Diversas realizaciones pueden ser objeto de accionamiento manual para eliminar calor de decaimiento para el mantenimiento, y los sistemas son relativamente simples, al tener pocas partes móviles, en caso de haberlas. Los sistemas pasivos no requieren suministro eléctrico desde el interior del emplazamiento para operar, valiéndose, en lugar de ello, de los principios de la circulación natural. Además, diversas realizaciones permiten un rearmado rápido de un módulo reactor, proporcionando un menor tiempo fuera de servicio operativo y una mayor protección del capital de los inversores.

20 Aunque las realizaciones proporcionadas en el presente documento han descrito fundamentalmente un reactor de agua presurizada, debería ser evidente para un experto en la técnica que las realizaciones pueden ser aplicadas a otros tipos de sistemas de energía nuclear tal como se describen o con alguna modificación obvia. Por ejemplo, también puede hacerse que las realizaciones o variaciones de las mismas sean operables con un reactor de agua en ebullición. Un reactor de agua en ebullición puede requerir vasijas mayores para producir la misma salida de energía.

25 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 disposición y detalle sin apartarse de tales principios. Los inventores reivindican todas las modificaciones y las variaciones que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

30
35

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (25) de módulo de potencia configurado para su uso en una central nuclear, comprendiendo la central nuclear una piscina (46) de refrigeración de contención, comprendiendo el conjunto (25) de módulo de potencia:
- 5 una vasija (42) de reactor que contiene un núcleo (6) de reactor rodeado por un refrigerante primario (100);
un intercambiador (55) de calor en contacto con el refrigerante primario (100), estando configurado el intercambiador (55) de calor para eliminar calor generado por el núcleo (6) del reactor;
- 10 una vasija (44) de contención que está configurada para estar sumergida en la piscina (46) de refrigeración de contención, en la que la vasija (44) de contención está configurada para prohibir la liberación de refrigerante primario (100) fuera de la vasija (44) de contención;
- 15 uno o más orificios (54) de entrada que están configurados para estar sumergidos en la piscina (46) de refrigeración de contención, donde los uno o más orificios (54) de entrada están configurados para absorber agua de alimentación de emergencia de la piscina (46) de refrigeración de contención durante una operación de emergencia; y
- 20 una o más válvulas (58) de salida que están configuradas para desgasificar el agua de alimentación de emergencia en la piscina (46) de refrigeración de contención durante la operación de emergencia;
- 25 en el que el conjunto (25) de módulo de potencia está configurado para permitir que el agua de alimentación de emergencia circule desde la piscina (46) de refrigeración de contención por el intercambiador (55) de calor mediante circulación natural para eliminar el calor generado por el núcleo (6) del reactor durante la operación de emergencia, y en el que no se permite que el agua de alimentación de emergencia se mezcle con el refrigerante primario (100) durante la operación de emergencia.
- 30 2. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 1 configurado de tal modo que se hace circular el agua de alimentación de emergencia por el intercambiador (55) de calor mediante circulación natural del agua de alimentación de emergencia que entra, procedente de la piscina (46) de contención de refrigerante, por los uno o más orificios (54) de entrada, pasando por el intercambiador (55) de calor, y que sale de las una o más válvulas (58) de salida a la piscina (46) de contención de refrigerante.
- 35 3. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 1 configurado de tal modo que el refrigerante primario (100) permanece retenido por completo dentro de la vasija (44) de contención tanto antes como después de la operación de emergencia.
4. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 3 en el que la vasija (44) de contención está configurada para prohibir la liberación del refrigerante primario (100) fuera de la vasija (44) de contención durante la operación de emergencia.
5. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 1 configurado de tal modo que el agua de alimentación de emergencia se desgasifica en la piscina (46) de refrigeración de contención tras pasar por el intercambiador (55) de calor.
- 40 6. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 1 configurado de tal modo que el agua de alimentación de emergencia circula por el intercambiador (55) de calor mediante la circulación natural debida, en parte, tanto a la diferencia de temperatura entre el agua de alimentación de emergencia y el refrigerante primario (100) como a la diferencia en elevación entre los uno o más orificios (54) de entrada y uno o más orificios de salida.
- 45 7. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 1 configurado de tal modo que una o más válvulas de salida están situadas a una elevación de la piscina (46) de refrigeración de contención que está por encima de una elevación de los uno o más orificios (54) de entrada, y configurado de tal modo que el agua de alimentación de emergencia circula por el intercambiador (55) de calor en contacto con el refrigerante primario (100) mediante circulación natural debida, en parte, a la diferencia de elevación entre los uno o más orificios (54) de entrada y las una o más válvulas de salida.
- 50 8. El conjunto (25) de módulo de potencia según la reivindicación 7 configurado de tal modo que la circulación natural se produce como consecuencia de un cambio de temperatura del agua de alimentación de emergencia que es absorbida al intercambiador (55) de calor y desgasificada en la piscina (46) de refrigeración de contención, y configurado de tal modo que la circulación natural se produce, además, como consecuencia de la diferencia de elevación.
- 55 9. Un procedimiento de refrigeración de un reactor nuclear que comprende:

eliminar calor de una vasija (42) de reactor que comprende un núcleo (6) rodeado por un refrigerante primario (100), donde el calor se elimina mediante un intercambiador (55) de calor rodeado por el refrigerante primario (100);

detectar una condición de pérdida de agua de alimentación;

5

absorber agua de alimentación de emergencia de una piscina (46) de refrigeración de contención cuando se detecta una condición de pérdida de agua de alimentación, donde la piscina (46) de refrigeración de contención rodea a una vasija (44) de contención del reactor nuclear, y donde la vasija (44) de contención está configurada para prohibir la liberación del refrigerante primario (100) en la piscina (46) de refrigeración de contención;

10

sustituir un flujo de agua de alimentación procedente de un sistema (50) de refrigeración secundaria con el suministro de agua de alimentación de emergencia;

15

hacer circular el agua de alimentación de emergencia desde la piscina (46) de refrigeración de contención a través del intercambiador (55) de calor y volviendo a la piscina (46) de refrigeración de contención para eliminar calor del reactor nuclear, haciéndose circular el agua de alimentación de emergencia mediante circulación natural, donde el agua de alimentación de emergencia no se permite que se mezcle con el refrigerante primario (100) durante la circulación de agua de alimentación de emergencia desde la piscina (46) de refrigeración de contención y de vuelta a la misma; y

20

desgasificar el agua de alimentación de emergencia procedente de una o más válvulas (58) de salida sumergidas en la piscina (46) de refrigeración de contención.

25

10. El procedimiento según la reivindicación 9 en el que la circulación del agua de alimentación de emergencia desde la piscina (46) de refrigeración de contención a través del intercambiador (55) de calor y de vuelta a la piscina (46) de refrigeración de contención para eliminar calor del reactor nuclear mediante circulación natural es debida a la diferencia de temperatura entre el suministro de agua de alimentación de emergencia y el agua de alimentación de emergencia que circula por el intercambiador (55) de calor.

30

11. El procedimiento según la reivindicación 9 en el que el agua de alimentación de emergencia es absorbida de la piscina (46) de refrigeración de contención a una elevación que está por debajo de la de los uno o más respiraderos.

35

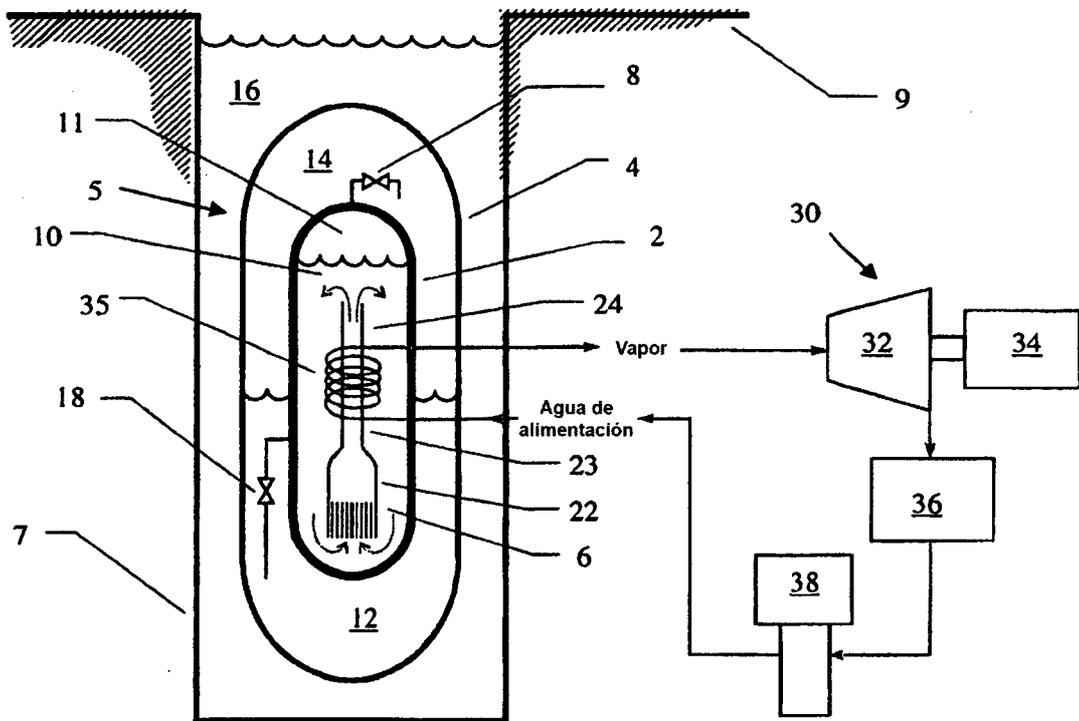
12. El procedimiento según la reivindicación 9 en el que el agua de alimentación de emergencia es absorbida de la piscina (46) de refrigeración de contención y se la hace circular por el intercambiador (55) de calor sin una bomba.

13. El procedimiento según la reivindicación 12 en el que la circulación natural es debida a la diferencia de elevación entre la elevación a la que el agua de alimentación de emergencia es absorbida de la piscina (46) de refrigeración de contención y los uno o más respiraderos, y en el que la circulación natural es debida, además, a la diferencia de densidad entre el agua de alimentación de emergencia que es absorbida de la piscina (46) de refrigeración de contención al intercambiador (55) de calor y el agua de alimentación de emergencia que es desgasificada en la piscina (46) de refrigeración de contención.

40

14. El procedimiento según la reivindicación 9 en el que la vasija (44) de contención prohíbe la liberación de refrigerante primario (100) en la piscina (46) de refrigeración de contención durante la circulación de agua de alimentación de emergencia desde la piscina (46) de refrigeración de contención y de vuelta a la misma.

FIG. 1



TÉCNICA ANTERIOR

FIG. 2

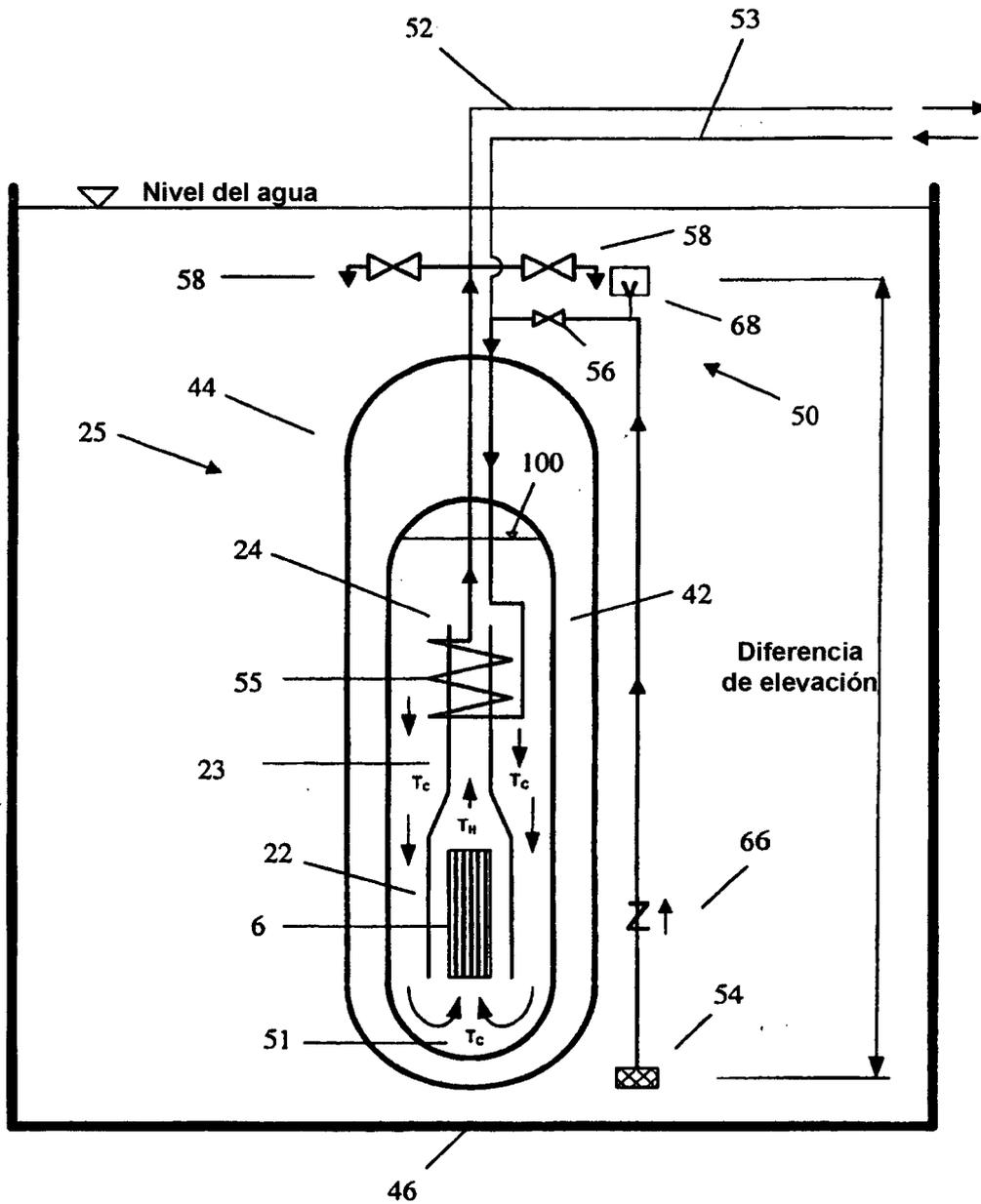


FIG. 3

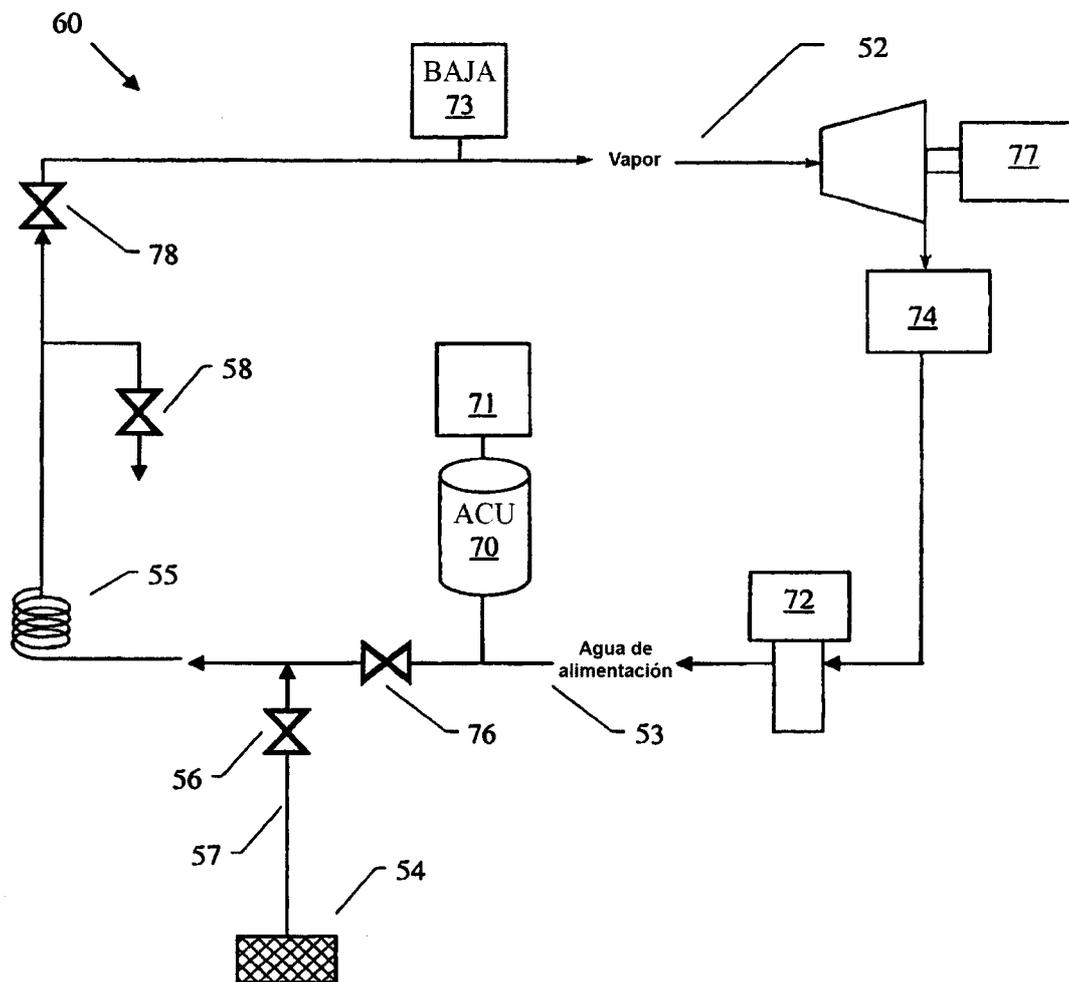


FIG. 4

