

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 207**

51 Int. Cl.:

G21C 15/16 (2006.01)

G21C 15/26 (2006.01)

G21C 1/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2009 E 09760392 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015 EP 2366184**

54 Título: **Blindaje deflector de refrigerante para vasija de reactor**

30 Prioridad:

18.11.2008 US 115614 P

26.02.2009 US 393577

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

08.04.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 533 207 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

Blindaje deflector de refrigerante para vasija de reactor.

Campo técnico

5 La presente invención pertenece al ámbito de la generación de energía nuclear, incluyendo los sistemas diseñados para refrigerar un núcleo de reactor.

Antecedentes

10 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. Según se muestra en la Fig. 1, un reactor 5 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 122 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 122 y saliendo de una tubería ascendente 124. 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 122. El agua 10 que emerge de la tubería ascendente 124 es enfriada y dirigida hacia el anillo 123 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.

20 Un intercambiador 135 de calor hace circular agua de alimentación y vapor en un sistema secundario 130 de refrigeración para generar electricidad con una turbina 132 y un generador 134. El agua de alimentación pasa a través del intercambiador 135 de calor y se convierte en vapor supercalentado. El sistema secundario 130 de refrigeración incluye un condensador 136 y una bomba 138 de agua de alimentación. El vapor y el agua de alimentación en el sistema secundario 130 de refrigeración están aislados del agua 10 en la vasija 2 del reactor, de modo que no se les permite mezclarse ni entrar en contacto entre sí.

25 La vasija 2 del reactor está rodeada por una vasija 4 de contención. La vasija 4 de contención está diseñada para que no se permita que el agua o el vapor de la vasija 2 del reactor escape 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.

30 El agua 10 circula por la vasija 2 del reactor como consecuencia de diferenciales de temperatura y presión que se desarrollan como consecuencia de la generación de calor por la operación del reactor y por el intercambio de calor con el sistema secundario 130 de refrigeración. En consecuencia, la eficacia de la circulación depende de las propiedades térmicas del módulo reactor 5, así como de su diseño físico y su geometría. Los reactores nucleares convencionales incluyen ciertas características de diseño que tienden a proporcionar una circulación de refrigerante que no llega a ser óptima, y que, por lo tanto, debe valerse de un mayor volumen de refrigerante o de componentes redundantes para garantizar un rendimiento suficiente.

35 La presente invención aborda estos y otros problemas.

40 El documento GB 835.266 da a conocer un reactor nuclear alojado en una porción inferior de una vasija. Un moderador de grafito sólido que contiene combustible de reactor está dotado de canales de flujo para el refrigerante líquido. Una pared de cuba rodea al moderador y está construida con una porción superior ahusada hacia el interior que está conectada a una tubería central ascendente que se extiende a una porción superior de la vasija. En operación, el refrigerante es calentado por el combustible y asciende por los canales de flujo del moderador y a través de la tubería central ascendente hasta un colector superior redondeado.

45 El informe "Multi-Application Small Light Water Reactor Final Report" de S. Modro y otros, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, diciembre de 2003, da a conocer un concepto para un diseño de reactor nuclear modular que consiste en un conjunto integrado con una vasija de reactor, generadores de vapor y medios de contención.

50 La patente estadounidense nº 5.343.506 da a conocer una instalación de reactor nuclear con una vasija del reactor a presión y una estructura de soporte y protección que tiene una porción inferior y una pared circunferencial. Debajo de la vasija del reactor a presión hay instalado un dispositivo colector del núcleo con un depósito de recogida. El depósito de recogida tiene una pared inferior y una pared envolvente que están respectivamente separadas de la región inferior y de la pared circunferencial de la estructura de soporte y protección por un espacio de separación. Hay dispuestos canales de enfriamiento en el espacio de separación para la refrigeración exterior del depósito de recogida con un líquido refrigerante mediante circulación natural.

Sumario de la invención

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

- 5 La FIG. 1 ilustra un sistema de energía nuclear.
- La FIG. 2 ilustra un conjunto de módulo de potencia que comprende una vasija de contención internamente seca.
- 10 La FIG. 3 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un conjunto de módulo de potencia que comprende un blindaje deflector de la vasija del reactor.
- La FIG. 4 ilustra una vista parcial de un conjunto ejemplar de módulo de potencia que comprende un blindaje deflector de la vasija del reactor soportado por uno o más tubos guía de barras de control.
- 15 La FIG. 5 ilustra una vista parcial de un conjunto ejemplar de módulo de potencia que comprende un conjunto deflector y un mecanismo de aumento del flujo de refrigerante.
- La FIG. 6 ilustra un conjunto ejemplar deflector que comprende un blindaje deflector de la vasija del reactor.
- 20 La FIG. 7 ilustra una vista parcial de un conjunto ejemplar de módulo de potencia que comprende un blindaje deflector de la vasija del reactor y un mecanismo de aumento del flujo de refrigerante.
- La FIG. 8 ilustra una vista en planta de una realización del mecanismo de aumento del flujo de refrigerante que comprende varias porciones vueltas hacia el interior.
- 25 La FIG. 9 ilustra una vista lateral en alzado de una realización del mecanismo de aumento del flujo de refrigerante que comprende una porción continua vuelta hacia el interior.
- La FIG. 10 ilustra el flujo de refrigerante alrededor de un mecanismo de aumento del flujo de refrigerante.
- 30 La FIG. 11 ilustra un procedimiento novedoso de enfriamiento de un núcleo de reactor usando un blindaje deflector de la vasija del reactor.

Sumario de la divulgación

35 En la presente memoria se da a conocer un módulo de potencia que comprende una vasija de reactor que contiene un refrigerante, y un núcleo de reactor situado cerca del extremo inferior de la vasija del reactor. Una sección de tubería ascendente está situada por encima del núcleo del reactor, circulando el refrigerante frente al núcleo del reactor y subiendo por la sección de tubería ascendente. El módulo de potencia comprende, además, un blindaje deflector de refrigerante que incluye una superficie elipsoidal u otra de flujo optimizado, dirigiendo la superficie de flujo optimizado el refrigerante hacia el extremo inferior de la vasija del reactor.

40 En la presente memoria se da a conocer un módulo reactor nuclear que comprende una vasija de reactor que incluye un extremo superior y un extremo inferior, un presurizador situado cerca del extremo superior de la vasija del reactor, y un núcleo de reactor situado cerca del extremo inferior de la vasija del reactor. El módulo reactor nuclear comprende, además, un conjunto deflector situado entre el núcleo del reactor y el presurizador, y una carcasa del reactor que dirige flujo de refrigerante a través del núcleo del reactor. La carcasa del reactor comprende una porción vuelta hacia el interior que varía una presión de flujo del refrigerante y promueve la circulación del refrigerante por el conjunto deflector y hacia el extremo inferior de la vasija del reactor.

45 En la presente memoria se da a conocer un procedimiento de refrigeración de un núcleo de reactor que comprende la circulación de un refrigerante primario a través de una carcasa del reactor que comprende una tubería superior ascendente, y dirigir un flujo del refrigerante bajando por la vasija del reactor y alrededor de la carcasa del reactor, promoviendo un extremo inferior de forma elipsoidal de la vasija del reactor el flujo de refrigerante a través del núcleo del reactor. Un blindaje deflector elipsoidal o de otra forma superficial de flujo optimizado situado encima de la tubería superior ascendente promueve el flujo de refrigerante alrededor de la carcasa del reactor.

50 La invención se hará más inmediatamente evidente con la siguiente descripción detallada de una realización preferente de la invención que procede con referencia a los dibujos adjuntos.

Descripción de realizaciones ejemplares

55 La Figura 2 ilustra un conjunto 25 de un módulo de potencia que comprende una vasija 54 de contención internamente seca. La vasija 54 de contención tiene forma cilíndrica, y tiene unos extremos superior e inferior elipsoidales, con forma de cúpula, cóncavos o hemisféricos. Todo el conjunto 25 de módulo de potencia puede estar sumergido en una piscina 16 de agua que hace de sumidero efectivo de calor. La piscina 16 de agua y la vasija 54

de contención pueden estar situadas, además, bajo tierra 9 en una dársena 7 de reactor. La vasija 54 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 54 de contención puede estar apoyada en cualquier superficie externa.

5 En una realización, la vasija 54 de contención está suspendida en la piscina 16 de agua por una o más conexiones 180 de montaje. Se sitúa o se monta una vasija 52 de reactor dentro de la vasija 54 de contención. Una superficie interior de la vasija 52 del reactor puede estar expuesta a un entorno mojado que incluye un refrigerante 100 o un líquido, tal como el agua, y una superficie exterior puede estar expuesta a un entorno seco tal como el aire. La vasija 10 52 del reactor puede estar fabricada de acero inoxidable o acero al carbono, puede incluir envainado y puede estar soportada dentro de la vasija 54 de contención.

El conjunto 25 de módulo de potencia puede estar dimensionado de modo que pueda ser transportado en un vagón ferroviario. Por ejemplo, la vasija 54 de contención puede ser construida para que sea de aproximadamente 4,3 metros de diámetro y de aproximadamente 17,7 metros de altura (longitud). La recarga del núcleo 6 del reactor puede realizarse transportando todo el conjunto 50 de módulo de potencia en un vagón ferroviario o en barco, por 15 ejemplo, y sustituyéndolo con un conjunto de módulo de potencia nuevo o reacondicionado que tenga un nuevo suministro de barras de combustible.

La vasija 54 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 20 contención convencionales, 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 calor de decaimiento puede ser eliminado del conjunto 25 de módulo de potencia en situaciones de emergencia.

El núcleo 6 del reactor está ilustrado sumergido o inmerso en un refrigerante primario 100, tal como agua. La vasija 52 del reactor aloja el refrigerante primario 100 y el núcleo 6 del reactor. Una carcasa 20 del reactor comprende una 25 envoltura 22 en una porción inferior y una tubería ascendente 24 en una porción superior de la carcasa 20 del reactor. La tubería ascendente 24 suele ser de forma sustancialmente cilíndrica. La envoltura 22 rodea el núcleo 6 del reactor en torno a sus lados y sirve para dirigir el refrigerante primario 100 (mostrado como flujo 26, 28 de refrigerante) ascendente a través del centro de la tubería ascendente 24 situada en la mitad superior de la vasija 52 del reactor, volviendo a bajar luego por el anillo 23, como consecuencia de la circulación natural del refrigerante primario 100. En una realización, la vasija 52 del reactor tiene aproximadamente 2,7 metros de diámetro e incluye una altura total (longitud) de aproximadamente 13,7 metros. La vasija 52 del reactor puede incluir una 30 forma predominantemente cilíndrica con unos extremos superior e inferior elipsoidales, con forma de cúpula, cóncavos o hemisféricos. La vasija 52 del reactor está normalmente a una presión y una temperatura operativas. La vasija 54 de contención está internamente seca y puede operar a presión atmosférica con temperaturas de la pared a la temperatura de la piscina 16 de agua, o a una temperatura cercana.

La vasija 54 de contención rodea sustancialmente a la vasija 52 del reactor y puede proporcionar un entorno seco, 35 vaciado o gaseoso, identificado como zona 44 de contención. La zona 44 de contención puede comprender una cantidad de aire o de otro gas de relleno como el argón. La vasija 54 de contención incluye una superficie interior o pared interior que es adyacente a la zona 44 de contención. La zona 44 de contención puede incluir un gas o gases en lugar de aire, o además de él. En una realización, la zona 44 de contención se mantiene a presión atmosférica o 40 por debajo de la misma, por ejemplo como un vacío parcial. El gas o los gases de la vasija de contención pueden ser extraídos, de modo que la vasija 52 del reactor esté situada en un vacío completo o parcial en la zona 44 de contención.

Durante la operación normal, la energía térmica derivada de eventos de fisión en el núcleo 6 del reactor hace que el 45 refrigerante 100 se caliente. A medida que el refrigerante 100 se calienta, se vuelve menos denso y tiende a subir por la tubería ascendente 24. A medida que el refrigerante 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 52 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 100 (mostrado como el flujo 26, 28 de refrigerante) realice un ciclo a través del intercambiador 135 de calor, transfiriendo calor a un refrigerante secundario, tal como el sistema 50 secundario 130 de refrigeración de la FIG. 1, para generar electricidad.

La FIG. 3 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un conjunto 30 de módulo de potencia que comprende un blindaje deflector 35 de la vasija del reactor. La vasija 52 del reactor contiene un núcleo 6 de reactor situado cerca del extremo inferior 55 de la vasija 52 del reactor. Hay una sección 24 de tubería ascendente situada por encima del núcleo 6 del reactor, por la que circula refrigerante por el núcleo 6 del reactor, convirtiéndose en refrigerante a alta temperatura T_C , y luego sigue subiendo por la sección 24 de tubería ascendente en la que vuelve a ser dirigido bajando por el anillo y enfriado por un intercambiador 135 de calor (FIG. 1), convirtiéndose en refrigerante a baja temperatura T_F . 55

El blindaje deflector 35 de la vasija del reactor comprende una porción 35A de flujo optimizado de forma elipsoidal, de cúpula, cóncava o hemisférica, dirigiendo la porción 35A de flujo optimizado el refrigerante (mostrado como el

- flujo 26 de refrigerante) hacia el extremo inferior 55 de la vasija 52 del reactor. La porción elipsoidal 35A puede entrar en contacto con el refrigerante que sale de la sección 24 de tubería ascendente y desviarlo. La porción elipsoidal 35A opera reduciendo la resistencia al flujo o pérdida de circulación del flujo 26 de refrigerante, en comparación con la interacción del refrigerante con una superficie plana o irregular o zona de cámara de aire sin una superficie de contacto sólida. En una realización, la reducción en pérdida de circulación es en un factor de cuatro o cinco en comparación con los sistemas sin blindaje deflector. El blindaje deflector 35 de la vasija del reactor puede estar fabricado de acero inoxidable o de otros materiales a los que puede darse la forma de una superficie elipsoidal u otra forma optimizada.
- En una realización, el extremo inferior 55 de la vasija 52 del reactor comprende una segunda porción 55A de flujo optimizado de forma elipsoidal, de cúpula, cóncava o hemisférica, dirigiendo la segunda porción elipsoidal 55A el refrigerante (mostrado como flujo 28 de refrigerante) hacia el núcleo 6 del reactor. La porción elipsoidal 35A y la segunda porción elipsoidal 55A aumentan el caudal y promueven la circulación natural del refrigerante por el núcleo 6 del reactor.
- Puede obtenerse una optimización del flujo 26 de refrigerante según una proporción entre la distancia H_0 entre la parte superior de la sección 24 de tubería ascendente y el centro del blindaje deflector 35 de la vasija del reactor y la distancia relativa D_0 entre las paredes de la sección 24 de tubería ascendente, representando la dimensión L la distancia entre el exterior de la tubería ascendente 24 y la superficie interior de la vasija 52 del reactor. En una realización, la distancia D_0 es igual al diámetro de la sección 24 de tubería ascendente. El área de flujo dentro de la tubería ascendente es A_0 , el área de flujo dentro del anillo es A_a . Las proporciones del flujo de refrigerante optimizado pueden representarse como H_0/D_0 y A_a/A_0 . En una realización, la proporción H_0/D_0 de flujo de refrigerante optimizado comprende un valor entre 0,1 y 2,0, y la proporción A_a/A_0 de flujo comprende un valor entre aproximadamente 1 y 10. Puede obtenerse una optimización adicional del flujo 26 de refrigerante modificando el radio de curvatura de la superficie de la porción elipsoidal 35A para eliminar/minimizar las zonas de separación de la capa límite y de estancamiento.
- Se ilustra que el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor está situado entre la parte superior de la sección 24 de tubería ascendente y una zona 15 de presurización. Se muestra que la zona 15 de presurización comprende uno o más calentadores 17 y una tobera 19 de pulverización configurada para controlar la presión o mantener una cúpula de vapor dentro del extremo superior 56 de la vasija 52 del reactor. El refrigerante situado por debajo del blindaje deflector 35 de la vasija del reactor puede comprender refrigerante relativamente subenfriado T_{SUB} , mientras que el refrigerante de la zona 15 de presurización en el extremo superior 56 de la vasija 52 del reactor puede comprender refrigerante sustancialmente saturado T_{SAT} . Se muestra que el nivel de fluido del refrigerante está por encima del blindaje deflector 35 de la vasija del reactor, y dentro de la zona 15 de presurización, de modo que todo el volumen entre el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor y el fondo 55 de la vasija 52 del reactor esté lleno de refrigerante durante la operación normal del conjunto 30 de módulo de potencia.
- La FIG. 4 ilustra una vista parcial de un conjunto 40 de módulo de potencia según la invención que comprende un blindaje deflector 35 de la vasija del reactor soportado por uno o más tubos guía de barras de control o estructuras 45 de instrumentación. Los uno o más tubos guía de barras de control o estructuras 45 de instrumentación pueden estar fijados al extremo superior de la vasija 52 del reactor, y sirven para guiar las barras de control que se insertan en el núcleo 6 del reactor o se extraen del mismo, o proporcionan soporte para dispositivos de instrumentación situados dentro de la vasija 52 del reactor. Fijando o suspendiendo el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor de los uno o más tubos guía de barras de control o estructuras 45 de instrumentación, el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor puede quedar libre de hacer contacto con los lados de la vasija 52 del reactor. Al aislar el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor de las paredes de la vasija 52 del reactor, el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor queda protegido de los cambios en las tasas de dilatación térmica de los diferentes materiales y las diferentes estructuras del conjunto 40 de módulo de potencia, o de cualquier movimiento de componentes que, en otro caso, podrían dañar el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor o la vasija 52 del reactor. Se ilustra que la sección 24 de tubería ascendente comprende una porción 65 vuelta hacia el interior que varía la presión de flujo del refrigerante para reducir la pérdida de circulación del refrigerante 26 que circula por el blindaje deflector 35 de la vasija del reactor.
- En una realización, la sección transversal de la porción 65 vuelta hacia el interior se aproxima en forma a la sección transversal de un ala de avión, pero con un área menor de sección transversal, por ejemplo. El extremo roma de la sección transversal de la porción 65 vuelta hacia el interior puede estar orientado hacia la parte superior o la inferior de la vasija, o puede ser roma por ambos extremos. La porción 65 vuelta hacia el interior puede estar situada de manera continua alrededor del perímetro del extremo superior de la carcasa 20 del reactor o la sección 24 de tubería ascendente (por ejemplo, FIG. 9). La porción 65 vuelta hacia el interior puede efectuar un cambio en la presión y la resistencia acompañante de la pérdida de circulación del refrigerante 26 en torno a todo el perímetro de la sección 24 de tubería ascendente. En una realización, la porción 65 vuelta hacia el interior comprende múltiples porciones (por ejemplo, FIG. 8) situadas alrededor del perímetro del extremo superior de la carcasa 20 del reactor o la sección 24 de tubería ascendente. Puede entenderse que la porción 65 vuelta hacia el interior afecta al flujo 26 de refrigerante o a la presión de fluido de manera similar a la aerodinámica del ala de un avión, porque el flujo es dirigido preferentemente para minimizar las zonas de separación y las pérdidas relacionadas.

La FIG. 5 ilustra una vista parcial de un conjunto ejemplar 150 de módulo de potencia que comprende un conjunto deflector 50 y un mecanismo de aumento del flujo de refrigerante que comprende la porción 65 vuelta hacia el interior. La vasija 52 del reactor comprende un extremo superior 56 y un extremo inferior 55 (FIG. 3). La zona 15 de presurización está situada cerca del extremo superior 56 de la vasija 52 del reactor, mientras que el núcleo 6 del reactor está situado cerca del extremo inferior 55 de la vasija 52 del reactor. Se muestra el conjunto deflector 50 ilustrado situado entre el núcleo 6 del reactor y la zona 15 de presurización. La carcasa 20 del reactor la porción 65 vuelta hacia el interior que varía la presión de flujo del refrigerante y promueve la circulación del refrigerante (ilustrado como flujo 26 de refrigerante) circunvalando el conjunto deflector 50 y hacia el extremo inferior 55 de la vasija 52 del reactor.

El conjunto deflector 50 comprende una placa deflectora superior 62 y una placa deflectora inferior 64. Puede existir una superficie líquida de contacto caliente/fría L_o debido a la estratificación en la zona deflectora entre las placas deflectoras 62, 64 superior e inferior que separan el refrigerante subenfriado T_{SUB} del refrigerante saturado T_{SAT} . La superficie líquida de contacto L_o proporciona un medio en el que el primer fluido que entra en la zona de presurización cuando el flujo se produce al interior del presurizador, es fluido caliente, y después el refrigerante subenfriado T_{SUB} que entra en el presurizador se calienta (o se mezcla con refrigerante saturado T_{SAT}) antes de entrar en la zona 15 de presurización. El conjunto deflector 50 opera impidiendo que un flujo del refrigerante subenfriado T_{SUB} entre en la zona 15 de presurización, que comprende sustancialmente refrigerante saturado T_{SAT} . El conjunto deflector 50 contribuye a mantener o crear una trampa térmica entre las placas deflectoras 62, 64 superior e inferior. Puede mantenerse una cúpula de vapor en la zona 15 de presurización, o el extremo superior 56 de la vasija 52 del reactor. Si se permite que entre el refrigerante subenfriado T_{SUB} en la zona 15 de presurización demasiado rápidamente, puede dar como resultado una pérdida de presión en la vasija del reactor o el colapso de la cúpula de vapor.

El conjunto deflector 50 aumenta efectivamente la longitud del recorrido de flujo desde el refrigerante subenfriado T_{SUB} en un primer lado del conjunto deflector 50 hasta el refrigerante saturado T_{SAT} en un segundo lado del conjunto deflector 50. Se permite que el flujo de refrigerante (ilustrado como F_1) que entra en el conjunto deflector 50 fluya alrededor o por delante de la placa deflectora inferior 64. Acto seguido, el flujo de refrigerante (ilustrado como F_o) maniobra alrededor de uno o más deflectores internos 72, 74 antes de salir a la zona 15 de presurización como flujo de refrigerante F_2 , alrededor o por delante de la placa deflectora superior 62. El recorrido de flujo realizado por los deflectores dirige al flujo F_1 por la estructura del conjunto deflector 50 que es calentado desde la zona 15 de presurización. El direccionamiento del flujo F_1 por delante de la estructura relativamente caliente calienta este fluido y, además, mezcla el fluido con la zona T_{SAT} , calentándolo efectivamente antes de que entre en la zona 15 de presurización.

La FIG. 6 ilustra un conjunto ejemplar deflector 60 que comprende un blindaje deflector 66 de la vasija del reactor. El blindaje deflector 66 de la vasija del reactor comprende una zona elipsoidal de flujo optimizado o porción cóncava 66A que tiene un diámetro D_1 o una anchura que es mayor que una distancia D_o entre las porciones 65 vueltas hacia el interior de la carcasa 20 del reactor o la sección 24 de tubería ascendente. En una realización, el diámetro D_1 de la placa deflectora inferior 66 es aproximadamente igual a la anchura o el diámetro de la vasija 52 del reactor.

La zona 15 de presurización está situada en el extremo superior de la vasija 52 del reactor. El conjunto deflector 60 está situado entre la zona 15 de presurización y la sección 24 de tubería ascendente. El conjunto deflector 60 comprende uno o más deflectores 72, 76 situados entre una placa deflectora superior 62 y el blindaje deflector 66 de la vasija del reactor. Los uno o más deflectores 72, 76 impiden el flujo del refrigerante subenfriado T_{SUB} a la zona 15 de presurización. Puede entenderse que el conjunto deflector 60 opere de forma similar a una línea de compensación de un diseño de un reactor típico de agua a presión. El conjunto deflector 60 puede impedir que entre en la zona 15 de presurización un aflujo de refrigerante desde la vasija 52 del reactor demasiado repentinamente o a una temperatura demasiado baja. En una realización, el conjunto deflector 60 opera controlando la tasa de aflujo del refrigerante a la zona 15 de presurización, y aumenta la temperatura del aflujo mediante la adición de calor a la estructura y la mezcla con fluidos calientes.

El conjunto deflector 60 incluye una porción superior que comprende la placa deflectora superior 62. La placa deflectora superior 62 puede incluir o estar unida a uno o más deflectores 72. El conjunto deflector 60 incluye, además, una porción inferior que comprende el blindaje deflector 66 de la vasija del reactor. El blindaje deflector 66 de la vasija del reactor puede incluir o estar unido a uno o más deflectores 76.

El conjunto deflector 60 puede comprender uno o más calentadores 79. Los uno o más calentadores 79 pueden ser proporcionados en medio de las placas deflectoras 62, 66 superior e inferior. En una realización, los uno o más calentadores 79 son proporcionados dentro de la placa deflectora superior 62 para calentar el refrigerante. En otra realización, los uno o más calentadores 79 son proporcionados en la superficie líquida de contacto L_o . El refrigerante que atraviesa el conjunto deflector 70 puede calentarse hasta la temperatura de saturación T_{SAT} , o cercana a la misma, mientras es transferido a la zona 15 de presurización. Puede entenderse que el conjunto deflector 60, a la vez, aísla la zona 15 de presurización del refrigerante subenfriado T_{SUB} , y promueve un mayor caudal del refrigerante (ilustrado como flujo 26) en la vasija 52 del reactor.

En una realización, la anchura o diámetro del blindaje deflector 66 de la vasija del reactor es inferior a la anchura o diámetro de la vasija 52 del reactor que forma una vía o canal 68 en torno al perímetro del blindaje deflector 66 de la vasija del reactor. El canal 68 proporciona una vía para que el flujo de refrigerante (ilustrado como F1) pase por delante del blindaje deflector 66 de la vasija del reactor o lo atraviese. El refrigerante sigue fluyendo (ilustrado como F0) alrededor de los uno o más deflectores 72, 76 antes de salir junto a la placa deflectora superior 62, o a través de ella, como flujo de refrigerante F2. El refrigerante que atraviesa el conjunto deflector 60 puede calentarse hasta la temperatura de saturación T_{SAT} , o cercana a la misma, mientras es transferido por la vía o canal 68 y es calentado por los deflectores superiores 72.

La FIG. 7 ilustra una vista parcial de un conjunto ejemplar 75 de módulo de potencia que comprende un conjunto deflector 70 y un mecanismo de aumento del flujo de refrigerante que comprende la porción 65 vuelta hacia el interior. El conjunto deflector 70 comprende una placa deflectora superior 62 y una placa deflectora inferior 77 que incluye una o más superficies 77A de flujo optimizado elipsoidales, con forma de cúpula, hemisféricas o cóncavas y un separador 77B. La superficie cóncava 77A de flujo optimizado de la placa deflectora inferior 77 dirige el refrigerante 26 descendientemente alrededor de la sección 24 de tubería ascendente del alojamiento 20 hasta el fondo de la vasija 52 del reactor. Puede entenderse que la superficie cóncava 77A de flujo optimizado de la placa deflectora inferior 77 opera de forma idéntica o similar a la zona elipsoidal de flujo optimizado o porción cóncava 66A del blindaje deflector 66 de la vasija del reactor de la FIG. 6.

Además, el separador 77B facilita que el refrigerante 26 fluya en una dirección hacia fuera desde el centro de la placa deflectora 77. El separador 77B puede tener una forma similar a la punta de una bala. La placa deflectora 77 minimiza la pérdida de presión del flujo de refrigerante en función de una posición optimizada y de una geometría por encima de la salida de la sección 24 de tubería ascendente.

El conjunto deflector 70 está situado entre la zona 15 de presurización y la sección 24 de tubería ascendente. El conjunto deflector 70 comprende uno o más deflectores 72, 78 situados entre la placa deflectora superior 62 y la placa deflectora inferior 77. Los uno o más deflectores 72, 78 impiden el flujo del refrigerante subenfriado T_{SUB} a la zona 15 de presurización.

Una porción superior del conjunto deflector 70 comprende la placa deflectora superior 62. La placa deflectora superior 62 puede incluir o estar unida a uno o más deflectores 72. Una porción inferior del conjunto deflector 70 comprende la placa deflectora inferior 77. La placa deflectora inferior 77 puede incluir o estar unida a uno o más deflectores 78. Puede formarse una vía o canal a través de uno o de la totalidad de los deflectores 72, 78. El canal proporciona una vía para que el flujo de refrigerante (ilustrado como F1) pase por delante de la placa deflectora inferior 77 o la atraviese. El refrigerante sigue fluyendo (ilustrado como F0) a través de los uno o más deflectores 72, 78 antes de salir junto a la placa deflectora superior 62, o a través de ella, como flujo de refrigerante F2.

El conjunto deflector 70 puede comprender uno o más calentadores 79. Los uno o más calentadores 79 pueden ser proporcionados en medio de las placas deflectoras 62, 77 superior e inferior. En una realización, los uno o más calentadores 79 son proporcionados dentro de la placa deflectora superior 62 para calentar el refrigerante que entra en la zona de presurización durante un aflujo. En otra realización, los uno o más calentadores 79 son proporcionados en la capa de variación de la temperatura próxima a la superficie líquida de contacto Lo. El refrigerante que atraviesa el conjunto deflector 70 puede calentarse hasta la temperatura de saturación T_{SAT} , o cercana a la misma, mientras es transferido a la zona 15 de presurización. Puede entenderse que el conjunto deflector 70, a la vez, aísla la zona 15 de presurización del refrigerante subenfriado T_{SUB} , y promueve un mayor caudal del refrigerante (ilustrado como flujo 26) en la vasija 52 del reactor.

En una realización, la porción 65 vuelta hacia el interior tiene una sección transversal que se aproxima a una lágrima invertida. La porción 65 vuelta hacia el interior tiene una sección transversal que generalmente aumenta en grosor hacia un extremo superior de la zona 24 de tubería ascendente. El extremo superior de la carcasa 20 del reactor, o sección 24 de tubería ascendente, comprende un perímetro caracterizado por un borde redondeado de la lágrima invertida.

La FIG. 8 ilustra una vista en planta de una realización del mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante que comprende varias porciones 85 vueltas hacia el interior. Se ilustra que el mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante comprende cuatro porciones 85 vueltas hacia el interior situadas en torno al perímetro de la parte superior de la tubería ascendente 24; sin embargo, se entiende que pueden usarse números y tipos diferentes de porciones 85 vueltas hacia el interior. Se puede entender que las vistas parciales de la tubería ascendente 24 y la porción 65 vuelta hacia el interior ilustradas en las FIGURAS 4, 5 y 7 comprenden una vista en corte transversal C-C del mecanismo 85 de aumento del flujo de refrigerante.

La FIG. 9 ilustra una vista en alzado lateral de una realización del mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante que comprende una porción continua 95 vuelta hacia el interior. Se ilustra que las porciones 95 vueltas hacia el interior están situadas en torno al perímetro de la parte superior de la tubería ascendente 24. Se puede entender que las vistas parciales de la tubería ascendente 24 y la porción 65 vuelta hacia el interior ilustradas en las FIGURAS 4, 5 y 7 comprenden una vista en corte transversal D-D del mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante.

- La FIG. 10 ilustra el flujo 26 de refrigerante en torno a un mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante. Una presión de fluido P_0 del flujo 26 de refrigerante que sale de la tubería ascendente 24 varía como presión de fluido P_1 cuando pasa alrededor del mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante. El mecanismo 65 de aumento del flujo de refrigerante aumenta una vía efectiva del flujo 26 de refrigerante, lo que resulta en la presión variada de fluido P_1 , a medida que varía la velocidad del flujo 26 de refrigerante. Variar la presión de fluido del refrigerante opera reduciendo la resistencia al flujo o pérdida de circulación del flujo 26 de refrigerante, impidiendo o minimizando la separación de la capa límite del flujo 26 con respecto a la tubería ascendente 24. Esto se logra proporcionando una transición uniforme para el flujo que sale de la sección 24 de tubería ascendente y que entra en el anillo, volviendo a fluir hacia el fondo de la vasija 52 del reactor.
- 5
- La FIG. 11 ilustra un procedimiento novedoso de refrigeración de un núcleo de reactor usando un blindaje deflector de la vasija del reactor. Puede entenderse que el procedimiento opera, sin limitación, con diversas realizaciones ilustradas en la presente memoria como FIGURAS 1-10.
- 10
- En la operación 210, se hace circular un refrigerante primario por una carcasa del reactor que comprende una tubería superior ascendente.
- 15
- En la operación 220, se varía la presión de fluido del refrigerante en la carcasa del reactor dirigiendo un flujo de refrigerante alrededor de una porción vuelta hacia el interior de la tubería superior ascendente.
- En la operación 230, un blindaje deflector de flujo optimizado de forma elipsoidal, de cúpula, cóncava o hemisférica forma una porción inferior de un sistema deflector que inhibe el flujo de refrigerante a la zona de presurización. En una realización, el blindaje deflector elipsoidal de flujo optimizado está situado entre la tubería superior ascendente y la zona de presurización, estando situada la zona de presurización en un extremo superior de la vasija del reactor.
- 20
- En la operación 240, se dirige un flujo del refrigerante descendientemente por la vasija del reactor y alrededor de la carcasa del reactor. Un extremo inferior de la vasija del reactor de flujo optimizado de forma elipsoidal, de cúpula, cóncava o hemisférica promueve el flujo de refrigerante por el núcleo del reactor, y el blindaje deflector elipsoidal de flujo optimizado situado por encima de la tubería superior ascendente promueve el flujo de refrigerante alrededor de la carcasa del reactor.
- 25
- Aunque las realizaciones proporcionadas en la presente memoria han descrito fundamentalmente un reactor de agua a presión, debería resultar evidente para un experto en la técnica que las realizaciones pueden ser aplicadas a otros tipos de sistemas de energía nuclear descritos o con alguna modificación obvia. Por ejemplo, las realizaciones o las variaciones de las mismas también pueden hacerse operables con un reactor de agua en ebullición.
- 30
- El caudal de fluido en torno a la carcasa del reactor, los caudales de in flujo y e flujo dentro de los conjuntos deflectores, y la variación en la presión del fluido que se mueve en los dispositivos de aumento del flujo, así como otras tasas y valores descritos en la presente memoria son proporcionados a título de ejemplo únicamente. Pueden determinarse otras tasas y otros valores mediante experimentación, tal como mediante la construcción de modelos de tamaño real o a escala de un sistema de fluido de un reactor nuclear.
- 35
- Habiendo descrito e ilustrado los principios de la invención en una realización preferente de la misma, debería resultar evidente que la invención puede ser modificada en disposición y en detalle sin apartarse de tales principios. Se reivindican todas las modificaciones y las variaciones que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REVINDICACIONES

1. Un módulo (25) de energía nuclear que comprende:
una vasija (52) de reactor que contiene un refrigerante (100);
- 5 un núcleo (6) de reactor situado cerca del extremo inferior (55) de la vasija (52) del reactor;
una sección (24) de tubería ascendente situada encima del núcleo (6) del reactor, en el que el refrigerante (100) circula por el núcleo (6) del reactor y sube por la sección (24) de tubería ascendente; y
- 10 un blindaje deflector (35) de refrigerante que comprende una superficie elipsoidal (35A), en el que la superficie elipsoidal (35A) dirige el refrigerante (100) hacia el extremo inferior (55) de la vasija (52) del reactor,
caracterizado porque
- 15 el blindaje deflector (35) de refrigerante está soportado por uno o más tubos guía de barras de control o una estructura (45) de instrumentación.
2. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 1 en el que el extremo inferior de la vasija del reactor comprende una segunda superficie elipsoidal, y en el que la segunda superficie elipsoidal dirige el refrigerante hacia el núcleo del reactor.
- 20 3. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 1 en el que la superficie elipsoidal desvía el refrigerante que sale de la sección de tubería ascendente.
4. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 1 en el que la sección de tubería ascendente comprende una porción vuelta hacia el interior orientada al centro de la sección de tubería ascendente que varía la presión de flujo del refrigerante para reducir la pérdida de circulación del refrigerante que circula por el blindaje deflector de refrigerante.
- 25 5. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 4 en el que la sección transversal de la porción vuelta hacia el interior se aproxima a la sección transversal de un ala de avión.
6. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 1 que, además, comprende:
una zona de presurización situada en el extremo superior de la vasija del reactor; y
- 30 un conjunto deflector situado entre el presurizador y la sección de tubería ascendente, en el que una porción superior del conjunto deflector comprende una placa deflectora superior, y en el que una porción inferior del conjunto deflector comprende el blindaje deflector de refrigerante.
7. El módulo de energía nuclear según la reivindicación 6 en el que el conjunto deflector comprende uno o más deflectores situados entre la placa deflectora superior y el blindaje deflector de refrigerante que impiden el flujo del refrigerante a la zona de presurización.
- 35 8. El módulo de energía nuclear de la reivindicación 4 en el que la porción vuelta hacia el interior está situado de manera continua alrededor del perímetro del extremo superior de la vasija del reactor o de la sección de tubería ascendente.
- 40 9. El módulo de energía nuclear de la reivindicación 1 en el que una proporción H_o/D_o comprende un valor entre aproximadamente 0,1 y 2,0, siendo H_o la distancia entre la parte superior de la sección de tubería ascendente y el centro del blindaje deflector de refrigerante, y siendo D_o el diámetro de la sección de tubería ascendente.
10. El módulo de energía nuclear de la reivindicación 1 en el que una proporción A_o/A_a comprende un valor entre aproximadamente 1 y 10, siendo A_o el área de flujo dentro de la sección de tubería ascendente, y siendo A_a el área de flujo dentro de un anillo entre la sección de tubería ascendente y la vasija del reactor.
- 45 11. El módulo de energía nuclear de la reivindicación 1 en el que el blindaje deflector de refrigerante está suspendido de los uno o más tubos guía de barras de control o de una estructura de instrumentación.
12. Un procedimiento de refrigeración de un núcleo (6) de reactor nuclear que comprende:
hacer circular un refrigerante primario (100) por la carcasa (20) del reactor, que comprende una tubería superior ascendente (24); y
- 50 dirigir un flujo del refrigerante (100) bajando por la vasija (52) del reactor y en torno a la carcasa (20) del reactor, en el que un extremo inferior (55) de forma elipsoidal de la vasija (52) del reactor promueve el flujo de refrigerante

a través del núcleo (6) del reactor, y en el que un blindaje deflector (35) de forma elipsoidal situado encima de la tubería superior ascendente (24) promueve el flujo de refrigerante en torno a la carcasa (20) del reactor,

5 en el que el blindaje deflector (35) de forma elipsoidal está situado entre la tubería superior ascendente (24) y la zona (15) de presurización, y en el que la zona (15) de presurización está situada en un extremo superior (56) de la vasija (52) del reactor.

13. El procedimiento según la reivindicación 12 en el que el blindaje deflector de forma elipsoidal forma una porción inferior de un sistema deflector que inhibe el flujo de refrigerante a la zona de presurización.

10 14. El procedimiento según la reivindicación 12 que, además, comprende variar la presión de fluido del refrigerante en la carcasa del reactor dirigiendo un flujo de refrigerante en torno a una porción vuelta hacia el interior de la tubería superior ascendente que está orientada hacia el centro de la tubería superior ascendente.

15. El procedimiento según la reivindicación 14 en el que la sección transversal de la porción vuelta hacia el interior se aproxima a la sección transversal de un ala de avión.

FIG. 1

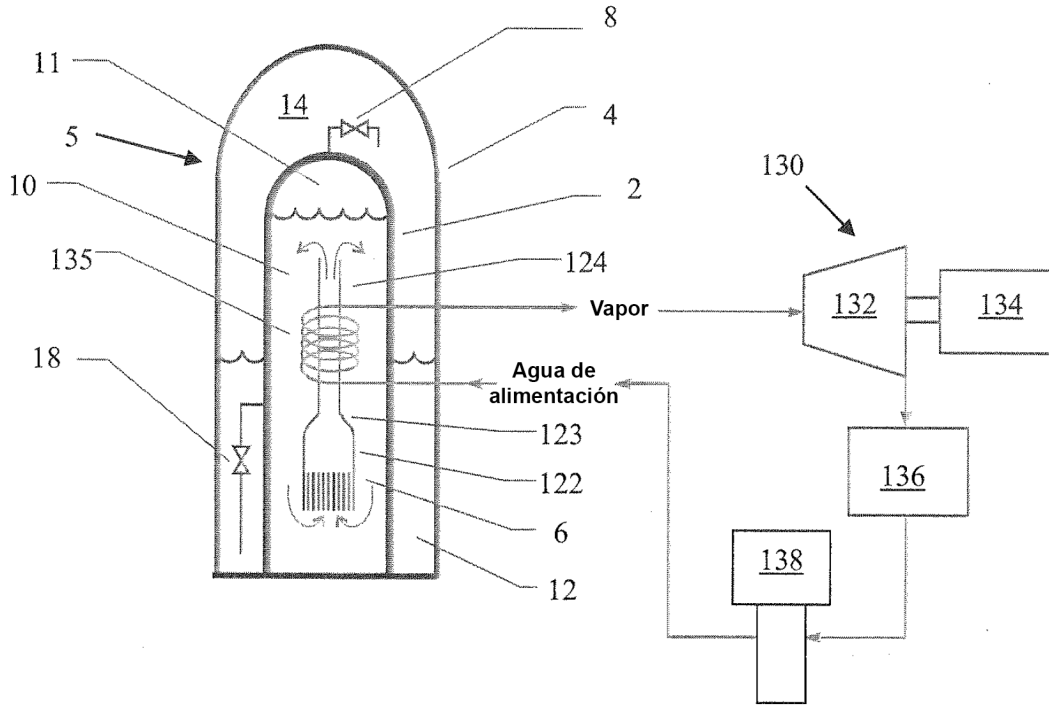
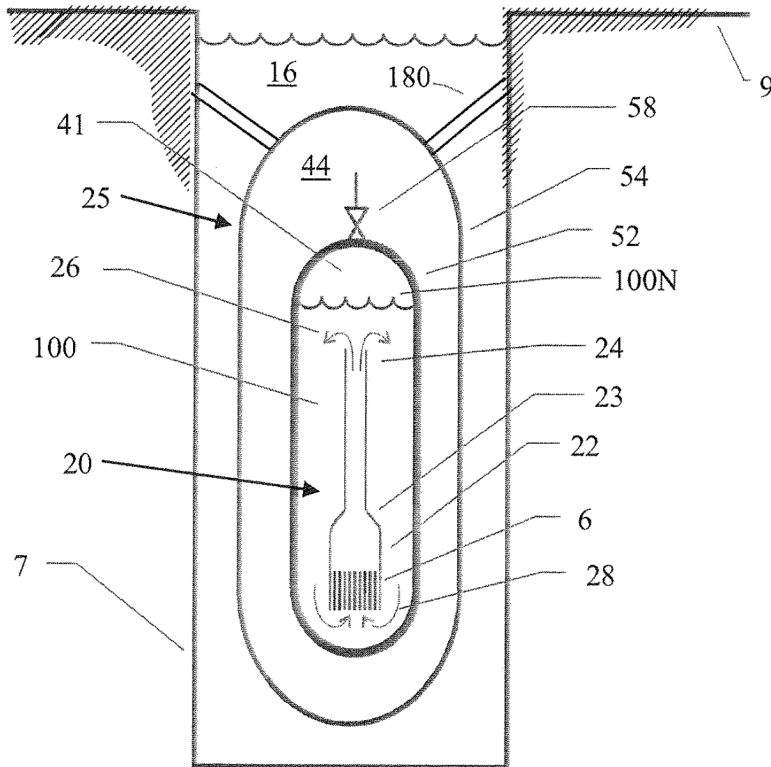


FIG. 2



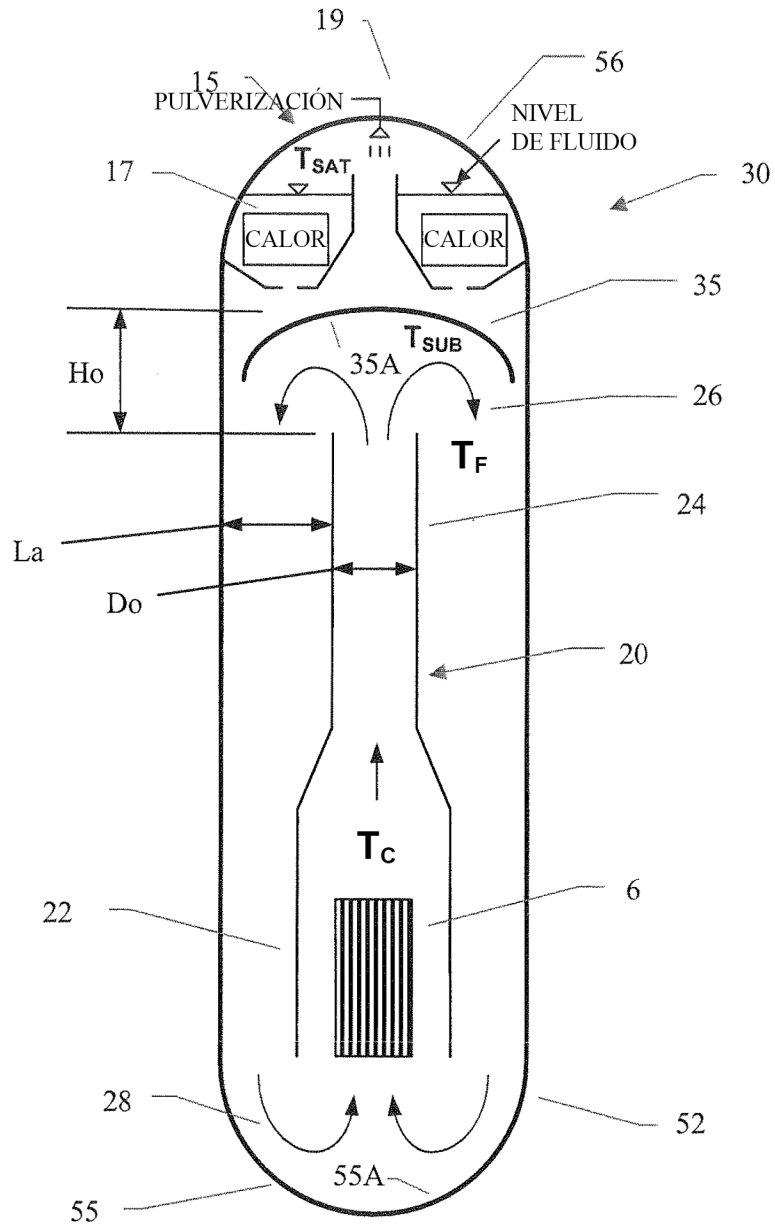


FIG. 3

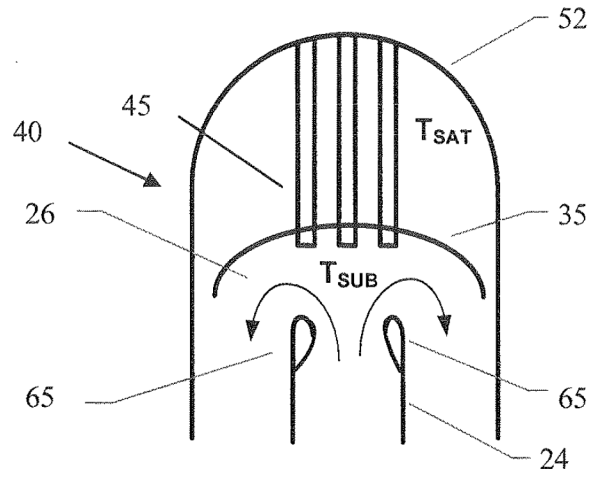


FIG. 4

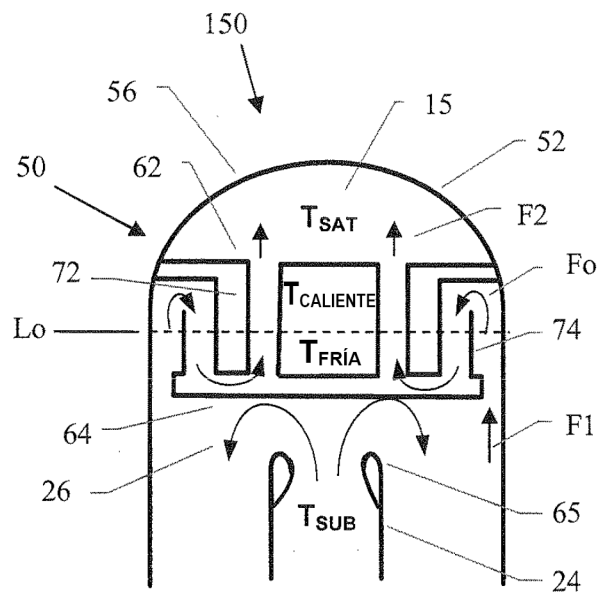


FIG. 5

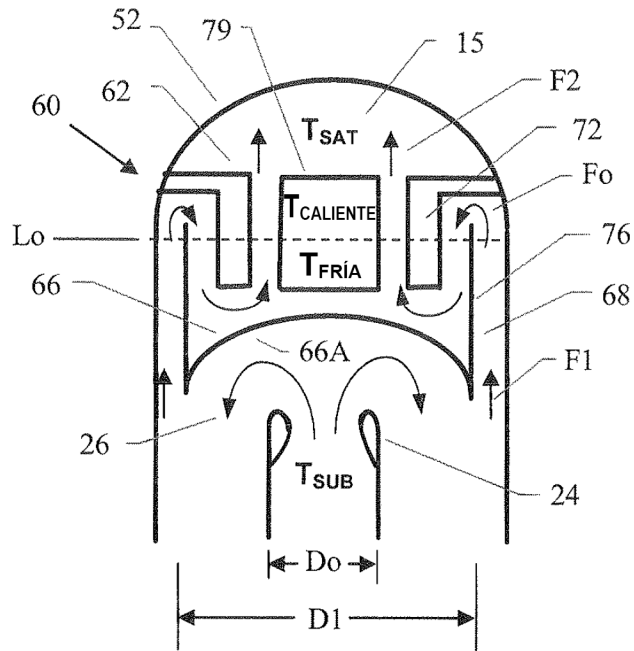


FIG. 6

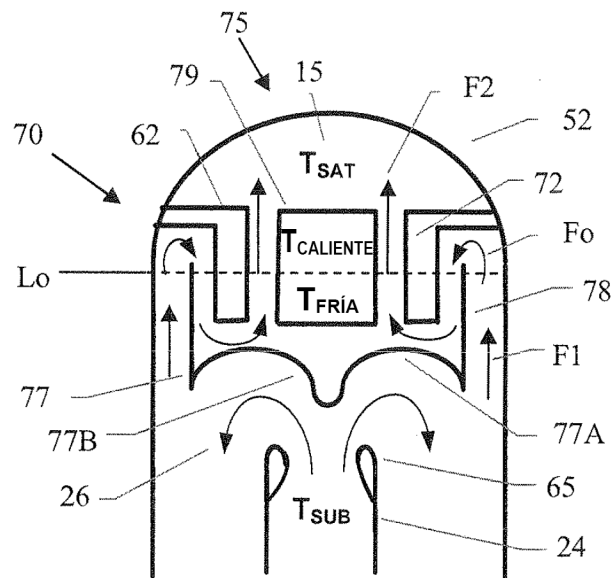


FIG. 7

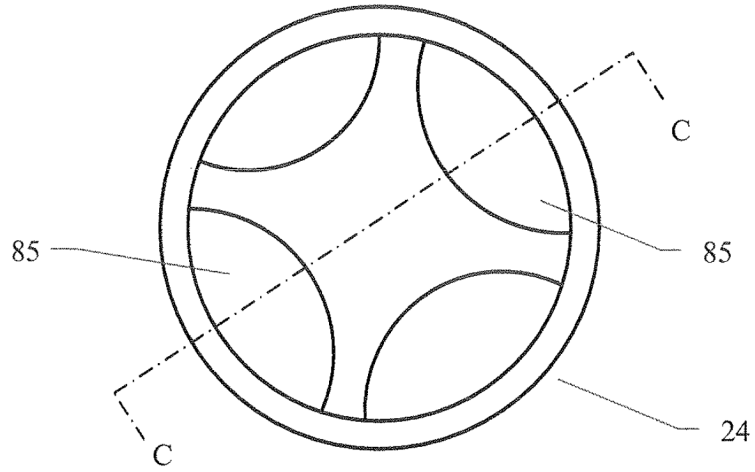


FIG. 8

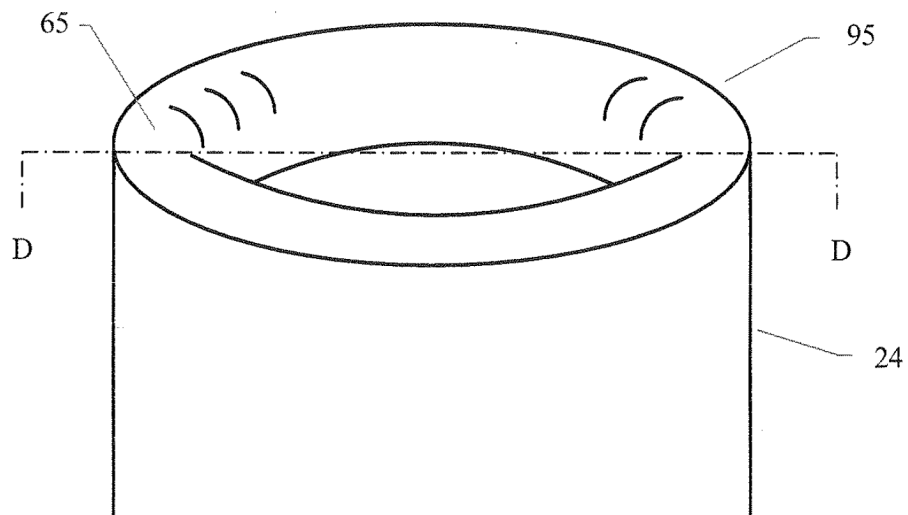


FIG. 9

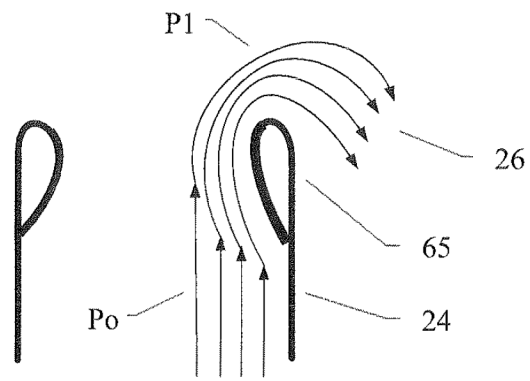


FIG. 10

FIG. 11

