

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 719**

51 Int. Cl.:

**G21C 15/10** (2006.01)

**G21C 1/32** (2006.01)

**G21C 15/16** (2006.01)

**G21C 15/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2009 E 12196300 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.09.2014 EP 2571028**

54 Título: **Reflector de vasija de reactor con flujo integrado**

30 Prioridad:

**17.11.2008 US 272215**

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

**11.12.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**YOUNG, ERIC PAUL**

74 Agente/Representante:

**TORNER LASALLE, Elisabet**

**ES 2 524 719 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

Reflector de vasija de reactor con flujo integrado.

Campo técnico

5 La presente invención está relacionada con el campo de la generación de energía nuclear, incluyendo los sistemas diseñados para enfriar un núcleo de reactor.

Antecedentes

10 En reactores nucleares diseñados con sistemas pasivos de funcionamiento, se emplean las leyes de la física para garantizar que se mantiene el funcionamiento seguro del reactor nuclear durante la operación normal o incluso en una situación de emergencia sin la intervención ni la supervisión del operario, al menos durante cierto periodo de tiempo predefinido. Un reactor nuclear 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 situado, además, en una envuelta 122 que rodea el núcleo 6 del reactor en torno a sus lados. Cuando el núcleo 6 del reactor calienta el agua 10 como consecuencia de eventos de fisión, el agua 10 es dirigida desde la envuelta 122 y saliendo de la tubería ascendente 124. Esto da como resultado que más agua 10 sea introducida en el núcleo 6 del reactor y calentada por él, lo que introduce aún más agua 10 en la envuelta 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 a través de la circulación natural. En la vasija 2 del reactor se produce vapor 11 a presión cuando el agua 10 se calienta.

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 cambiador 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 del sistema secundario 130 de refrigeración están aislados del agua 10 de la vasija 2 del reactor, de tal modo que no se les permite mezclarse ni entrar en contacto mutuo.

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 escapen al entorno circundante. Se proporciona una válvula 8 de vapor para evacuar el vapor 11 procedente de la vasija 2 del reactor al interior de una mitad superior 14 de la vasija 4 de contención. Se proporciona una válvula 18 sumergida de purga para liberar el agua 10 en la piscina 12 de supresión, que contiene agua subenfriada.

30 El agua 10 circula a través de la vasija 2 del reactor como consecuencia de diferencias de temperatura y presión que se desarrollan como consecuencia de la generación de calor por el funcionamiento del reactor y por el intercambio de calor con el sistema secundario 130 de refrigeración. En consecuencia, la eficiencia de la circulación depende de las propiedades térmicas locales relativas del agua 10 en el módulo 5 del reactor, así como de su diseño físico y su geometría. Se proporcionan reflectores del núcleo del reactor para mejorar el rendimiento del núcleo del reactor y de los eventos de fisión asociados. Como consecuencia de la estrecha proximidad del reflector al núcleo del reactor, el reflector tiende a calentarse. Se usa refrigerante primario para enfriar el reflector, y la circulación de refrigerante por el núcleo del reactor se reduce como consecuencia del suministro del agua 10 necesaria para refrigerar el reflector del núcleo del reactor. Por lo tanto, los reactores nucleares convencionales deben valerse de un mayor volumen de refrigerante, bombas u otros componentes de sistemas redundantes para garantizar un rendimiento suficiente.

La presente invención aborda estos y otros problemas.

40 La memoria de la patente GB N° 1,036,935 da a conocer un reactor nuclear con una vasija de reactor que tiene una pared fija en el fondo y una cubierta móvil en la parte de arriba. Tanto la pared del fondo como la cubierta de arriba comprenden pequeñas aperturas a través de las cuales el gas de refrigeración puede entrar en el reactor, pasar a través de un relleno del reactor, y salir por la parte de arriba. La cubierta móvil de la parte de arriba evita que el relleno del reactor sea levantado y que además actúe como un reflector neutrónico.

45 El documento de patente US-A-4 701 299 da a conocer un reactor nuclear de agua a presión con un núcleo de reactor y una contención. Un revestimiento modular está dispuesto en el espacio anular entre la superficie exterior del núcleo y la superficie interior de la contención. El revestimiento modular consiste en capas sucesivas de diferentes tipos de elementos modulares. Las piezas de embalaje están dispuestas entre los elementos modulares y la superficie interior de la contención para crear un espacio para la circulación del agua refrigerante del reactor.

50 El documento de patente JP 2003 114292 A da a conocer un reflector neutrónico para un reactor nuclear. El reflector neutrónico comprende una pluralidad de bloques anulares, donde cada bloque anular tiene una parte oculta en un lado y una parte saliente en el lado opuesto. Cuando los bloques anulares están aliados uno encima del otro, la parte saliente de un bloque anular superior se posiciona en la parte oculta del bloque anular adyacente inferior. Esta estructura de acoplamiento evita los escapes de agua.

55 Sumario de la invención

La invención se define por las reivindicaciones independientes, tomando buena cuenta de cada elemento que es equivalente a un elemento especificado en las reivindicaciones. Las reivindicaciones dependientes conciernen a elementos 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 modular de energía que comprende una vasija de contención internamente seca.
- La FIG. 3 ilustra una vista lateral en corte transversal parcial de una realización de un conjunto modular de energía que comprende un núcleo del reactor rodeado por un reflector neutrónico.
- 10 La FIG. 4 ilustra una vista parcial de un conjunto modular de energía que comprende un núcleo de reactor y un reflector convencional.
- 15 La FIG. 5 ilustra una vista parcial de un conjunto modular ejemplar de energía que comprende un núcleo de reactor y un reflector neutrónico novedoso.
- La FIG. 6 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar que comprende canales horizontales y verticales de flujo de refrigerante.
- 20 La FIG. 7 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar que comprende canales diagonales o inclinados de flujo de refrigerante.
- La FIG. 8 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar que comprende canales diagonales y verticales de flujo de refrigerante.
- 25 La FIG. 9 ilustra una vista en perspectiva desde arriba de un reflector neutrónico ejemplar que comprende varias capas estratificadas.
- 30 La FIG. 10 ilustra una vista en planta en corte transversal de un conjunto modular de energía que incluye un núcleo de reactor y un reflector neutrónico.
- La FIG. 11 ilustra un procedimiento novedoso de hacer circular refrigerante a través de una carcasa de reactor usando un reflector neutrónico configurado para recibir un flujo de refrigerante procedente de un núcleo de reactor.
- 35 La invención se volverá más inmediatamente evidente a partir de la siguiente descripción detallada de una realización preferente de la invención, que procede con referencia a los dibujos adjuntos.

Descripción de realizaciones ejemplares

- 40 Diversas realizaciones dadas a conocer u objeto de alusión en el presente documento pueden operarse en coherencia o en unión con características encontradas en la solicitud de patente estadounidense, en tramitación como la presente, con número de serie 11/941.024 que se incorpora a la presente como referencia en su totalidad.
- 45 La FIG. 2 ilustra un conjunto modular 25 de energía que comprende una vasija 54 de contención internamente seca. La vasija 54 de contención tiene forma cilíndrica y tiene extremos superior e inferior elipsoidales, abovedados o hemisféricos. Todo el conjunto modular 25 de energía puede estar sumergido en una piscina de agua 16 que sirve de disipador efectivo del calor. La vasija 54 de contención puede estar soldada o sellada de otra forma al entorno, de tal modo que líquidos o gas no escapen del conjunto modular 25 de energía ni entren en el mismo. La vasija 54 de contención puede estar soportada en cualquier superficie externa.
- 50 En una realización, la vasija 54 de contención está suspendida en la piscina de agua 16 por una o más conexiones 180 de fijación. La piscina de agua 16 y la vasija 54 de contención pueden, además, estar situadas bajo tierra 9 en una dársena 7 del reactor. Una vasija 52 de reactor está situada o montada 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 líquido, tal como agua, y una pared exterior puede estar expuesta a un entorno seco, tal como aire. La vasija 52 del reactor puede estar fabricada de acero inoxidable o de acero al carbono, puede incluir un revestimiento metálico, y puede estar soportada dentro de la vasija 54 de contención.
- 55 El conjunto modular 25 de energía puede estar dimensionado para que pueda ser transportado en un vagón. Por ejemplo, la vasija 54 de contención puede construirse 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 llevarse a cabo transportando todo el conjunto modular 25 de energía en vagón o en barco, por ejemplo, y sustituyéndolo con un conjunto modular de energía nuevo o reacondicionado que tenga un suministro nuevo de varillas de combustible.

La vasija 54 de contención encapsula y, en algunas situaciones, enfría el núcleo 6 del reactor. Es relativamente pequeña, tiene gran resistencia y puede ser capaz de soportar seis o siete veces la presión de los diseños convencionales de contención debido, en parte, a sus menores dimensiones totales. Dada una rotura en el sistema de refrigeración primaria del conjunto modular 25 de energía, no se libera al entorno ningún producto de fisión. El calor de decaimiento puede eliminarse del conjunto modular 25 de energía en situaciones de emergencia.

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

La vasija 54 de contención rodea sustancialmente la vasija 52 del reactor y puede proporcionar un entorno seco, vacío o gaseoso identificado como zona 44 de contención. La zona 44 de contención puede comprender una cantidad de aire u otro gas de carga, como argón u otro gas noble. La vasija 54 de contención incluye una superficie interna o pared interna que es adyacente a la zona 44 de contención. La zona 44 de contención puede incluir un gas o gases en lugar del aire o además del mismo. En una realización, la zona 44 de contención se mantiene a la presión atmosférica, o por debajo de la misma, por ejemplo como un vacío parcial. Se pueden extraer el gas o los gases de modo que la vasija 52 del reactor esté situada en un vacío total o parcial en la zona 44 de contención.

Durante la operación normal, la energía térmica procedente de los eventos de fisión en el núcleo 6 del reactor hace que el refrigerante 100 se caliente. A medida que el refrigerante 100 se calienta, se vuelve menos denso y tiende a ascender a través de la tubería ascendente 24. A medida que se reduce la temperatura del refrigerante 100, se vuelve relativamente más denso que el refrigerante calentado y se hace que circule en torno al exterior del anillo 23, bajando hasta el fondo de la vasija 52 del reactor y subiendo a través de la envuelta 22 para volver a ser calentado por el núcleo 6 del reactor. Esta circulación natural hace que el refrigerante 100 (mostrado como flujo 26, 28 de refrigerante) realice un ciclo que atraviesa el intercambiador 135 de calor de la FIG. 1, transfiriendo calor a un refrigerante secundario, tal como el sistema secundario 130 de refrigeración de la FIG. 1, para generar electricidad.

La FIG. 3 ilustra una vista lateral en corte transversal parcial de un conjunto modular 30 de energía que comprende un núcleo 6 del reactor rodeado por un reflector neutrónico 35. El reflector neutrónico 35 puede rodear parcial o completamente el núcleo 6 del reactor en torno a sus lados. En una realización, el reflector neutrónico 35 es, externamente, de forma cilíndrica, e internamente se acopla al perímetro del núcleo del reactor. El reflector neutrónico 35 puede fabricarse usando acero inoxidable. Se ilustra el conjunto modular 30 de energía incluyendo un rociador y uno o más calentadores para contribuir a controlar la presión dentro de la vasija 52 del reactor.

El reflector neutrónico 35 puede estar situado entre la carcasa 22 del reactor y el núcleo 6 del reactor. En una realización, el reflector neutrónico 35 está integrado con la carcasa 22 del reactor, de modo que la superficie exterior del reflector neutrónico 35 forme parte de la zona bajante. El uranio u otros materiales del núcleo del reactor pueden fisionarse dividiéndose en núcleos menores. El evento de fisión también da como resultado una liberación de algunos neutrones y de grandes cantidades de energía en forma de movimiento de los productos de fisión, rayos gamma (gammas), neutrones y neutrinos. El reflector neutrónico 35 mantiene la eficiencia neutrónica del conjunto modular 30 de energía, en el que los neutrones que escapan del núcleo 6 del reactor durante los eventos de fisión vuelven a ser reflejados hacia el núcleo 6 del reactor. El reflector neutrónico 35 también absorbe o modera los productos de fisión (por ejemplo, gammas y neutrones) para proteger a la vasija 52 del reactor de daños. Como consecuencia de la absorción de algunos de los gammas y los neutrones, el reflector neutrónico 35 tiende a calentarse con el tiempo.

El refrigerante primario 28 fluye a través del núcleo 6 del reactor, convirtiéndose en el refrigerante relativamente caliente  $T_H$ . El flujo 26 de refrigerante que sale por encima de la tubería ascendente 24 se dirige de forma descendente por el anillo, después de lo cual se transfiere el calor del refrigerante caliente  $T_H$  a un intercambiador de calor, y luego vuelve a recircular bajando por la vasija 52 del reactor hasta el núcleo 6 del reactor. El flujo 28 de refrigerante que circula ascendentemente a través del núcleo 6 del reactor también sirve para enfriar la superficie del reflector neutrónico 35, pero, dado que el grosor del reflector neutrónico 35 aumenta para mejorar las eficiencias neutrónicas, este enfriamiento de la superficie puede ser insuficiente para proteger al reflector neutrónico 35 del calentamiento excesivo.

La FIG. 4 ilustra una vista parcial de un conjunto modular de energía que comprende un núcleo 6 de reactor y un reflector convencional 45. El flujo de refrigerante  $T_C$  que circula por delante del reflector 45 es desviado parcialmente para que fluya a través de un agujero vertical 40 de circunvalación proporcionado en toda la longitud del reflector 45. El resto del flujo de refrigerante  $T_C$  fluye a través del núcleo 6 del reactor. En consecuencia, el flujo de refrigerante  $T_C$  se divide en dos partes, que incluyen el flujo 46 de refrigerante, que pasa a través del núcleo 6 del reactor, y el flujo 47 de refrigerante, que pasa a través de los agujeros 40 de circunvalación del reflector 45.

Cualquiera de los dos flujos 46, 47 de refrigerante (tomado individualmente) incluye caudales menores de refrigerante en comparación con el flujo del refrigerante  $T_C$ . El flujo 47 de refrigerante no pasa a través del núcleo 6 del reactor. En consecuencia, el caudal efectivo del flujo de refrigerante  $T_C$  que pasa a través del núcleo 6 del reactor se reduce en una cantidad igual al flujo 47 de refrigerante. Esto reduce la eficiencia operativa del módulo de energía, ya que debe proporcionarse refrigerante adicional al sistema, o debe aumentarse el caudal de refrigerante mediante bombas para compensar el flujo 47 de refrigerante que se desvía a través del reflector 45.

La FIG. 5 ilustra una vista parcial de un conjunto modular ejemplar de energía que comprende un núcleo 6 de reactor y un reflector neutrónico novedoso 50. La carcasa 22 del reactor rodea al núcleo 6 del reactor en torno a sus lados para dirigir el refrigerante  $T_C$  a través del núcleo 6 del reactor. El reflector neutrónico 50 se sitúa entre la carcasa 22 del reactor y el núcleo 6 del reactor. Según la invención, el reflector neutrónico 50 rodea parcial o completamente al núcleo 6 del reactor en torno a sus lados para mejorar la eficiencia neutrónica del módulo de energía. El reflector neutrónico 50 comprende una o más entradas EN1, EN2 situadas adyacentes al núcleo 6 del reactor, estando configuradas las una o más entradas EN1, EN2 para recibir refrigerante que ha pasado a través de al menos una porción del núcleo 6 del reactor antes de entrar en las una o más entradas EN1, EN2.

El reflector neutrónico 50 comprende un extremo inferior 51, un extremo superior 55 y una pared lateral 53 que está orientada hacia el núcleo 6 del reactor, estando situadas las una o más entradas EN1, EN2 en la pared lateral 53. La primera entrada EN1 está situada a una elevación menor que la segunda entrada EN2. La primera entrada EN1 está configurada para recibir refrigerante que pasa a través de una porción inferior del núcleo 6 del reactor. La segunda entrada EN2 está situada a una elevación mayor que la primera entrada EN1. La segunda entrada EN2 está configurada para recibir refrigerante que pasa a través de una porción superior del núcleo 6 del reactor. Al introducir el refrigerante en las entradas EN1, EN2 a diferentes elevaciones en vez de en el fondo del reflector neutrónico 50, todo el refrigerante es introducido, al menos parcialmente, a través del núcleo calentado 6 del reactor, en vez de circunvalar el núcleo calentado 6 del reactor.

Al introducirse el refrigerante a través de las entradas situadas a diferentes alturas, el refrigerante puede ser usado de inmediato para enfriar diferentes zonas del reflector neutrónico 50 simultáneamente, sin tener que esperar a que el refrigerante atravesase toda la longitud del reflector neutrónico 50. Por otra parte, los reflectores convencionales enfrían preferentemente una porción inferior del reflector, en un punto en el que el refrigerante entra en un agujero de circunvalación (remitirse a la FIG. 4). Sin embargo, la porción inferior del reflector puede no experimentar, de hecho, la mayor cantidad de generación del calor debido a la distribución de potencia axial del núcleo del reactor.

El refrigerante  $T_C$  que circula dentro de la vasija 52 del reactor entra en el núcleo 6 del reactor como flujo  $F_0$  de refrigerante. En una realización, el caudal asociado con el refrigerante  $T_C$  es igual que el caudal asociado con el flujo  $F_0$  de refrigerante que entra en la parte inferior del núcleo 6 del reactor. El refrigerante que ha pasado parcialmente a través del núcleo 6 del reactor entra las una o más entradas EN1, EN2 como flujo cruzado  $F_1$  de refrigerante. El flujo cruzado  $F_1$  de refrigerante enfría el reflector neutrónico 50 según se desplaza entre las una o más entradas EN1, EN2 y una o más salidas SAL. Las una o más salidas SAL están situadas en la superficie superior o extremo superior 55 del reflector neutrónico 50. El flujo  $F_2$  de refrigerante sale del reflector neutrónico 6 a través de las una o más salidas SAL. En una realización, el caudal asociado con el flujo  $F_2$  de refrigerante es igual que el caudal asociado con el flujo cruzado  $F_1$  de refrigerante. El flujo  $F_2$  de refrigerante se une al flujo de refrigerante  $T_H$  que sale del núcleo 6 del reactor. En una realización, el caudal asociado con el flujo  $F_0$  de refrigerante es igual que la suma de flujos  $F_2$  y  $T_H$  de refrigerante.

En una realización, el flujo cruzado  $F_1$  de refrigerante entra en las una o más entradas EN1, EN2 como un líquido de una sola fase. El flujo  $F_2$  de refrigerante sale de las una o más salidas SAL como vapor/líquido, en dos fases, o como vapor de una sola fase. El flujo  $F_2$  de refrigerante que sale de las una o más salidas SAL introduce la formación de huecos en la sección ascendente 24 y reduce la densidad efectiva de refrigerante dentro de las elevaciones del núcleo, mejorando los caudales de refrigerante en el módulo de energía. Aumentar el caudal también da como resultado un menor cambio en la temperatura en el núcleo 6 del reactor. La formación de huecos mejora el flujo a través del núcleo 6 del reactor y también mejora los coeficientes de la transferencia de calor del lado primario dentro de la zona del generador de vapor.

Tener refrigerante en una sola fase o en dos fases, que incluyen vapor, en el reflector neutrónico 50 reduce la cantidad de moderación de neutrones que, en otro caso, ocurre dentro del reflector neutrónico 50, aumentando la eficiencia de reflexión neutrónica. Dado que la transferencia de calor por vapor o ebullición permite una eliminación del calor más eficiente en comparación con el refrigerante líquido de una sola fase, puede eliminarse menos material reflector para permitir el enfriamiento de la porción interna del reflector neutrónico 50, mejorando con ello las

eficiencias de la reflexión neutrónica o la economía neutrónica. Las eficiencias neutrónicas mejoran más como consecuencia de proporcionar vapor en el refrigerante de una sola fase o de dos fases dentro del reflector neutrónico 50. Dado que el vapor es un moderador deficiente de neutrones en comparación con el refrigerante líquido, se moderan menos neutrones como consecuencia de la extracción del refrigerante supercalentado de una sola fase de la zona del núcleo. Proporcionar un reflector neutrónico más eficiente da como resultado mayores caudales a través del núcleo 6 del reactor, y permite que el módulo de energía sea operado con mayor potencia operativa.

La FIG. 6 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar 60 que comprende canales horizontales y verticales 69 de flujo de refrigerante. Puede entenderse que el reflector neutrónico 60 está situado adyacente al núcleo 6 del reactor (FIG. 5). En una realización, el reflector neutrónico está situado entre el núcleo del reactor y la carcasa del reactor, según ejemplifican el reflector neutrónico 6, el núcleo 6 del reactor y la carcasa 22 del reactor de la FIG. 5. El reflector neutrónico 60 comprende varios orificios 62 de entrada orientados hacia el núcleo 6 del reactor. El reflector neutrónico 60 comprende, además, varios orificios 64 de salida con conexión de fluido con los orificios 62 de entrada, para dirigir una porción del refrigerante F1 a través del reflector neutrónico 60. Se muestran los orificios 62 de entrada situados a elevaciones diferentes a lo largo de la pared lateral 63.

Los orificios 62 de entrada están situados en una pared lateral 63 del reflector neutrónico 60, mientras que los orificios 64 de salida están situados en el extremo superior 65 del reflector neutrónico 60. El refrigerante sale del reflector neutrónico 60 a través de los orificios 64 de salida como flujo F2 de refrigerante. En una realización, el flujo F2 de refrigerante es igual que el flujo cruzado F1 de refrigerante. Los orificios 62 de entrada y los orificios 64 de salida tienen conexión de fluido por medio de varios canales 69 de flujo. La primera parte del canal 69 de flujo comprende una sección aproximadamente horizontal 68, mientras que una segunda parte del canal 69 de flujo comprende una sección aproximadamente vertical 67. Se muestra al canal horizontal 68 conectado con el orificio 62 de entrada, mientras que se muestra al canal vertical 67 conectado con el orificio 64 de salida. En una realización, se proporciona un canal opcional 66 aproximadamente vertical para contribuir a enfriar el reflector neutrónico 60. El canal opcional 66 aproximadamente vertical extrae refrigerante desde el extremo inferior del reflector neutrónico 60.

La separación entre los orificios 62 de entrada puede variar. Por ejemplo, una primera separación  $H_i$  entre los orificios de entrada puede ser mayor que una segunda separación  $H_n$  entre los orificios de entrada. La separación entre los orificios 62 de entrada en el centro del núcleo 6 del reactor, o cerca del mismo, puede ser menor que la separación entre los orificios 62 de entrada en cualquiera de los dos extremos del núcleo 6 del reactor, o cerca de los mismos. El número o la concentración de los orificios 62 de entrada puede ser mayor en el centro del núcleo 6 del reactor, o cerca del mismo, que el número o la concentración de los orificios 62 de entrada en cualquiera de los dos extremos del núcleo 6 del reactor, o cerca de los mismos. En una realización, se hace que la separación de los orificios de entrada varíe según el perfil de generación de potencia axial del núcleo 6 del reactor, así como las condiciones de fluidos. En una realización, la separación de orificios de entrada está dispuesta para igualar el punto en el que ocurre la ebullición dentro del reflector neutrónico 60. Los múltiples orificios de entrada situados en diferentes posiciones verticales a lo largo del núcleo 6 del reactor permiten el enfriamiento del reflector neutrónico 60 por etapas. El diámetro de los canales o el tamaño de los canales puede variar para permitir que pase más o menos refrigerante F1 a través de uno cualquiera de los orificios 62 de entrada. El tamaño de los canales cerca del centro del núcleo 6 del reactor puede ser mayor que el tamaño de los canales en cualquiera de los dos extremos del núcleo 6 del reactor.

La FIG. 7 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar 70 que comprende varios canales inclinados 79 de flujo de refrigerante. Los canales inclinados 79 de flujo de refrigerante acoplan por fluido una o más entradas 72 situadas en una pared lateral 73 del reflector neutrónico 70 a una o más salidas 74 situadas en un extremo superior 75 del reflector neutrónico 70. El flujo cruzado F1 de refrigerante que ha pasado parcialmente a través del reactor 6 (FIG. 5) entra en las una o más entradas 72, pasa a través de los canales inclinados 79 de flujo de refrigerante, y sale por las salidas F2 como flujo F2 de refrigerante. En una realización, el flujo F2 de refrigerante es igual al flujo cruzado F1 de refrigerante.

La separación  $H_i$ ,  $H_n$  de los orificios de entrada puede variar con la elevación de los orificios 72 de entrada. La altura o la anchura de los canales inclinados 79 de flujo de refrigerante también pueden variar, permitiendo que pase más o menos flujo cruzado F1 de refrigerante a través de porciones diferentes del reflector neutrónico 70. En una realización, se proporcionan uno o más canales opcionales 76, 78 aproximadamente verticales para permitir que pase refrigerante adicional a través de una porción inferior del reflector neutrónico 70. Se muestran los uno o más canales 76, 78 aproximadamente verticales conectados a uno de los canales inclinados 79 de flujo de refrigerante; sin embargo, alternativamente, pueden conectarse a sus propias salidas respectivas (no mostradas) situadas en el extremo superior 75 del reflector neutrónico. Cuando se proporcionan uno o más de los canales opcionales 76, 78 aproximadamente verticales en el reflector neutrónico 70, el flujo cruzado F1 de refrigerante puede ser menor que el flujo F2 de refrigerante.

La FIG. 8 ilustra una vista en corte parcial de un reflector neutrónico ejemplar 80 que comprende canales diagonales y verticales 89 de flujo de refrigerante. Los canales 89 de flujo de refrigerante acoplan por fluido una o más entradas 82 situadas en una pared lateral 83 del reflector neutrónico 80 a una o más salidas 84 situadas en un extremo

superior 85 del reflector neutrónico 80. El flujo cruzado F1 de refrigerante que ha pasado parcialmente a través del núcleo 6 del reactor (FIG. 5) entra en las una o más entradas 82, pasa a través de los canales 89 de flujo de refrigerante, y sale por las salidas F2 como flujo F2 de refrigerante. En una realización, el flujo F2 de refrigerante es igual al flujo cruzado F1 de refrigerante.

5 La primera parte del canal 89 comprende una sección acodada o inclinada 88, mientras que una segunda parte del canal 89 comprende una sección aproximadamente vertical 87. Se muestra al canal horizontal 88 conectado al orificio 82 de entrada, mientras que se muestra al canal aproximadamente vertical 87 conectado al orificio 84 de salida. En una realización, ninguno de los canales u orificios está conectado al extremo inferior 81 del reflector neutrónico 80.

10 Las diversas realizaciones del reflector neutrónico pueden comprender cualquier número o combinaciones de canales horizontales, verticales, inclinados, diagonales o de otro tipo, y no se pretende que las realizaciones ilustradas en el presente documento limiten ninguna combinación de ese tipo. Además, el número de orificios de entrada puede no ser igual al número de orificios de salida, ya que uno o más canales pueden conectar entre sí múltiples orificios.

15 La FIG. 9 ilustra una vista en perspectiva desde arriba de un reflector neutrónico ejemplar 90 que comprende varias capas estratificadas 92, 94, 96. Puede entenderse que la FIG. 9 es un procedimiento de fabricación o un procedimiento de montaje de un reflector neutrónico, ilustrando FIG. 9 una vista despiezada del reflector neutrónico 90. Cuando está montada, la placa inferior 92 es adyacente a la placa 94 y está en contacto con la misma, mientras que la placa 94 es adyacente a la placa superior 96 y está en contacto con la misma. Puede entenderse que una superficie superior de la placa superior 96 proporciona un extremo superior 95 del reflector neutrónico 90. Puede entenderse que una superficie inferior 92 proporciona un extremo inferior 91 del reflector neutrónico 90. Una superficie lateral de una o de todas las placas 92, 94, 96 puede formar la pared lateral 93 del reflector neutrónico 90.

20 El reflector neutrónico 90 comprende las varias placas estratificadas 92, 94, 96, en las que se forma un canal 99 de flujo, al menos en parte, entre placas adyacentes 92, 94. El canal 99 de flujo conecta por fluido al menos uno de los orificios de entrada ENTRADA con al menos uno de los orificios de salida SALIDA. El canal 99 de flujo comprende un canal aproximadamente horizontal 98 que pasa entre las placas adyacentes 92, 94. Una porción superior del canal aproximadamente horizontal 98 está adentrada en una superficie inferior de una primera placa, tal como la placa central 94, comprendiendo el canal aproximadamente horizontal 98 una porción inferior que está acotada por una superficie superior de una segunda placa, tal como la placa inferior 92. La superficie inferior de la placa central 94 está situada adyacente a la superficie superior de la placa inferior 92 cuando el reflector neutrónico 90 está completamente ensamblado. Se muestra otro canal formado entre la placa central 94 y la placa superior 96.

25 En una realización, el canal horizontal 98 está decapado en la superficie inferior de la placa central 94. En otra realización, se mecaniza una porción, o la totalidad, del canal 99 de flujo en una o más de las placas.

30 El canal aproximadamente horizontal 98 está conectado con un canal aproximadamente vertical 97A que pasa a través de la placa central 94. El canal 97A está alineado con el canal 97B de una placa superior 96, de modo que el canal vertical acumulativo 97A,B pasa a través de dos o más de la pluralidad de placas. El canal horizontal 98 está conectado con un orificio de entrada ENTRADA, y los canales verticales 97A,B están conectados con el orificio de salida SALIDA. En una realización, el canal horizontal 98 y los canales verticales 97A,B están configurados para acoplar por fluido el orificio de entrada ENTRADA con el orificio de salida SALIDA cuando están ensamblados como reflector neutrónico. La placa superior 96 puede comprender uno o más canales aproximadamente verticales que solo pasen a través de una sola placa.

35 Según la invención, al menos algunas de las varias placas 92, 94, 96 tienen grosores diferentes, variando la distancia entre los orificios de entrada según los diferentes grosores de las varias placas. Por ejemplo, la placa central 94 tiene un grosor de  $D_n$ , mientras que la placa superior 96 tiene un grosor de  $D_i$ . En una realización, el grosor  $D_i$  de la placa asociado con un extremo superior del reflector neutrónico 90 es más grande o mayor que el grosor  $D_n$  de la placa asociado con una porción central del reflector neutrónico 90.

40 Se muestra un número de tres placas para la simplicidad de la ilustración, mientras que otras realizaciones podrían incluir un número de placas menor o mayor. En una realización, el número de placas del reflector neutrónico 90 es aproximadamente igual al número de canales horizontales. En otra realización, el número de placas es mayor que el número de canales horizontales. En otra realización adicional, por ejemplo cuando se forman múltiples canales horizontales entre dos placas adyacentes cualesquiera, el número de placas puede ser menor que el número de canales horizontales. La construcción ilustrada por la FIG. 9 minimiza o reduce los costes de mecanizado y el desperdicio de material que están asociados con los diseños convencionales. Mientras que los canales horizontales se ilustran como ranuras o canales, los orificios pueden comprender agujeros circulares en ciertas realizaciones. Por ejemplo, los orificios circulares de entrada o salida pueden ser taladrados, mecanizados o formados de otra manera en el reflector neutrónico o a través del mismo.

45 La FIG. 10 ilustra una vista en planta en corte transversal parcial de un conjunto modular 150 de energía que incluye un núcleo 6 de reactor rodeado por un reflector neutrónico 140 en torno a su perímetro. El reflector neutrónico 140

5 comprende varios orificios 160 de salida configurados para sacar un flujo de refrigerante que ha pasado parcialmente a través del núcleo 6 del reactor. El reflector neutrónico 140 puede comprender varias subsecciones 140A, 140B que se combinan durante el montaje del conjunto modular 150 de energía. En una realización, cada una de las varias subsecciones 140A, 140B comprende varias placas estratificadas similares a las ilustradas por el reflector neutrónico 90 de la FIG. 9.

Mientras que los orificios 160 de salida están ilustrados como ranuras o canales, los orificios pueden comprender agujeros circulares en ciertas realizaciones. Por ejemplo, los orificios circulares de salida pueden ser taladrados, mecanizados o formados de otra manera en el reflector neutrónico o a través del mismo.

10 La FIG. 11 ilustra un procedimiento novedoso 200 de hacer circular refrigerante a través de una carcasa de reactor usando un reflector neutrónico configurado para recibir un flujo de refrigerante procedente de un núcleo de reactor. Puede entenderse que el procedimiento 200 funciona, sin limitación, con diversas realizaciones ilustradas en el presente documento como las FIGURAS 1-10.

En la operación 210, se hace circular un refrigerante primario por una carcasa de reactor.

15 En la operación 220, el refrigerante primario se reparte en una primera porción y una segunda porción, pasando la primera porción por entero a través del núcleo del reactor situado en la carcasa del reactor, y pasando la segunda porción parcialmente a través del núcleo del reactor antes de entrar por una entrada de un reflector neutrónico. En una realización, la entrada está situada en una pared lateral del reflector neutrónico, estando orientada la pared lateral hacia el núcleo del reactor.

20 En la operación 230, la segunda porción del refrigerante primario se dirige a través del reflector neutrónico. En una realización, la segunda porción del refrigerante primario entra en el reflector neutrónico fundamentalmente como un líquido de una sola fase o como líquido y vapor, en dos fases.

25 En la operación 240, la segunda porción del refrigerante primario que sale del reflector neutrónico se recombina con la primera porción del refrigerante primario que pasa a través del núcleo del reactor. La segunda porción del refrigerante primario puede recombinarse con la primera porción dentro de la carcasa del reactor para aumentar el caudal del refrigerante primario a través del núcleo del reactor. En una realización, la segunda porción del refrigerante primario sale del reflector neutrónico como vapor y líquido, en dos fases. En otra realización adicional, la segunda porción del refrigerante primario sale del reflector neutrónico como vapor en una sola fase.

30 Aunque las realizaciones proporcionadas en el presente documento han descrito fundamentalmente un reactor de agua a presión, debería resultar evidente para una persona experta 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, las realizaciones o las variaciones de las mismas también pueden hacerse funcionar con un reactor de agua en ebullición.

35 Las dimensiones de las figuras no se proporcionan a escala y, en algunos casos, se han exagerado en escala algunas características para ilustrar o describir ciertos detalles. Los caudales de refrigerante en la vasija del reactor, así como otros caudales y valores descritos en el presente documento se proporcionan únicamente a título de ejemplo. Pueden determinarse otros caudales y valores mediante experimentación, tal como mediante la construcción de modelos de tamaño real o a escala de un reactor nuclear.

40 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. Los inventores reivindican todas las modificaciones y las variaciones que se encuentren dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un módulo (5, 25) de energía que comprende:  
un núcleo (6) de reactor; y  
5 un reflector (60, 70, 80, 90) que rodea parcialmente al núcleo (6) de reactor para mejorar la eficiencia neutrónica del módulo (5, 25) de energía, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una pluralidad de entradas (62, 72, 82) orientadas hacia el núcleo (6) de reactor y situadas adyacentes al núcleo (6) de reactor a elevaciones diferentes, y en el que la pluralidad de entradas (62, 72, 82) están configuradas para recibir refrigerante (28, 100) que ha pasado a través de al menos una parte del núcleo (6) de reactor antes de entrar en la pluralidad de entradas (62, 72, 82),  
10 caracterizado porque un primer espaciado entre las entradas (62, 72, 82) en una primera elevación es mayor que un segundo espaciado entre las entradas (62, 72, 82) en una segunda elevación.
2. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 1, en el que la primera elevación está en o cerca de un extremo superior del núcleo (6) de reactor.
3. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 2, en el que la segunda elevación está en o cerca de un centro del núcleo (6) de reactor.
4. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 3, en el que el segundo espaciado es menor que un tercer espaciado entre las entradas (62, 72, 82) a una tercera elevación en o cerca de un extremo inferior del núcleo (6) de reactor.  
20
5. El módulo (5, 25) de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una pluralidad de placas (92, 94, 96) estratificadas entre sí, y en el que un espesor de una primera placa asociada con un extremo superior del reflector (60, 70, 80, 90) es mayor que un espesor de una segunda placa asociada a una parte central del reflector (60, 70, 80, 90).
- 25 6. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 5, en el que una distancia entre las entradas (62, 72, 82) varía según los diferentes espesores de la pluralidad de placas (92, 94, 96).
7. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 6, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una o más salidas (64, 74, 84) situadas en un extremo superior (65, 75, 85, 95) del reflector (60, 70, 80, 90), y en el que las una o más entradas (62, 72, 82) están conectadas a una o más salidas (64, 74, 84) mediante uno o más canales (69, 79, 89, 99) que pasan a través del reflector (60, 70, 80, 90), y en el que uno de los uno o más canales (69, 79, 89, 99) está formado, al menos en parte, entre placas (92, 94, 96) adyacentes.  
30
8. El módulo (5, 25) de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una o más salidas (64, 74, 84) situadas en un extremo superior (65, 75, 85, 95) del reflector (60, 70, 80, 90), y en el que las una o más entradas (62, 72, 82) están conectadas a las una o más salidas (64, 74, 84) mediante uno o más canales (69, 79, 89, 99) que pasan a través del reflector (60, 70, 80, 90).  
35
9. Un módulo (5, 25) de energía que comprende:  
un núcleo (6) de reactor; y  
un reflector (60, 70, 80, 90) que rodea parcialmente al núcleo (6) de reactor para mejorar la eficiencia neutrónica del módulo (5, 25) de energía, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una pluralidad de entradas (62, 72, 82) orientadas hacia el núcleo (6) de reactor y situadas adyacentes al núcleo (6) de reactor a elevaciones diferentes, y en el que la pluralidad de entradas (62, 72, 82) están configuradas para recibir refrigerante (28, 100) que ha pasado a través de al menos una parte del núcleo (6) de reactor antes de entrar en la pluralidad de entradas (62, 72, 82),  
40 en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una o más salidas (64, 74, 84) situadas en un extremo superior (65, 75, 85, 95) del reflector (60, 70, 80, 90), y en el que las una o más entradas (62, 72, 82) están conectadas a las una o más salidas (64, 74, 84) mediante uno o más canales (69, 79, 89, 99) que pasan a través del reflector (60, 70, 80, 90), y  
45 caracterizado porque un tamaño del canal del uno o más canales (69, 79, 89, 99) varía para permitir que más o menos refrigerante (28, 100) pase a través de cualquiera de las entradas (62, 72, 82), en el que el tamaño del canal cerca de un centro del núcleo (6) del reactor es mayor que el tamaño del canal en cualquier extremo del núcleo (6) del reactor.  
50
10. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 7 o la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que una primera parte (68) del uno o más canales (69, 79, 89, 99) está conectada a la pluralidad de entradas (62, 72, 82) y está orientado en una dirección aproximadamente horizontal.

11. El módulo (5, 25) de energía según la reivindicación 10, en el que una segunda parte (67) del uno o más canales (69, 79, 89, 99) está conectado a las una o más salidas (64, 74, 84) y está orientado en una dirección aproximadamente vertical.
- 5 12. El módulo (5, 25) de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) comprende una pared lateral (63, 73, 83, 93) orientada hacia el núcleo (6) del reactor, y en el que las una o más entradas (62, 72, 82) están situadas en la pared lateral (63, 73, 83, 93).
- 10 13. El módulo (5, 25) de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 1-12, que además comprende una carcasa (22) de reactor que rodea el núcleo (6) del reactor en sus lados para dirigir el refrigerante (28, 100) a través del núcleo (6) del reactor, en el que el reflector (60, 70, 80, 90) está situado entre la carcasa (22) del reactor y el núcleo (6) del reactor.
- 15 14. El módulo (5, 25) de energía según una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en el que una primera entrada (62, 72, 82) situada en una elevación inferior está configurada para recibir refrigerante (28, 100) que pasa a través de una porción inferior del núcleo (6) del reactor, y en el que una segunda entrada (62, 72, 82) situada en una elevación superior está configurada para recibir refrigerante (28, 100) que pasa a través de una parte superior del núcleo (6) del reactor.
15. Un procedimiento que comprende:
- hacer circular un refrigerante (28, 100) en una carcasa (22) de un reactor;
- 20 particionar el refrigerante (28, 100) en una primera porción y una segunda porción, en el que la primera porción pasa en su totalidad a través del núcleo (6) del reactor situado en la carcasa (22) del reactor, y en el que la segunda porción pasa parcialmente a través del núcleo (6) del reactor antes de entrar en una pluralidad de entradas (62, 72, 82) de un reflector (60, 70, 80, 90) neutrónico; y
- direccionar la segunda porción del refrigerante (28, 100) a través del reflector (60, 70, 80, 90) neutrónico,
- en el que la pluralidad de entradas (62, 72, 82) están orientadas hacia el núcleo (6) del reactor y están situadas adyacentes al núcleo (6) del reactor a diferentes elevaciones, y
- 25 caracterizado porque un primer espaciado entre las entradas (62, 72, 82) en una primera elevación es mayor que un segundo espaciado entre las entradas (62, 72, 82) en una segunda elevación.

FIG. 1

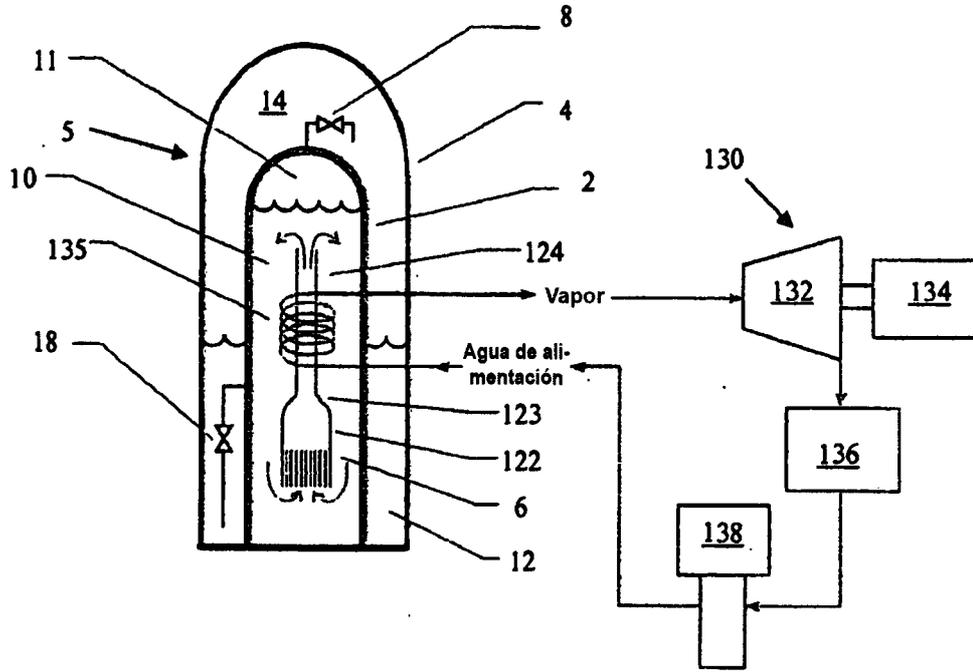
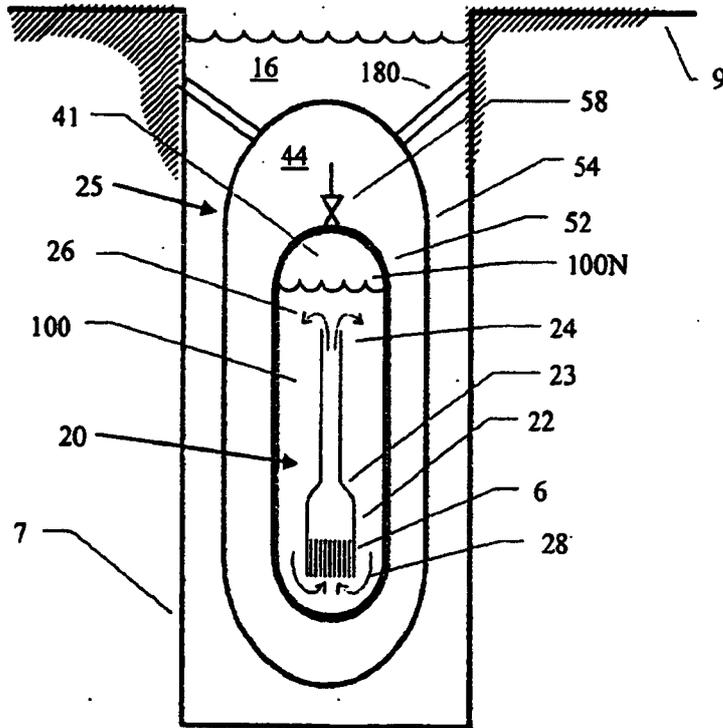


FIG. 2



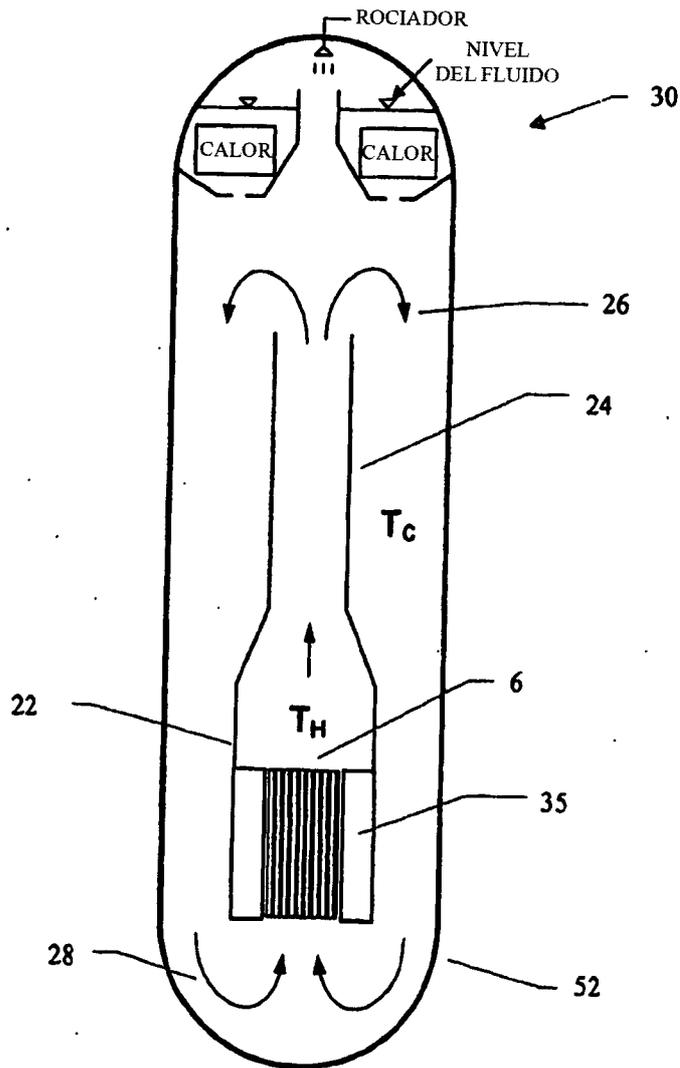


FIG. 3

FIG. 4

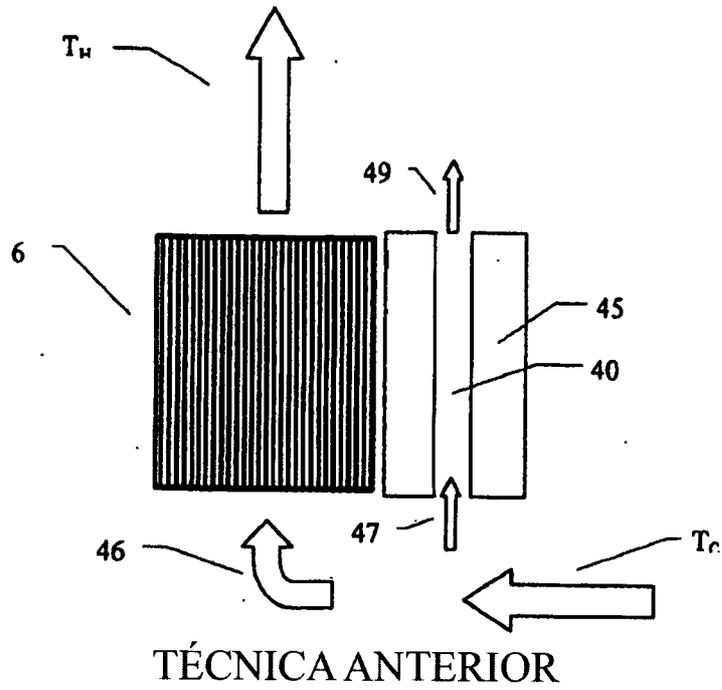


FIG. 5

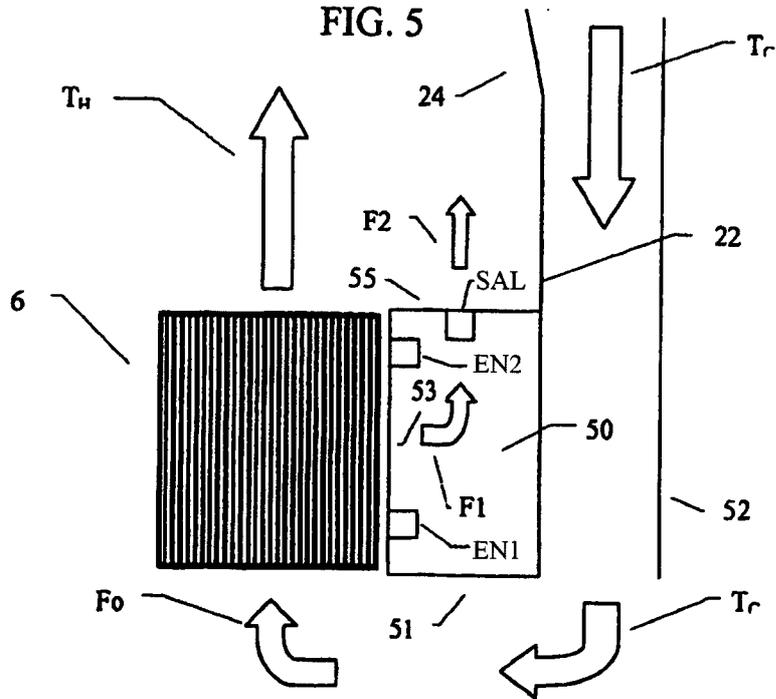


FIG. 6

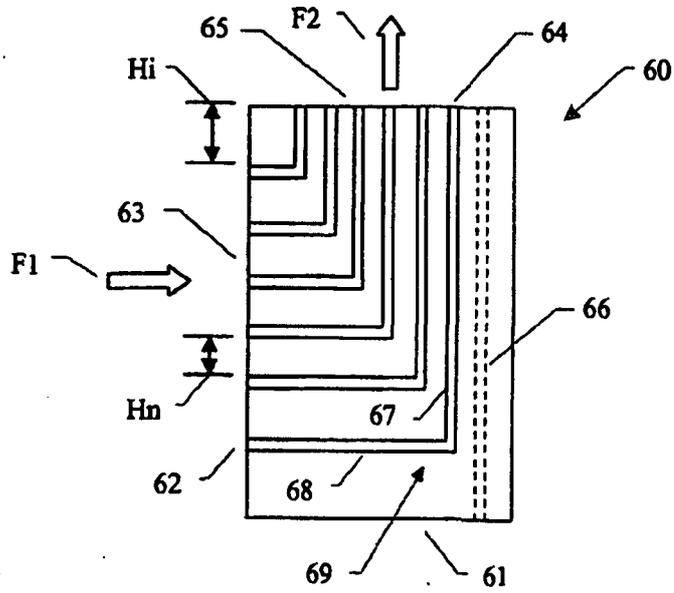


FIG. 7

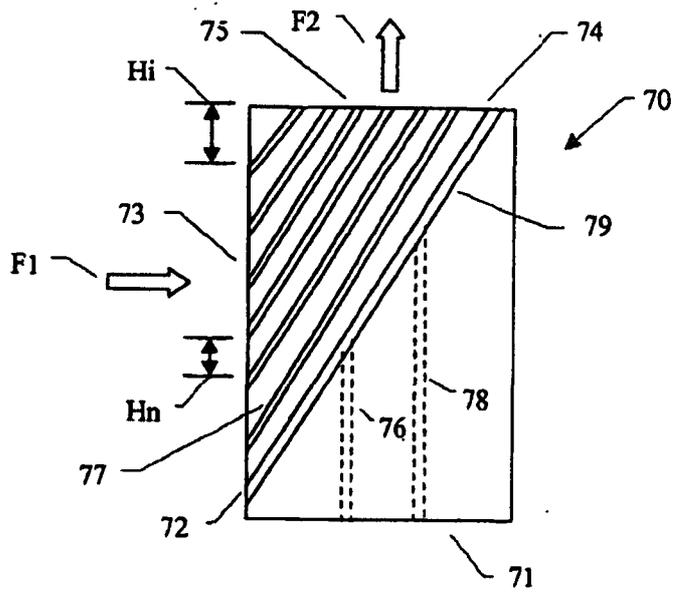


FIG. 8

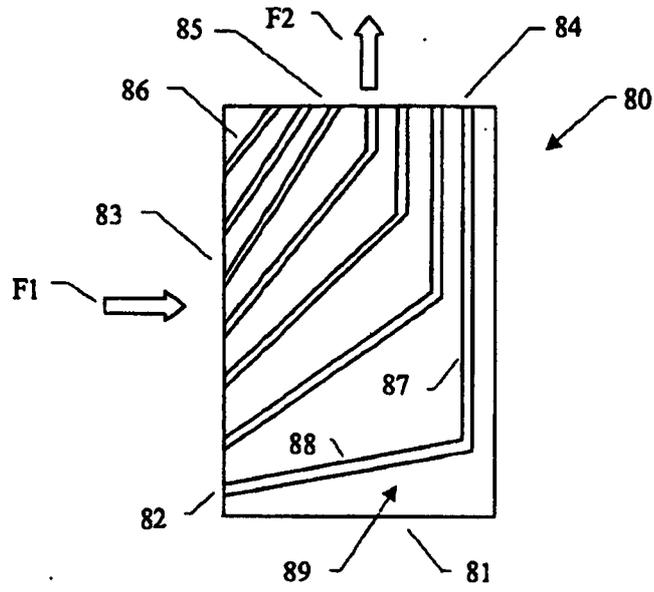


FIG. 9

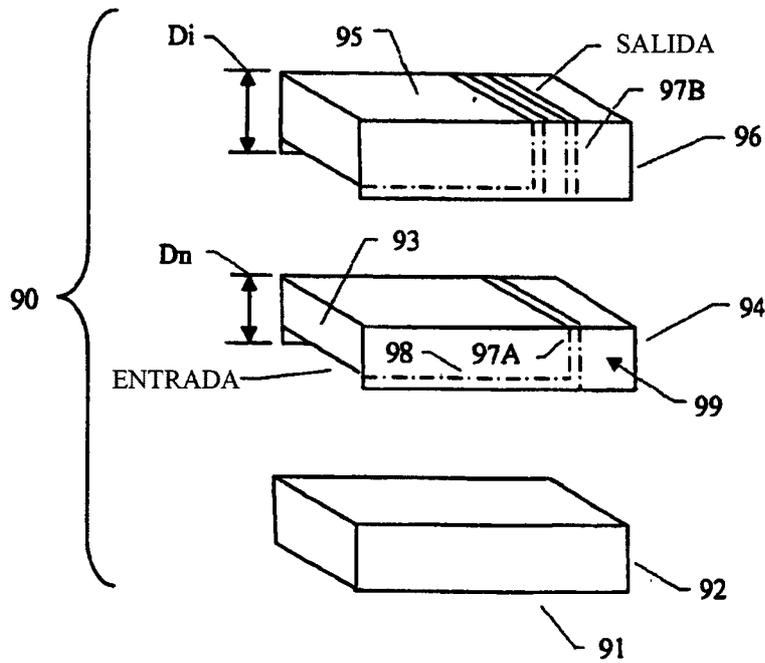


FIG. 10

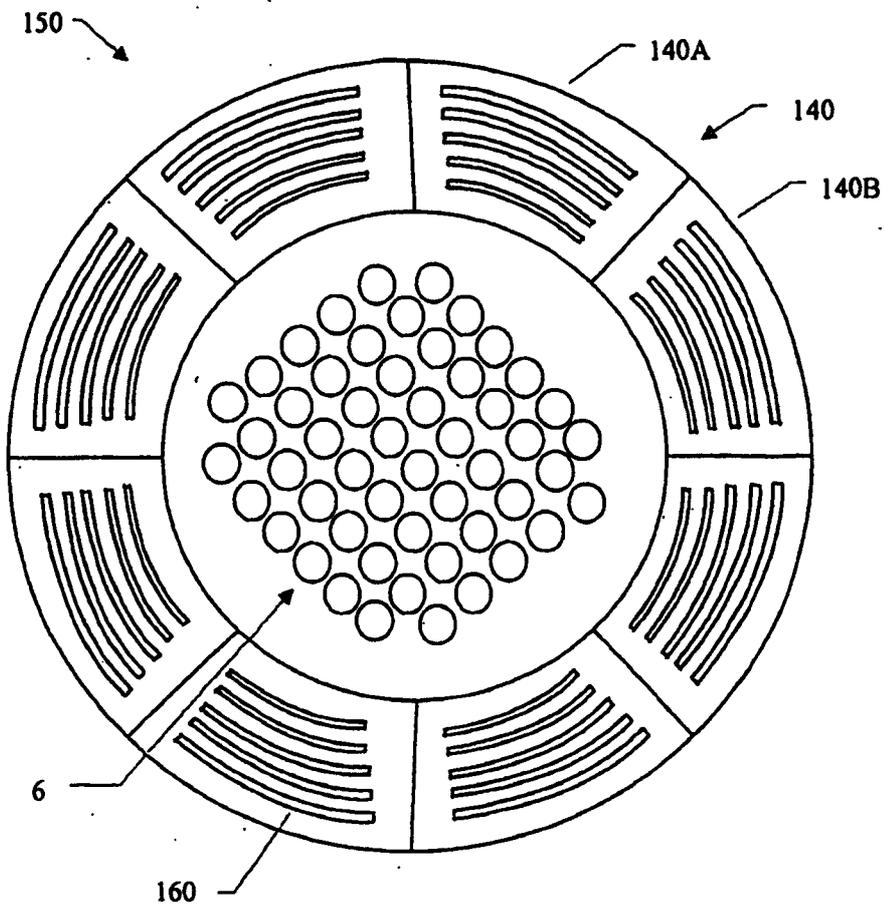


FIG. 11

