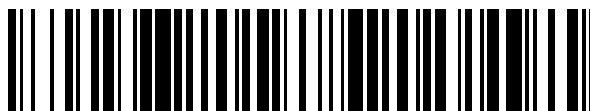


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 112**

51 Int. Cl.:

G21C 3/322 (2006.01)

G21C 3/324 (2006.01)

G21C 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2011 E 11174117 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2015 EP 2410532**

54 Título: **Canales de conjunto de combustible optimizados y procedimientos de creación de los mismos**

30 Prioridad:

25.07.2010 US 843037

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

22.01.2016

73 Titular/es:

**GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, North Carolina 28401, US**

72 Inventor/es:

**INGRAHAM, JASON B.;
KVAALL JR., GERALD D.;
CANTONWINE, PAUL E.;
THOMAS, MICHAEL W. y
CLINE, WILLIAM C**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 557 112 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

Canales de conjunto de combustible optimizados y procedimientos de creación de los mismos

Antecedentes

5 Como se muestra en la Figura 1, un conjunto 10 de combustible convencional de un reactor nuclear, tal como un Reactor de Agua en Ebullición (BWR), puede incluir un canal 12 exterior que rodea una placa 14 de anclaje superior y una placa 16 de anclaje inferior. Una pluralidad de varillas 18 de combustible de longitud total y/o varillas 19 de combustible de longitud parcial se puede disponer en una matriz dentro del conjunto 10 de combustible y pasar a través de una pluralidad de separadores (conocidos también como rejillas separadoras) 15 axialmente separados entre sí y mantener las varillas 18, 19 en la matriz dada del mismo. Las varillas 18 y 19 de combustible son
10 generalmente continuas desde su base hasta su terminal, que, en el caso de la varilla 18 de combustible de longitud total, es desde la placa 16 de anclaje inferior hasta la placa 14 de anclaje superior. El canal 12 exterior encierra las varillas 18/19 de combustible dentro del conjunto 10 y mantiene el flujo de agua u otro refrigerante dentro del conjunto 10 alrededor de las varillas 18/19 de combustible y en contacto con las varillas 18/19 de combustible para facilitar la transferencia de calor del combustible al refrigerante. El canal 12 exterior es tradicionalmente uniforme en
15 cuanto a su diseño mecánico y material para cada otro conjunto 10 proporcionado en un núcleo particular, para facilitar la estandarización del diseño de montaje y la simplicidad de fabricación. El canal 12 exterior se puede fabricar convencionalmente de un material compatible con el entorno del reactor nuclear operativo, tal como Zircaloy-2.

20 Como se muestra en la Figura 2, un núcleo de reactor convencional, tal como un núcleo de BWR, puede incluir una pluralidad de células 40 en el núcleo del reactor. Cada célula puede incluir cuatro conjuntos 10 de combustible con canales 12 de combustible adyacentes. Otros conjuntos 10 de combustible se pueden colocar en el núcleo del reactor fuera de las células 40 y no adyacente para controlar las láminas. Los conjuntos 10 de combustible en la Figura 2 se muestran en sección para ilustrar láminas 45 de control, que son convencionalmente cruciforme en forma y se sitúan de forma móvil entre las superficies adyacentes de los canales 12 de combustible en una célula 40 con la finalidad de controlar la velocidad de reacción del núcleo del reactor. Convencionalmente, hay una lámina 45 de control por célula 40. Como resultado, cada canal 12 de combustible tiene dos lados adyacentes a la lámina 45 de control y dos lados con ninguna lámina de control adyacente.

La lámina 45 de control se forma de materiales que son capaces de absorber neutrones sin someterse a sí mismos fisión, por ejemplo, boro, hafnio, plata, indio, cadmio, u otros elementos que tienen una sección transversal de
30 captura de neutrones suficientemente grande. Por lo tanto, cuando la lámina 45 de control se mueve entre las superficies adyacentes de los canales 12 de combustible, la lámina 45 de control absorbe los neutrones que de otra manera contribuirán a la reacción de fisión en el núcleo. Por otro lado, cuando la lámina 45 de control se mueve fuera de la trayectoria, más neutrones podrán contribuir a la reacción de fisión en el núcleo. Convencionalmente, solo se permitirá una fracción de todas las láminas 45 de control dentro de un núcleo para controlar la reacción de
35 fisión en el núcleo durante un ciclo operativo. Como tal, solo una fracción correspondiente de conjuntos de combustible estará directamente adyacente a una lámina de control extendida, o "sometida a control", durante un ciclo operativo.

Después de un período de tiempo, un canal 12 de combustible se puede distorsionar como resultado de un crecimiento de irradiación diferencial, absorción de hidrógeno diferencial, y/o deformación por irradiación. El crecimiento de irradiación diferencial es causado por gradientes de deformación y da como resultado un pandeo del gradiente de fluencia. La absorción de hidrógeno diferencial es una función de la corrosión diferencial que resulta de la corrosión sombra a los lados de los canales adyacentes a las láminas 45 de control y el porcentaje de hidrógeno liberado del proceso de corrosión que se absorbe en el canal 12 de combustible; esto da como resultado el pandeo por corrosión inducida por sombra. La deformación por irradiación es causada por una caída de presión en las caras del canal, lo que da como resultado una distorsión permanente denominada abultamiento por deformación. Como resultado, la distorsión (pandeo y abultamiento) del canal 12 de combustible puede interferir con el movimiento de la lámina 45 de control. La interferencia del canal/lámina de control puede causar incertidumbre en la localización de la lámina de control, mayores cargas sobre los componentes estructurales del reactor, y velocidades de parada de emergencia más bajas. Convencionalmente, si la interferencia del canal/lámina de control se vuelve grave, la lámina de control se declara inoperable y permanece totalmente insertada.
50

El documento JP 2004069362A divulga un cuadro de canal de un conjunto de combustible en el que el cuadro de canal se compone de cuatro elementos de esquina y de cuatro miembros de protección lateral para proporcionar con ello una caja de canal en forma octogonal. El documento US 2008/0095296 A1 divulga un canal de combustible nuclear que incluye una sección expandida para crear un área de flujo mayor en una parte superior del canal de combustible.
55

Sumario

En un aspecto, se proporciona un conjunto de combustible que se puede utilizar en un reactor nuclear, estando el conjunto de combustible de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas. Los conjuntos de combustible de las

realizaciones ejemplares incluyen un canal exterior que tiene una configuración física determinada en base a una posición del conjunto de combustible dentro de un núcleo del reactor nuclear, tal como la posición del conjunto de combustible con respecto a una lámina de control en el reactor nuclear que se utilizará para controlar la reactividad del núcleo. Cuando los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares tienen que estar directamente adyacentes a una lámina de control insertada, el canal exterior se puede aumentar en espesor o reforzar y fabricarse de un material más resistente a la deformación que el Zircaloy-2, tal como Zircaloy-4, NSF, y VB, para reducir o evitar la distorsión del canal contra la lámina de control e interferir con la operación de la misma. Cuando los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares no están en una ubicación controlada, el canal exterior se puede reducir en espesor para aumentar el volumen de agua y la reactividad en el conjunto. Como tal, un núcleo del reactor que incluye conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares incluirá conjuntos de combustible con canales exteriores únicos, en espesor, material, etc., a diferencia de los núcleos de los reactores de potencia convencionales.

Procedimientos ejemplares de la configuración de conjuntos de combustible incluyen la determinación de las características operativas del conjunto de combustible, tales como la probabilidad de que el conjunto de combustible se controle mediante la inserción de la lámina de control en el reactor nuclear en un ciclo de combustible actual o futuro, y la selección o modificación física el canal exterior del conjunto de combustible en base a la misma. Por ejemplo, si el conjunto de combustible está en una ubicación controlada durante el ciclo de combustible, el canal exterior se puede fabricar de un material más resistente a la deformación que Zircaloy-2, tal como Zircaloy-4, NSF, o VB, y/o aumentarse en espesor. O, por ejemplo, si el conjunto de combustible no está en una ubicación controlada, el canal exterior puede ser aproximadamente 0,508 mm (20 milésimas de pulgada) o más fino que los canales exteriores de los conjuntos de combustible convencionales. Los procedimientos ejemplares son utilizables con o pueden incluir además la configuración de las características de los canales exteriores para cumplir con las propiedades neutrónicas deseadas del conjunto de combustible.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una ilustración de un conjunto de combustible convencional que tiene un canal exterior.

La Figura 2 es una ilustración de una agrupación de células convencional en un núcleo del reactor con una lámina de control cruciforme.

La Figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar de la optimización de los canales de combustible en los conjuntos de combustible.

La Figura 4 es una ilustración esquemática de una sección de núcleo que contiene haces de combustible de la realización ejemplar optimizados de acuerdo con los procedimientos ejemplares.

Descripción detallada

En lo sucesivo, las realizaciones ejemplares se describirán en detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Sin embargo, los detalles estructurales y funcionales específicos divulgados en la presente memoria son meramente representativos con la finalidad de describir las realizaciones ejemplares. Las realizaciones ejemplares se pueden realizar de muchas formas alternativas y no deben interpretarse como limitadas solo a las realizaciones ejemplares establecidas en la presente memoria.

Se entenderá que, aunque los términos primero, segundo, etc. Se pueden utilizar en la presente memoria para describir diversos elementos, estos elementos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se utilizan para distinguir un elemento de otro. Por ejemplo, un primer elemento podría denominarse un segundo elemento, y, de manera similar, un segundo elemento podría ser denominado un primer elemento, sin apartarse del alcance de las realizaciones ejemplares. Tal como se utiliza aquí, el término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

Se entenderá que cuando un elemento se conoce como estando "conectado", "acoplado", "unido", "adjunto" o "fijo" a otro elemento, puede estar directamente conectado o acoplado a otro elemento o que elementos intermedios pueden estar presentes. En contraste, cuando un elemento se conoce como estando "directamente conectado" o "directamente acoplado" a otro elemento, no hay elementos intermedios presentes. Otras palabras utilizadas para describir la relación entre los elementos se deberían interpretar de manera similar (por ejemplo, "entre" frente a "directamente entre", "adyacente" frente a "directamente adyacente", etc.).

Como se utiliza en la presente memoria, las formas singulares "un", "una" y "el/la" pretenden incluir las formas plurales también, a menos que el lenguaje indique explícitamente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se utilizan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, y/o componentes, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos.

Tal como se utiliza en el presente documento, "canal", "canal exterior," y similares se definen de acuerdo con las estructuras de conjuntos de combustible convencionales mostrados y descritos en la Figura 1 tales como el elemento 12, sometido a las modificaciones descritas más adelante. Como se utiliza aquí, "distorsión" o "distorsión del canal" incluye tanto el pandeo canal como el abultamiento del canal en conjuntos de combustible nucleares que pueden causar interferencia con la operación de la lámina de control.

También se debe señalar que en algunas implementaciones alternativas, las funciones/actos señalados pueden ocurrir fuera del orden observado en las Figuras o descrito en la memoria descriptiva. Por ejemplo, dos figuras o etapas que se muestran en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse en paralelo y al mismo tiempo o en ocasiones se pueden ejecutar en orden inverso o en repetición, dependiendo de la funcionalidad/actos involucrados.

Los inventores de la presente solicitud han identificado diversas características y/o modificaciones potenciales de los canales de combustible para reducir o evitar la distorsión de los canales de combustible. Los inventores de la presente solicitud han identificado, adicionalmente, el efecto que tienen estas características, en combinación con otros parámetros del conjunto de combustible, en el rendimiento del núcleo general. La realizaciones y procedimientos ejemplares que se describen a continuación abordan únicamente estos efectos previamente identificados para lograr diversas ventajas, incluyendo la mejora del rendimiento del núcleo, el aumento de la generación de energía, la reducción del error de la lámina de control, la conservación de los materiales, y/u otras ventajas mencionadas o no a continuación, en las plantas de potencia nuclear comerciales, mientras se alejan de la uniformidad de canal de combustible total utilizada a propósito en las plantas de potencia nuclear comerciales convencionales.

Realizaciones ejemplares

Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares incluyen canales de combustible con propiedades físicas optimizadas. Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares pueden incluir una o más características de canal para reducir la distorsión del canal de combustible. Por ejemplo, el canal de combustible puede aumentarse en espesor en su dimensión más corta o reforzarse con material adicional. El canal de combustible más grueso o reforzado tiene una mayor resistencia a la distorsión causada por el crecimiento de irradiación diferencial, la absorción de hidrógeno diferencial, y/o la deformación por irradiación experimentada en los entornos de operación de los reactores nucleares. El porcentaje de reducción en la deformación es aproximadamente proporcional al porcentaje de aumento del espesor del canal.

O, por ejemplo, se pueden utilizar materiales en el canal que son resistentes a la distorsión. Por ejemplo, Zircaloy-4, una aleación de circonio conocida con exclusión de níquel, puede reemplazar a Zircaloy-2, que contiene níquel. El contenido de níquel reducido en Zircaloy-4 reduce la absorción de hidrógeno diferencial y el pandeo del canal resultante. Otros materiales más resistentes a la deformación que Zircaloy-2 se pueden utilizar adicionalmente en todo o parte además del Zircaloy-4. Por ejemplo, materiales adicionales más resistentes a la deformación que Zircaloy-2 se describen en la solicitud co-pendiente US2009285350A1, "Canal De Combustible De Múltiples Capas Y Procedimiento De Fabricación Del Mismo" incorporado en la presente memoria como referencia en su totalidad. Ese documento divulga aleaciones en adelante denominadas "NSF" con aproximadamente del 0,6 al 1,4 % de niobio (Nb), de aproximadamente el 0,2 al 0,5 % de hierro (Fe), y de aproximadamente el 0,5 al 1,0 % de estaño (Sn), siendo el resto esencialmente circonio (Zr), y aleaciones en adelante denominadas "VB" con aproximadamente el 0,4 al 0,6 % de estaño (Sn), de aproximadamente el 0,4 al 0,6 % de Fe, y de aproximadamente el 0,8 al 1,2 % de cromo (Cr), siendo el resto esencialmente circonio (Zr).

Otras configuraciones para la disminución de la distorsión del canal de combustible se pueden utilizar con los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares. Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares pueden utilizar diversos mecanismos en combinación para reducir aún más la distorsión del canal de combustible. Las configuraciones y características del canal de combustible en los canales de combustible de las realizaciones ejemplares se pueden seleccionar de acuerdo con los procedimientos ejemplares, descritos en la siguiente sección.

Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares pueden incluir además las características de canal que mejoran las características neutrónicas de combustible, disminuyen el consumo de material y los costes, y/o mejoran otros parámetros del conjunto de combustible. Tales características pueden incluir, por ejemplo, un canal más fino que permita un mayor volumen de agua y la moderación de neutrones en los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares. El canal más fino puede consumir menos material durante su fabricación y mejorar la reactividad del conjunto de combustibles, características de transferencia de calor, etc.

Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares con canales más gruesos, reforzados, y/o más finos, de diferentes aleaciones, u otra modificación de canal se pueden utilizar en lugar de los conjuntos de combustible convencionales que tiene canales estandarizados en todo un núcleo entero. Los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares pueden mejorar de este modo significativamente el rendimiento de un núcleo que incluye conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares y/o reducir el consumo de recursos de combustible. Por ejemplo, un reducción en espesor del 75 % en los canales de los conjuntos de combustible convencionales frescos para un ciclo de combustible particular, en aproximadamente 0,508 mm (20 milésimas de pulgada) en la dimensión

más fina puede dar como resultado una reducción en volumen de aproximadamente $0,270 \text{ m}^3$ (16.500 pulgadas³) de la aleación de circonio utilizada. En el mismo ejemplo, suponiendo que 8 canales no tendrían que ser sustituidos debido a que incluyen mecanismos de canal para reducir la deformación del canal de combustible, se puede ahorrar $\sim 0,033 \text{ m}^3$ (~ 2.000 pulgadas³) de volumen de aleación de circonio adicional. En el mismo ejemplo, suponiendo que 8 canales no son necesarios de fabricar debido a que se requiere un menor número de 8 conjuntos de combustible en un ciclo de combustible con ahorros de combustible de las características del canal que mejoran las características neutrónicas de combustible de los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares, se puede conservar $\sim 0,033 \text{ m}^3$ (~ 2.000 pulgadas³) de volumen de aleación de circonio adicional. Por lo tanto, los conjuntos de combustible de las realizaciones ejemplares, que tienen características de canal diferentes seleccionadas e implementadas de acuerdo con los procedimientos ejemplares que se mencionan a continuación, pueden dar como resultado ahorros significativos de materiales y la mejora del rendimiento del núcleo.

Procedimientos ejemplares

Como se ha expuesto anteriormente, el aumento del espesor del canal disminuye el volumen de agua y la reactividad global de un conjunto que tiene un canal más grueso. Una menor reactividad da como resultado un uso de combustible menos óptimo y menos producción de potencia en un núcleo de reactor de un reactor de potencia nuclear. El aumento del espesor del canal aumenta aún más los costes de conjuntos de combustible que tienen canales más gruesos. El aumento del espesor del canal reduce también el riesgo y/o la magnitud de distorsión del canal y la interferencia con la función de la lámina de control. La disminución del espesor del canal tiene un efecto generalmente opuesto al aumento del volumen de agua y de la reactividad global de un conjunto que tiene un canal más fino, mientras que aumenta también la probabilidad de distorsión. Zircaloy-4 tiene características de pandeo por fluencia y de abultamiento por deformación similares en comparación con Zircaloy-2. Sin embargo, Zircaloy-4 resiste el pandeo del canal causado por la absorción de hidrógeno diferencial. NSF y VB son, además, resistentes a otras formas de pandeo y se abultan causando la deformación del canal.

Los procedimientos ejemplares aprovechar únicamente las ventajas y desventajas anteriores de la modificación del canal de combustible para reducir o evitar la distorsión del canal y reducir al mínimo los efectos negativos sobre la economía de combustible, la función de la lámina de control, y otras métricas del rendimiento del núcleo. Como se muestra en la Figura 3, los procedimientos ejemplares incluyen una operación S100 de determinación de las características del conjunto de combustible, incluyendo si un conjunto de combustible se coloca o colocará en una célula de tal manera que el conjunto de combustible estará directamente adyacente a una lámina de control que se operará en un ciclo del combustible actual y/o futuro para controlar la reacción de fisión en el núcleo. Un conjunto de combustible colocado directamente adyacente a una lámina de control que probablemente pueda ejercerse para controlar la reacción de fisión se define en la presente memoria como un "conjunto de combustible controlado" o en una "ubicación controlada," porque está más sometido a la reactividad negativa de la lámina de control y más probablemente afecte al rendimiento de la lámina de control. La determinación de si un conjunto de combustible está sujeto a control se puede basar en una o más características operativas de conjuntos de combustible que determinan la colocación/posición del conjunto de combustible dentro del núcleo del reactor durante uno o más ciclos de combustible, además de las características generales de la planta tales como el tamaño del núcleo, potencia térmica, etc.

Por ejemplo, una característica operativa puede ser la reactividad del conjunto de combustible. La reactividad determina el grado en el que el combustible puede contribuir a la reacción de fisión en cadena durante las operaciones de potencia. La reactividad es directamente controlable mediante la inserción de la lámina de control, debido a las propiedades absorbentes de neutrones de las láminas. Como tal, el combustible con mayor reactividad se puede colocar en las ubicaciones controladas para mejorar el control general de todo el núcleo de la reacción en cadena de neutrones. Del mismo modo, el combustible con menor reactividad puede ser menos propenso a someterse a control.

A pesar de que la ubicación con respecto a las láminas de control cruciformes utilizadas se describe en conexión con las realizaciones y procedimientos ejemplares, se entiende que otras fuentes de reactividad negativa se pueden tomar en cuenta adicionalmente en los procedimientos y realizaciones ejemplares. Por ejemplo, la proximidad a venenos consumibles o la proximidad a una barra de control presente en algunos diseños de plantas se pueden tomar en cuenta mediante la determinación de las características operativas del conjunto de combustible que determinan la probabilidad de que el conjunto de combustible se ubicará colocado en esa proximidad.

Las ubicaciones controladas se podrán determinar también en S100 mediante procedimiento y software de modelado y mapeo básicos. Por ejemplo, un programa puede recibir la entrada de diversas características operativas del conjunto de combustible para diversos conjuntos de combustible y determinar una configuración óptima del núcleo con posiciones del conjunto de combustible correspondiente. Debido a que los procedimientos y realizaciones ejemplares pueden de por sí afectar características de operación de los conjuntos de combustible como veremos más adelante, tales procedimientos de modelado y mapeo básicos conocidos se pueden ejecutar alternativa y repetidamente antes y después de la modificación de conjuntos de combustible en los procedimientos ejemplares para asegurar un rendimiento de núcleo optimizado.

Después de la determinación en S100, uno o más canales de conjuntos de combustible se configuran en base a la determinación de la posición. La configuración aumenta generalmente la reactividad del conjunto, disminuye el potencial de distorsión, y/o reduce el consumo de materiales en el conjunto/conjuntos configurados.

Si se determina a partir de S100 que el conjunto se colocará en una célula adyacente a una lámina de control empleada, es decir, se someterá a control, a continuación, se persigue una primera configuración S210. S210 configura el canal de conjunto para reducir o eliminar la distorsión del canal durante las operaciones de potencia. Por ejemplo, en S210, el espesor del canal se puede aumentar en varias centésimas de pulgada o más para asegurar la disminución de la distorsión del canal. El grado de aumento de espesor se puede además basar en la disminución de la reactividad u otras características operativas deseadas del conjunto durante la operación en el núcleo del reactor nuclear. O, el espesor del canal se puede aumentar o el canal se puede reforzar solo en un lado o pared directamente adyacente a la lámina de control que será operada, mientras que los lados restantes del canal de combustible pueden permanecer sin modificaciones o modificarse de acuerdo con S220.

Adicionalmente, o como alternativa, en S210, el canal se puede fabricar de un material más resistente a la distorsión que Zircaloy-2, incluyendo Zircaloy-4 resistente al pandeo por corrosión por sombra, o NSF o VB resistente al pandeo por gradiente de fluencia y/o al abultamiento por deformación. De esta manera, solo los conjuntos determinados para estar en una posición beneficiándose de un canal más grueso o reforzado o de un canal que incluye Zircaloy-4, NSF, y/o VB, tal como un conjunto controlado probablemente a ser colocado en una célula adyacente a una lámina de control empleada, se configuran con características de canal que disminuyen o eliminan la distorsión mientras aprovechan otras características, como la reactividad o gastos de fabricación. Además, debido a que los conjuntos en una posición de núcleo controlada poseen típicamente mayor exceso de reactividad, un canal más grueso o reforzado que puede disminuir la reactividad no es una desventaja significativa para la reactividad global del núcleo; de hecho, tal configuración de reactividad decreciente puede ayudar a equilibrar la producción de potencia del núcleo y/o a simplificar las operaciones de la lámina de control.

Si se determina a partir de S100 que el conjunto se colocará en una posición de núcleo no controlada, tal como una posición de borde en el núcleo o adyacente a una lámina de control que no se utilizará, a continuación, se persigue una segunda configuración S220. S220 configura el canal del conjunto para aumentar las características neutrónicas de conjuntos de combustible para el montaje en el núcleo operativo y disminuir la carga de fabricación durante la fabricación del conjunto, sin tener en cuenta el riesgo de distorsión. Por ejemplo, en S220, el espesor del canal se puede reducir en varias centésimas de pulgada o más para aumentar el volumen de agua o del moderador en el conjunto, lo que aumenta la reactividad y el consumo de combustible en el conjunto. La reducción de espesor del canal en S220 disminuye además una cantidad de aleación de circonio costosa o de otro material de canal requerido para fabricar el conjunto. En S220, el espesor del canal del conjunto se puede reducir en un margen que tiene en cuenta el aumento de la reactividad; el canal se puede reducir en espesor de tal manera que el conjunto tiene una reactividad u otra propiedad operativa determinada o deseada cuando está en uso en el núcleo del reactor nuclear. De esta manera, un núcleo puede contener conjuntos de combustible con varios espesores de canal diferentes y únicos y otras características determinadas en S210 y S220.

Los conjuntos se pueden ser configurar en S210 y S220 de diversas maneras y en diferentes ventanas de tiempos. Por ejemplo, la configuración en S210 y S220 puede ser la selección de un conjunto pre-existente o de ordenar un conjunto que tiene la configuración determinada en S210 y S220, por un operario de la planta de potencia, para su inserción o reinsertión durante un ciclo de combustible siguiente en el núcleo del reactor nuclear. Como alternativa, la configuración en S210 y S220 puede ser una fabricación o modificación física del conjunto de combustible para que coincida con la configuración determinada en S210 y S220 por un fabricante del conjunto de combustible o instalador, por ejemplo.

Los procedimientos ejemplares que incluyen S100 y S210/S220 pueden abarcar la ubicación del conjunto de combustible y la configuración para su uso en un ciclo combustible inmediatamente próximo, un ciclo de combustible futuro, y/o múltiples ciclos de combustible. Por ejemplo, S100 puede determinar que un conjunto de combustible estará en una posición controlada adyacente a una lámina de control empleada en un primer ciclo de combustible, y el mismo o posterior análisis puede determinar que el conjunto de combustible se reubicará en una posición alejada de una lámina de control en un segundo ciclo de combustible posterior. El conjunto se puede configurar bajo S210 para el primer ciclo, y luego volver a configurarse bajo S220 para el segundo ciclo. Tal reconfiguración puede incluir la re-canalización del conjunto de combustible mediante la eliminación y sustitución del canal utilizado en el primer ciclo de combustible con un canal que tiene la configuración determinada en S220 para su uso en el segundo ciclo de combustible. Del mismo modo, una determinación inversa puede dar como resultado una configuración inversa. O, por ejemplo, S100 puede determinar, en base a los parámetros de operación de múltiples ciclos, que un conjunto de combustible particular, no será colocado en una ubicación controlada durante su vida útil. La configuración del conjunto puede después proceder bajo S220, sin más modificación del conjunto durante su vida útil en el reactor.

La Figura 4 es una ilustración de un núcleo 400 del reactor ejemplar que contiene los conjuntos 100 y 200 de combustible de las realizaciones ejemplares modificados de acuerdo con los procedimientos ejemplares. Como se muestra en la Figura 4, cuatro conjuntos 100 de las realizaciones ejemplares se encuentran en ubicaciones controladas sobre una lámina 45a de control que se proporciona para utilizarse para controlar la reacción de fisión en cadena en el núcleo. De acuerdo con los procedimientos ejemplares, los conjuntos 100 sobre la lámina 45a

5 tienen canales 120 configurados de acuerdo con S210. Por ejemplo, los canales 120 se pueden aumentar en espesor, reforzarse, y/o fabricarse de un material más resistente a la deformación que Zircaloy-2. De acuerdo con la invención, solo los lados o paredes 120b seleccionados directamente adyacentes para controlar la lámina 45a se pueden configurar de acuerdo con S210, incluyendo aumentar su espesor y fabricarse de un material más resistente a la deformación que Zircaloy-2. Otras paredes 120a pueden estar sin modificar o más finos y fabricarse de un material igual o menos resistente a la deformación que Zircaloy-2, de acuerdo con S220.

10 Los conjuntos 200 ejemplares, adyacentes a la lámina 45b que no se opera durante el ciclo de combustible o adyacente a ninguna lámina de control, se pueden configurar de acuerdo con S220. Por ejemplo, los canales 121 en los conjuntos 200 se pueden reducir en espesor y/o fabricarse de un material igual o menos resistente a la deformación que Zircaloy-2.

15 Los procedimientos ejemplares que incluyen S100 y S210/S220 se pueden ejecutar para cada conjunto colocado dentro de un núcleo. Como alternativa, los procedimientos ejemplares se pueden ejecutar solo con respecto a los conjuntos particulares para optimizar las características de operación básicas. Por ejemplo, si los procedimientos configuración de los canales del conjunto de combustible ejemplares se utilizan junto con otros procedimientos de configuración del núcleo conocidos, las ubicaciones y características del conjunto de combustible calculadas o deseadas pueden no requerir ninguna configuración o reconfiguración de los canales del conjunto de combustible como en S210 o S220.

20 Los procedimientos ejemplares se pueden utilizar como una parte integral del diseño de núcleo o como una etapa separada realizada alternativamente y/o iterativamente con otros procedimientos conocidos de diseño del núcleo. Por ejemplo, un programa de diseño del núcleo conocido puede producir un mapa del núcleo que utiliza las características del conjunto de combustible con combustible que tiene propiedades de canal uniformes. Los procedimientos ejemplares que incluyen S100 y S210/S220 se pueden realizar después en algunos o todos los conjuntos de combustible que intervienen en el mapa, cambiando sus características de operación. El programa de diseño del núcleo se puede volver a ejecutar después con las características de los conjuntos de combustible modificados, y esta configuración de núcleo alternativa entre los procedimientos ejemplares y conocidos puede 25 continuar hasta que ya no sea posible o no se desee una mayor optimización. O, los procedimientos ejemplares se pueden utilizar como una parte integral de los procedimientos de diseño del núcleo conocidos de otro modo, tratamiento de reactividad, probabilidad de pandeo, y otros parámetros del conjunto de combustible que se ven afectados por la configuración del canal en S210 y S220 como variables adicionales en el proceso de diseño del núcleo. 30

En las realizaciones y procedimientos ejemplares así descritos, se apreciará por un experto en la materia que las realizaciones ejemplares se pueden variar a través de experimentación rutinaria dentro del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (100/200) de combustible para su uso en un reactor nuclear, comprendiendo el conjunto (100/200) de combustible:
- al menos una varilla (18/19) de combustible; y
- 5 un canal (120/121) exterior que rodea la varilla (18/19) de combustible, estando el conjunto de combustible especialmente adaptado para ser ubicado en un núcleo de un reactor nuclear de tal manera que el canal (120/121) exterior tiene dos paredes (120b) laterales adyacentes a una lámina (45a) de control y dos paredes (120a) laterales sin ninguna lámina de control adyacente;
- en el que
- 10 las paredes (120b) laterales adyacentes a la lámina (45a) de control son más gruesas que las paredes (120a) laterales sin ninguna lámina de control adyacente;
- y caracterizado porque
- 15 las paredes (120b) laterales adyacentes a la lámina (45a) de control están fabricadas de un material más resistente a la distorsión que Zircaloy-2, mientras que las paredes (120a) laterales sin la lámina de control adyacente están fabricadas de un material igual o menos resistente a la distorsión que Zircaloy-2.
2. El conjunto (100/200) de combustible de la reivindicación 1, en el que las paredes (120a) laterales sin ninguna lámina de control adyacente son de aproximadamente 0,508 mm o más finas que las paredes (120b) laterales adyacentes a la lámina de control.
- 20 3. El conjunto (100/200) de combustible de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las paredes (120b) laterales adyacentes a la lámina (45a) de control incluyen solamente al menos uno de Zircaloy-4, NSF, y VB.
4. El conjunto de combustible de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las paredes (120b) laterales adyacentes a la lámina (45a) de control son de aproximadamente 0,508 mm o más gruesas que las paredes (120a) laterales sin ninguna lámina de control adyacente.

FIG. 1

TÉCNICA CONVENCIONAL

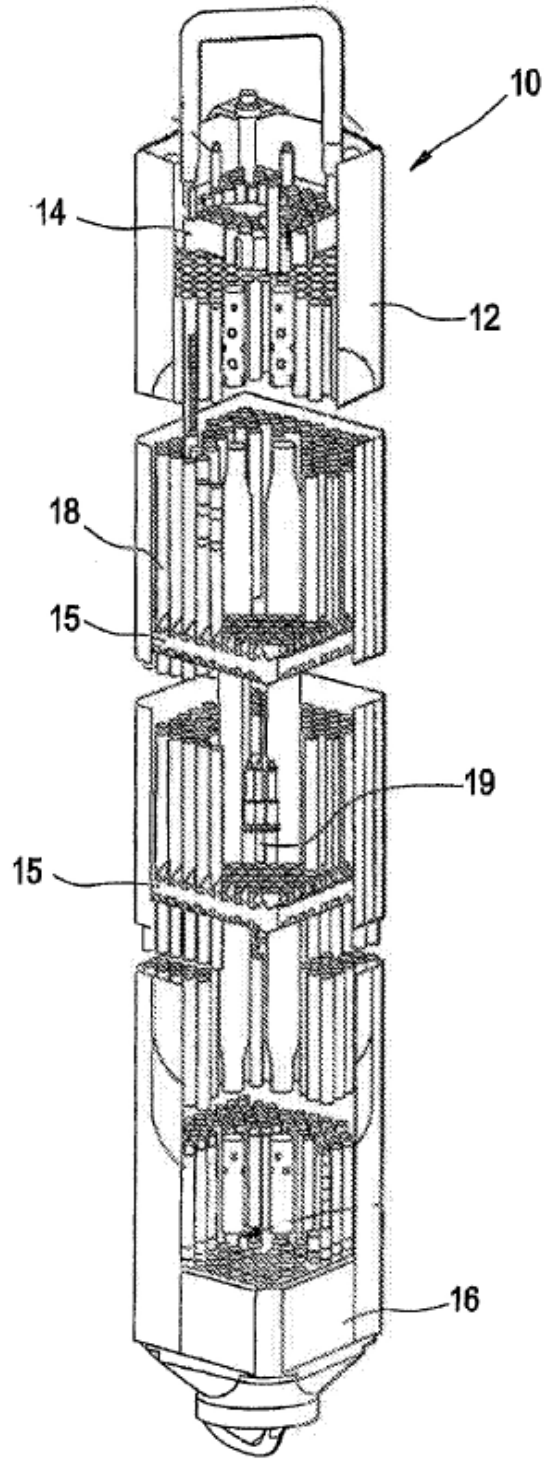
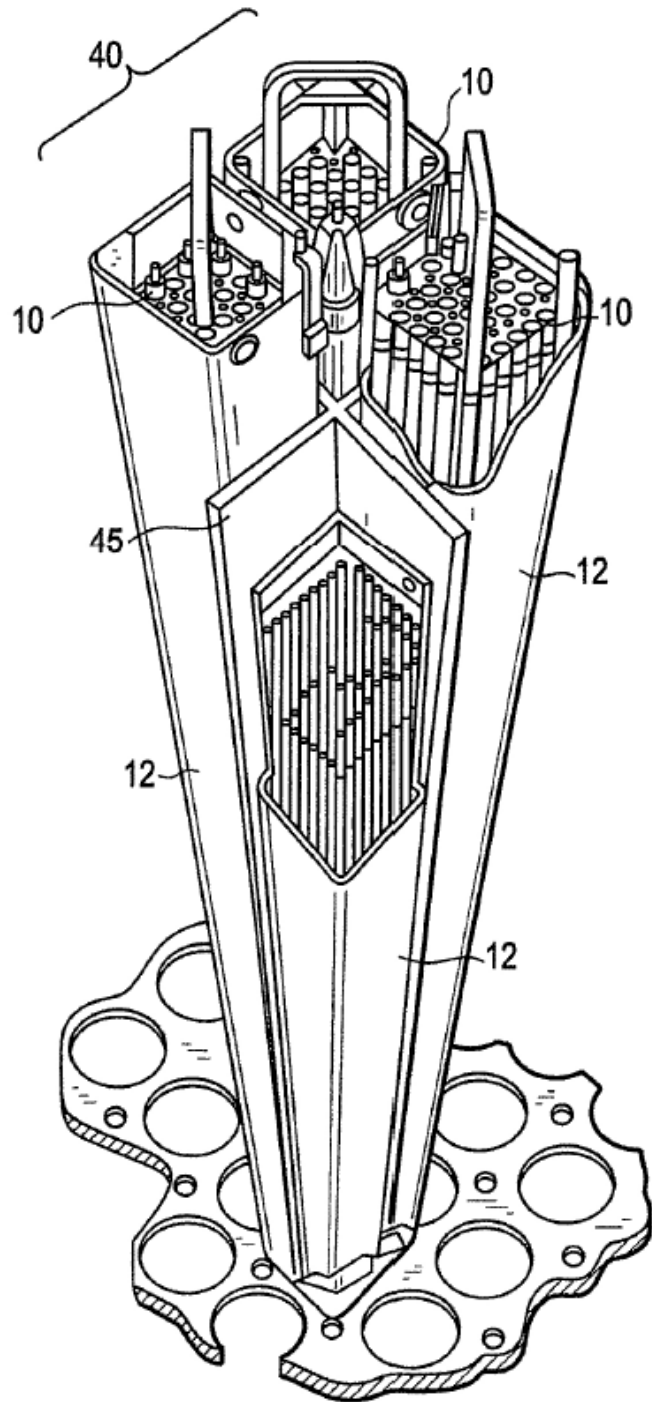


FIG. 2
TÉCNICA CONVENCIONAL



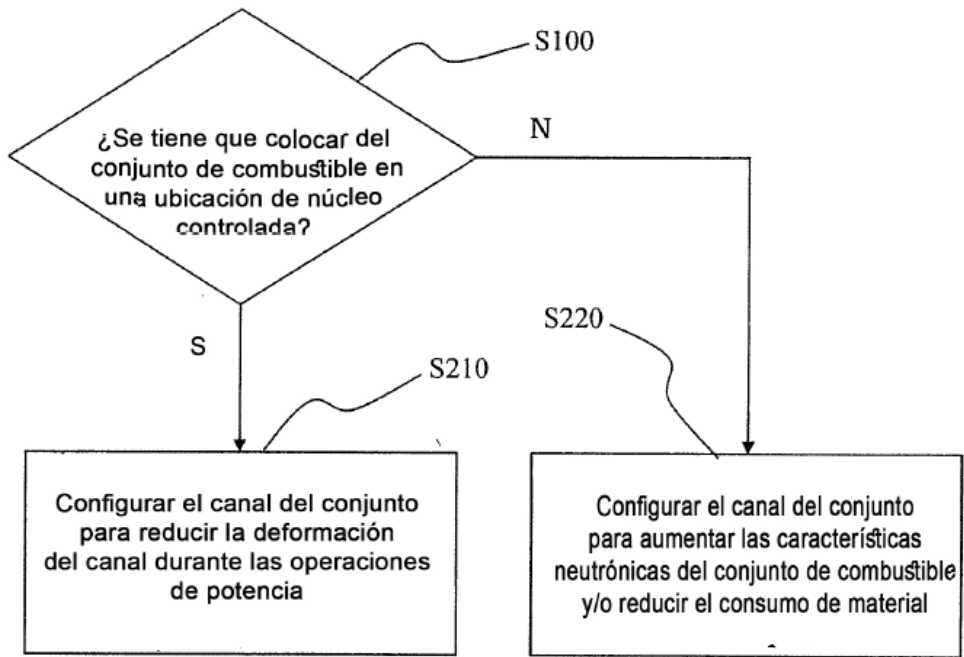


FIG. 3

FIG. 4

