(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 569 349**

(51) Int. CI.:

G21C 3/328 (2006.01)
G21C 3/322 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2012 E 12720185 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2710601**

(54) Título: **Elemento combustible nuclear con separación variable entre las barras de combustible**

(30) Prioridad:

20.05.2011 EP 11305615

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.05.2016

(73) Titular/es:

AREVA NP (100.0%)
Tour AREVA, 1 place Jean Millier
92400 Courbevoie, FR

(72) Inventor/es:

KOCH, ROBERT y
BENDER, OTMAR

(74) Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

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

Elemento combustible nuclear con separación variable entre las barras de combustible.

[0001] La presente invención se refiere a un elemento combustible nuclear para un reactor de agua en ebullición (boiling water reactor, BWR).

[0002] La patente de Estados Unidos 5 572 560 describe un elemento combustible nuclear que comprende un conjunto de barras de combustible con una separación entre dichas barras de combustible que varía a lo largo de la longitud del elemento combustible desde una separación uniforme en la parte inferior del elemento combustible hasta una separación no uniforme en la parte superior del elemento combustible para instalar correctamente las barras de combustible de un canal de agua que tiene una sección transversal aumentada en la parte superior del elemento combustible nuclear.

[0003] El canal de agua con la sección transversal aumentada en la parte superior está destinado a mejorar la eficiencia neutrónica igualando el ratio agua-combustible en todas las posiciones de las barras de combustible.

[0004] Sin embargo, no se tiene en cuenta el rendimiento de potencia crítica, que puede verse obstaculizado por esa configuración.

[0005] Un objeto de la invención es proporcionar un elemento combustible nuclear que alcance un buen equilibrio entre eficiencia neutrónica y rendimiento de potencia crítica.

[0006] Con tal fin, la invención propone un elemento combustible nuclear para reactor de agua en ebullición que comprende un conjunto de barras de combustible, que a su vez comprende un haz de barras de combustible dispuestas en un primer entramado que tiene una separación no uniforme entre barras de combustible en la sección inferior del elemento combustible, estando dispuestas las barras de combustible de dicho haz en un segundo entramado con una separación uniforme entre las barras de combustible en la sección superior del elemento combustible.

[0007] Según otras formas de realización, el elemento combustible nuclear comprende una o varias de las siguientes características, adoptadas por separado o en cualquier combinación técnicamente posible:

- las separaciones entre las barras de combustible de dicho haz varían de forma monótona a lo largo de la longitud del elemento combustible;
- en la sección inferior, las barras de combustible del haz de barras de combustible están colocadas en grupos separados por huecos de refrigerante o moderador;
- las barras de combustible de cada grupo están dispuestas en un entramado regular;
- las barras de combustible de cada grupo están colocadas en una disposición uniforme entre las barras de combustible de dicho grupo;
- los huecos de refrigerante o moderador son más anchos que los espacios entre las barras de combustible o filas de barras de combustible de cada grupo;
- el elemento combustible nuclear comprende al menos un hueco refrigerante o moderador que se extiende sustancialmente radialmente desde una zona central del conjunto de barras de combustible hacia la periferia del mismo;
- el elemento combustible nuclear comprende al menos un hueco refrigerante o moderador anular;
- el elemento combustible nuclear comprende al menos dos huecos de refrigerante o moderador que se extienden paralelos entre sí;
- el elemento combustible nuclear comprende al menos un canal tubular de agua que ocupa el lugar de al menos una barra de combustible en el conjunto de barras de combustible;
- el canal de agua está rodeado por el (al menos un) hueco refrigerante o moderador anular;
- el canal de agua tiene la sección transversal constante a lo largo de la longitud del elemento combustible;
- el elemento combustible nuclear comprende al menos una barra de combustible individual desplazada del primer entramado en la sección inferior y/o del segundo entramado en la sección superior del elemento combustible;
- la zona de transición entre la sección inferior de separación no uniforme y la sección superior de separación uniforme está situada a una altura comprendida entre el 30 % y el 70 % de la altura de la zona activa del elemento combustible; y
- todas las barras de combustible son barras de combustible de longitud completa.

[0008] La invención y sus ventajas se entenderán mejor con la lectura de la siguiente descripción dada meramente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos, donde:

- la Figura 1 es una vista esquemática lateral de alzado de un elemento combustible nuclear según la invención;
- las Figuras 2 y 3 son vistas de sección transversal del elemento combustible nuclear de los respectivos segmentos II-II y III-III de la Figura 1;
- las Figuras 4 y 5 son vistas análogas a la Figura 2 que representan elementos combustibles nucleares según otras realizaciones de la invención; y
- la Figura 6 es una vista esquemática lateral parcial de un elemento combustible nuclear según la invención.

[0009] Como se ilustra en la Figura 1, el elemento combustible nuclear 2 se extiende a lo largo de un eje longitudinal L. En uso, el elemento combustible 2 se coloca en la parte inferior del núcleo de un reactor nuclear y el eje longitudinal L se extiende de forma sustancialmente vertical.

[0010] En lo sucesivo, términos orientativos como «arriba», «abajo», «superior», «inferior», «longitudinal», «transversal» o «vertical» se utilizarán respecto a la posición de utilización con el eje longitudinal L extendiéndose verticalmente.

[0011] El elemento combustible nuclear 2 comprende un conjunto de barras de combustible 4 que se extienden longitudinalmente. Normalmente, las barras de combustible 4 son de longitud uniforme.

[0012] Cada barra de combustible 4 tiene una sección transversal constante. Cada barra de combustible 4 comprende una vaina tubular llena de pastillas de combustible nuclear apiladas, que constituyen la zona activa del elemento combustible, y está cerrada en sus extremos con tapones. Las barras de combustible 4 están colocadas en un entramado.

[0013] Las barras de combustible 4 tienen la misma sección transversal. En una forma de realización alternativa, las barras de combustible 4 tienen diferentes secciones transversales.

[0014] El elemento combustible nuclear 2 comprende unas rejillas separadoras 6 distribuidas a lo largo de la longitud de las barras de combustible 4. Las rejillas separadoras 6 mantienen las barras de combustible 4 espaciadas entre sí en el entramado y sujetan las barras de combustible 4 transversal y longitudinalmente. Las barras de combustible 4 se extienden de manera convencional a través de las aberturas de las rejillas separadoras 6 en contacto con unos resortes o almohadillas que sobresalen de las paredes laterales de las aberturas para sostener las barras de combustible 4.

[0015] El elemento combustible nuclear 2 comprende un soporte inferior 8 y un soporte superior 10 situados respectivamente en el extremo inferior y en el extremo superior del elemento combustible nuclear 2. Las barras de combustible 4 van desde el soporte inferior 8 hasta el soporte superior 10.

[0016] El elemento combustible nuclear 2 es del tipo adaptado para su uso en un reactor de agua en ebullición (BWR).

[0017] De forma más específica, el elemento combustible nuclear 2 comprende un canal tubular de agua 12 que se extiende longitudinalmente ocupando el lugar al menos de una barra de combustible 4 en el entramado de barras de combustible 4. El canal de agua 12 está destinado a canalizar un refrigerante o moderador (p. ej., agua) por separado del conjunto de barras de combustible 4.

[0018] El canal de agua 12 tiene una sección transversal constante en toda su longitud. En una forma de realización alternativa, el canal de agua 12 tiene una sección transversal que varía a lo largo del canal de agua 12.

[0019] El canal de agua 12 une, de forma convencional, el soporte inferior 8 con el soporte superior 10. Las rejillas separadoras 6 están sujetas normalmente al canal de agua 12.

[0020] El elemento combustible nuclear 2 comprende además un canal tubular de combustible 14 que se extiende longitudinalmente y tiene en su interior el conjunto de barras de combustible 4 y el canal de agua 12. El canal de combustible 14 está diseñado para canalizar el refrigerante o moderador (p. ej., agua) dentro del conjunto de barras, entre y alrededor de las barras de combustible 4.

[0021] En el ejemplo ilustrado en las figuras 1-4, las barras de combustible 4 están dispuestas en una matriz de 10x10. El canal de agua 12 ocupa el lugar de una matriz de 3x3 barras de combustible 4. El canal de agua 12 está descentrado respecto al canal de combustible 14. En la forma de realización representada en la Figura 5, el canal de agua 12 ocupa el lugar de una matriz de 3x3 en el centro de una matriz de 11x11.

[0022] En uso, el elemento combustible nuclear 2 se coloca verticalmente en el interior del núcleo de un reactor nuclear y se suministra el refrigerante o moderador al canal de agua 12 y al canal de combustible 14 a través del soporte inferior 8, hacia el soporte superior 10, como indica en la Figura 1 la flecha F. El refrigerante o moderador se va evaporando parcialmente progresivamente mientras fluye alrededor de las barras de combustible 4. La proporción de vapor va en aumento de abajo arriba respecto al líquido. El contenido nulo del refrigerante o moderador aumenta progresivamente de abajo arriba.

[0023] En lo sucesivo, separación o espaciado entre barras de combustible adyacentes significa separación o espaciado entre los ejes centrales de las barras de combustible adyacentes.

[0024] Un entramado, matriz o grupo de barras de combustible con una separación uniforme es un entramado, matriz o grupo de barras de combustible situadas en las intersecciones de un entramado con el mismo espaciado entre cada par de intersecciones adyacentes.

[0025] Un entramado, matriz o grupo de barras de combustible con una separación no uniforme es un entramado, matriz o grupo de barras de combustible situadas en las intersecciones de un entramado con una distribución no uniforme de las intersecciones en el entramado y distintos espaciados entre los pares de barras de combustible adyacentes.

[0026] Según un aspecto de la invención, las barras de combustible 4 están dispuestas en un primer entramado con una separación no uniforme entre barras de combustible 4 en la sección inferior del elemento combustible nuclear 2 (Figura 2) y en un segundo entramado con una separación uniforme P entre barras de combustible 4 en la sección superior del elemento combustible nuclear 2 (Figura 3).

[0027] Debido a la modificación de la disposición general del entramado del conjunto de barras de combustible 4 a lo largo de la longitud del elemento combustible 2, la separación entre al menos algunas de las barras de combustible 4 varía a lo largo de la longitud del elemento combustible 2.

[0028] Preferiblemente, el espaciado varía de forma monótona a lo largo de la longitud del elemento combustible. La separación entre cada par de barras de combustible adyacentes o bien es constante o bien aumenta o disminuye a lo largo de la longitud del elemento combustible.

[0029] La Figura 2 es una vista en sección transversal de la sección inferior del elemento combustible nuclear 2 del segmento II-II de la Figura 1. En esta sección inferior, las barras de combustible 4 están dispuestas en un primer entramado con una separación no uniforme. La separación entre los ejes de las barras de combustible adyacentes 4 difiere al menos entre algunos pares de barras de combustible 4.

[0030] Como se representa, las barras de combustible 4 forman grupos 16 de barras de combustible 4 y cada uno de esos grupos 16 tiene una separación uniforme entre sus barras de combustible 4. Las barras de combustible 4 de cada grupo 16 están situadas formando un entramado cuadrado regular con una separación uniforme P1 entre las barras de combustible 4 en ambas direcciones del entramado.

[0031] Los huecos del refrigerante o moderador 18 quedan definidos entre los grupos 16 de barras de combustible 4. Cada par de grupos adyacentes 16 está separado por un hueco de refrigerante o moderador 18 que se extiende entre las barras de combustible 4 enfrentadas de ambos grupos 16.

[0032] Las barras de combustible 4 adyacentes de dos grupos 16 diferentes que delimitan un hueco de refrigerante o moderador 18 tienen una separación P2 distinta de la separación P1 entre las barras de combustible 4 de cada grupo 16. Preferiblemente, la separación P2 entre las barras de combustible 4 de grupos 16 diferentes que delimitan un hueco de refrigerante o moderador 18 es mayor que la separación P1 entre las barras de combustible 4 de cada grupo 16.

[0033] Como consecuencia, cada par de grupos 16 adyacentes está separado por un hueco de refrigerante o moderador 18 que tiene una anchura mayor que los espacios entre las filas de barras de combustible 4 de cada uno

de los grupos (16).

[0034] La Figura 3 es una vista en sección transversal de la sección superior del elemento combustible nuclear 2 del segmento III-III de la Figura 1. En la sección superior, las barras de combustible 4 están dispuestas en un segundo entramado que tiene una separación P uniforme que es igual entre cada par de barras de combustible 4 adyacentes.

[0035] En la forma de realización representada, el segundo entramado de la sección superior es un entramado cuadrado regular.

[0036] La invención no se limita al conjunto de barras de combustible de 10x10. El conjunto de barras de combustible puede comprender un número distinto de barras de combustible 4 en una matriz cuadrada (p. ej., 8x8, 9x9… 13x13) o tener cualquier otro modelo de matriz, como una matriz rectangular o hexagonal.

[0037] La invención no se limita a un único canal de agua que ocupa el lugar de una matriz de 3x3 barras de combustible. El canal de agua puede tener una sección transversal cuadrada que ocupe el lugar de otro número de barras de combustible (2x2, 3x3, 4x4…) o una sección transversal diferente, como una sección transversal rectangular o redonda. El elemento combustible nuclear puede comprender más de un canal de agua o una estructura de agua alternativa como, por ejemplo, dos o más canales de agua o barras de agua distintas.

[0038] En la forma de realización ilustrada en la Figura 2, el conjunto de 10x10 barras de combustible 4 se divide en cuatro grupos 16, cada uno con una matriz de 5x5, con una barra de combustible en cada intersección (excepto en las posiciones ocupadas por el canal de agua, 12), separados por cuatro huecos de refrigerante o moderador 18. Cada hueco de refrigerante o moderador 18 se extiende sustancialmente radialmente desde el canal de agua 12 hacia el centro de un lateral del canal de combustible 14.

[0039] Los huecos de refrigerante o moderador 18 se pueden definir de otras formas distintas.

[0040] En una variante representada en la Figura 4, se forma un hueco anular de refrigerante o moderador 20 en la sección inferior del elemento combustible nuclear 2 entre un grupo periférico anular 22 de barras de combustible 4 y un grupo central 24 de barras de combustible 4.

[0041] En este ejemplo, el grupo periférico 22 comprende dos filas de barras de combustible 4 y el grupo central 24 está formado por la matriz central de 6x6 del entramado. El canal de agua 12 ocupa el lugar de una matriz de 3x3 en el grupo central 24. Dos lados adyacentes del canal de agua 12 están separados del grupo periférico 22 por dos filas de barras de combustible 4 y los dos lados adyacentes restantes del canal de agua 12 están separados del grupo periférico 22 por una sola fila de barras de combustible 4.

[0042] Las barras de combustible 4 del grupo periférico 22 están colocadas formando un entramado cuadrado regular con una separación uniforme P3 entre las barras de combustible 4. Las barras de combustible 4 del grupo central 24 están colocadas formando un entramado cuadrado regular con una separación uniforme P4 entre las barras de combustible 4. Las barras de combustible 4 adyacentes de los grupos 22 y 24 tienen una separación P5 entre sí en dirección transversal a los entramados de los grupos 22 y 24.

[0043] En una variante representada en la Figura 5, el conjunto de barras de combustible 4 comprende unos huecos de refrigerante o moderador 30 que se extienden paralelos entre sí en la sección inferior del elemento combustible nuclear 2.

[0044] De forma más específica, en el ejemplo de la Figura 5, el elemento combustible nuclear 2 comprende un conjunto de barras de combustible 4 dispuestas en una matriz de 11x11 y un canal de agua 12 que ocupa el lugar de la matriz central de 3x3. El conjunto se subdivide en cuatro grupos de esquina 26 de barras de combustible 4 en otras tantas matrices de 5x5 en las esquinas del conjunto. Cada par de grupos de esquina 26 están separados por un grupo intermedio 28 de barras de combustible 4 en una matriz de 4x1. Hay dos huecos de refrigerante o moderador paralelos 30, uno a cada lado de cada grupo intermedio 28, entre el grupo intermedio 28 y cada grupo de esquina adyacente 26.

[0045] Las barras de combustible 4 de cada uno de los grupos de esquina 26 están colocadas formando un entramado cuadrado regular con una separación uniforme P6. El espaciado P7 entre las barras de combustible 4 de cada uno de los grupos intermedios 28 y las barras de combustible 4 adyacentes de los grupos de esquina 26

adyacentes es el mismo.

[0046] Cada par de huecos de refrigerante o moderador paralelos adyacentes 30 están separados por una sola fila de barras de combustible 4. En una alternativa, dos huecos de refrigerante o moderador paralelos pueden estar separados por un grupo intermedio de barras de combustible que comprenda dos o más filas de barras de combustible.

[0047] En la forma de realización representada en las Figuras 2, 4 y 5, las separaciones entre grupos diferentes 16 son iguales y las separaciones entre grupos adyacentes 16 son iguales. En la opción alternativa, los grupos pueden tener diferentes separaciones o las separaciones entre los grupos pueden ser distintas.

[0048] Además, en la realización ilustrada en las Figuras 2, 4 y 5, cada grupo 16, 22, 24, 26 y 28 tiene una separación uniforme con las barras de combustible 4 colocadas formando un entramado cuadrado regular. En la opción alternativa, las barras de combustible de al menos un grupo 16, 22, 24, 26, 28 pueden estar colocadas formando un entramado regular diferente con una separación no uniforme, por ejemplo, formando un entramado rectangular con dos separaciones distintas en dos direcciones transversales del entramado.

[0049] La variación de la separación entre las barras de combustible se puede efectuar de forma continua a lo largo de la longitud del elemento combustible, paso a paso o bruscamente. En cualquier caso, la variación de la separación se efectúa de forma monótona desde la separación no uniforme de la sección inferior del elemento combustible nuclear hacia la separación uniforme de la sección superior del elemento combustible nuclear.

[0050] Se puede efectuar la variación de la separación o una fase de la variación de la separación en el segmento entre dos rejillas separadoras 6 adyacentes.

[0051] La Figura 6 ilustra una forma de realización en la que la variación de la separación se efectúa en un solo paso en el segmento entre dos rejillas separadoras 6 adyacentes.

[0052] Las rejillas separadoras de debajo de la variación de la separación definen las aberturas para las barras de combustible en el entramado con separación no uniforme y las rejillas separadoras de encima de la variación de la separación definen las aberturas para las barras de combustible en el entramado con separación uniforme.

[0053] Un elemento combustible nuclear conforme a la invención permite alcanzar un buen equilibrio entre la eficiencia neutrónica, es decir, la maximización de la tasa de fisión total respecto a la sección transversal del elemento combustible y, en consecuencia, la maximización de la reactividad, y el rendimiento de potencia crítica, es decir, la máxima potencia posible del elemento combustible antes de que se interrumpa el flujo refrigerante en torno a las barras de combustible, lo que puede generar daños en las barras de combustible.

[0054] En general, las barras de combustible que tienen cierto enriquecimiento de U-235 y adyacentes a grandes zonas de refrigerante o moderador, como las barras de combustible de la fila externa o las barras de combustible que están junto a un canal de agua, tienen mayor potencia que las barras de combustible rodeadas de otras barras de combustible.

[0055] Además, en el elemento combustible nuclear de BWR, el refrigerante se convierte progresivamente parcialmente en vapor cuando fluye a través del elemento combustible nuclear hacia arriba, con lo que el contenido nulo del flujo refrigerante aumenta progresivamente hacia arriba y el enfriamiento de las barras de combustible se vuelve menos eficiente.

[0056] Las configuraciones de separación no uniforme entre las barras de combustible permiten suministrar una distribución no homogénea del refrigerante. A saber, la separación no uniforme permite contar con huecos mayores para el refrigerante o moderador, lo que hace que se canalice más refrigerante por los huecos de refrigerante o moderador en torno a las barras de combustible adyacentes a los huecos de refrigerante o moderador y menos refrigerante en torno a las barras de combustible no adyacentes a un hueco de refrigerante o moderador. Proporcional a la cantidad de refrigerante o moderador en torno a las barras de combustible, el número de neutrones térmicos aumenta, lo que conduce a incrementar el índice de fisión y, en consecuencia, a mejorar la utilización del combustible.

[0057] En particular, los huecos de refrigerante o moderador están situados cerca de las filas de barras de

combustible del centro, donde la potencia local de las barras de combustible es por lo general la más elevada del conjunto y los huecos de refrigerante o moderador son los más eficaces.

[0058] La separación uniforme de las barras de combustible en la sección superior aumenta el rendimiento de potencia crítica del elemento combustible nuclear.

[0059] Lo cierto es que el contenido nulo del refrigerante aumenta en la sección superior y la refrigeración se vuelve menos eficiente en general. La separación uniforme de las barras de combustible favorece una distribución uniforme del refrigerante en la sección superior. Se considera que, respecto al rendimiento de potencia crítica, es preferible una distribución homogénea del refrigerante en la sección superior del elemento combustible, donde el refrigerante es altamente anulado. Por el contrario, la generación de huecos de refrigerante o moderador en la sección superior conduciría a tener menos refrigerante alrededor de las barras de combustible no adyacentes a un hueco de refrigerante o moderador, lo que reduciría la potencia crítica, degradando la eficiencia general del combustible de un elemento combustible.

[0060] Además el beneficio de la eficiencia neutrónica de una distribución no homogénea del refrigerante se reduce al aumentar el contenido nulo del refrigerante. El efecto neutrónico positivo proporcionado por la separación no uniforme se mantiene en la sección inferior, donde el efecto perjudicial sobre el rendimiento de potencia crítica es pequeño.

[0061] Por lo tanto, una separación no homogénea de las barras de combustible en la sección inferior del elemento combustible nuclear y una separación homogénea de las barras de combustible en la sección superior mantiene un buen equilibrio entre eficiencia neutrónica y rendimiento de potencia crítica, de forma aún más especial cuando la zona de transición entre la sección inferior de separación no uniforme y la sección superior de separación uniforme está situada a una altura comprendida entre el 30 % y el 70 % de la altura de la zona activa del elemento combustible.

[0062] De hecho, la zona de transición desde la sección inferior, con las barras de combustible en un entramado con separación no uniforme, hasta la sección superior, con un entramado con separación uniforme del elemento combustible nuclear debe estar situada en la zona activa del combustible, donde se optimiza el rendimiento neto del consumo de combustible por rendimiento en seco y la eficiencia neutrónica. Esa variación de la separación puede situarse alrededor del centro de la zona activa axial pero dicha zona de transición desde la sección inferior, con un entramado de separación no uniforme, hasta la sección superior, con un entramado de separación uniforme, del elemento combustible nuclear dependerá además de las posiciones de las rejillas separadoras entre los soportes inferior y superior.

[0063] La invención es especialmente ventajosa para elementos de combustible nuclear de tipo BWR.

[0064] En las formas de realización ilustradas en las figuras 1-6, las barras de combustible son barras de combustible completas que tienen sustancialmente la misma longitud.

[0065] En una forma de realización alternativa, el conjunto de barras de combustible comprende barras de combustible de longitud parcial, de menor longitud que las barras de combustible de longitud completa. Cabe la posibilidad de que haya diferentes tipos de barras de combustible de longitud parcial, es decir, de distinta longitud. Las barras de combustible (incluyendo tanto las barras de combustible de longitud parcial como las de longitud completa) están colocadas en un primer entramado con una separación no uniforme en la sección inferior del elemento combustible nuclear. Dependiendo de la longitud total de las barras de combustible de longitud parcial, el entramado con separación uniforme de la sección superior del elemento combustible puede incluir únicamente las barras de longitud completa restantes o bien, adicionalmente, todas o parte de las barras de longitud parcial.

[0066] En las formas de realización de las figuras 1-6, todas las barras de combustible están colocadas en el primer entramado, con separación no uniforme, de la sección inferior y en el segundo entramado, con separación uniforme, de la sección superior.

[0067] En una forma de realización alternativa, el conjunto de barras de combustible comprende al menos una barra de combustible individual que está desplazada respecto a la separación en el entramado inferior y/o desde la separación uniforme del segundo entramado de la sección superior del elemento combustible nuclear, creando de este modo una falta de uniformidad local. Dicha barra de combustible es, por ejemplo, una barra de combustible situada en una esquina del conjunto que está desplazada hacia el centro del conjunto con el fin de mantener cierta

distancia entre dicha barra de combustible y el canal de combustible.

[0068] Sin embargo, excepto las barras de combustible desplazadas que crean la ausencia de uniformidad local, las barras de combustible del conjunto restante de barras de combustible están situadas en un primer entramado de separación no uniforme en la sección inferior y en un segundo entramado de separación uniforme en la sección superior.

[0069] Por lo tanto, de manera general, el elemento combustible nuclear comprende un conjunto de barras de combustible que comprenden al menos un conjunto de barras de combustible dispuestas en un primer entramado bidimensional de separación no uniforme en la sección inferior y en un segundo entramado bidimensional de separación uniforme en la sección superior del elemento combustible nuclear.

[0070] Se pueden combinar las alternativas mencionadas anteriormente, proporcionando así un conjunto de barras de combustible que comprenden barras de longitud completa y de longitud parcial, así como barras de combustible individuales localmente desplazadas.

REIVINDICACIONES

1. Elemento combustible nuclear (2) para reactor de agua en ebullición caracterizado porque comprende un conjunto de barras de combustible (4) que a su vez comprende un haz de barras de combustible dispuestas en un primer entramado que tiene una separación no uniforme entre las barras de combustible (4) en la sección inferior del elemento combustible, estando dispuestas las barras de combustible (4) de dicho haz en un segundo entramado con una separación uniforme entre las barras de combustible (4) en la sección superior del elemento combustible.

2. Elemento combustible nuclear (2) según la reivindicación 1, en el que las separaciones entre las barras de combustible (4) de dicho haz varían de forma monótona a lo largo de la longitud del elemento combustible (2).

3. Elemento combustible nuclear (2) según la reivindicación 1 o 2, en el que, en la sección inferior, las barras de combustible (4) del haz de barras de combustible están colocadas en grupos (16, 22, 24, 26, 28) separados por huecos de refrigerante o moderador (18, 20, 30).

4. Elemento combustible nuclear (2) según la reivindicación 3, en el que las barras de combustible (4) de cada grupo (16, 22, 24, 26, 28) están dispuestas formando un entramado regular.

5. Elemento combustible nuclear (2) según la reivindicación 4, en el que las barras de combustible (4) de cada grupo (16, 22, 24, 26, 28) están dispuestas con una separación uniforme entre las barras de combustible (4) de dicho grupo (16, 22, 24, 26, 28).

6. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las reivindicaciones 3-5, en el que los huecos de refrigerante o moderador (18, 20, 30) son más anchos que los espacios entre las barras de combustible (4) o filas de barras de combustible (4) de cada grupo (16, 22, 24, 26, 28).

7. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las reivindicaciones 3-6, que comprende al menos un hueco de refrigerante o moderador (18, 30) que se extiende sustancialmente radialmente desde una zona central del conjunto de barras de combustible (4) hacia la periferia del mismo.

8. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las reivindicaciones 3-7, que comprende al menos un hueco anular de refrigerante o moderador (20).

9. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las reivindicaciones 3-8, que comprende al menos dos huecos de refrigerante o moderador (30) que se extienden paralelos entre sí.

10. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que comprende al menos un canal tubular de agua (12) que ocupa el lugar de al menos una barra de combustible (4) en el conjunto de barras de combustible (4).

11. Elemento combustible nuclear (2) según las reivindicaciones 8 y 10 juntas, en el que el canal de agua (12) está rodeado por el (al menos un) hueco refrigerante o moderador anular (20).

12. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las reivindicaciones 10-11, en el que el canal de agua (12) tiene la sección transversal constante a lo largo de la longitud del elemento combustible (2).

13. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que comprende al menos una barra de combustible individual desplazada del primer entramado en la sección inferior y/o del segundo entramado en la sección superior del elemento combustible (2).

14. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que a zona de transición entre la sección inferior de separación no uniforme y la sección superior de separación uniforme está situada a una altura comprendida entre el 30 % y el 70 % de la altura de la zona activa del elemento combustible.

15. Elemento combustible nuclear (2) según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que todas las barras de combustible (4) son barras de combustible de longitud completa.

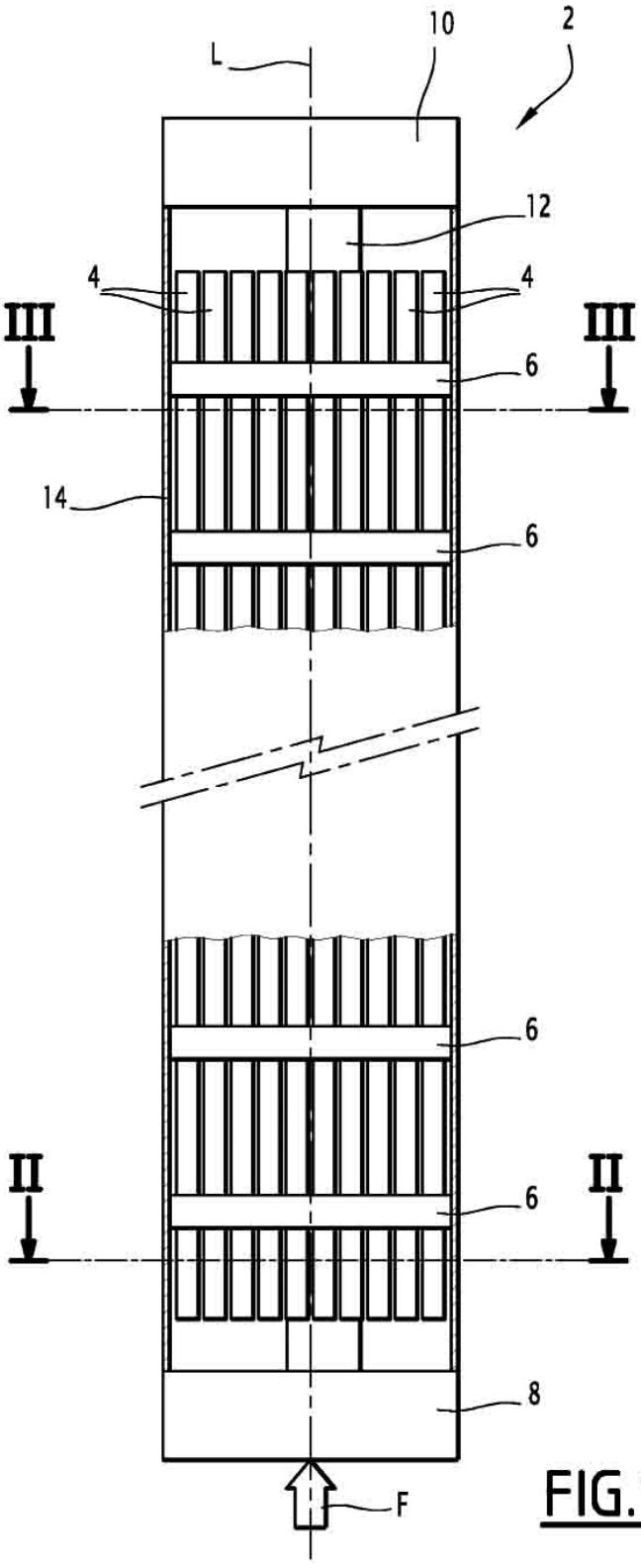


FIG.1

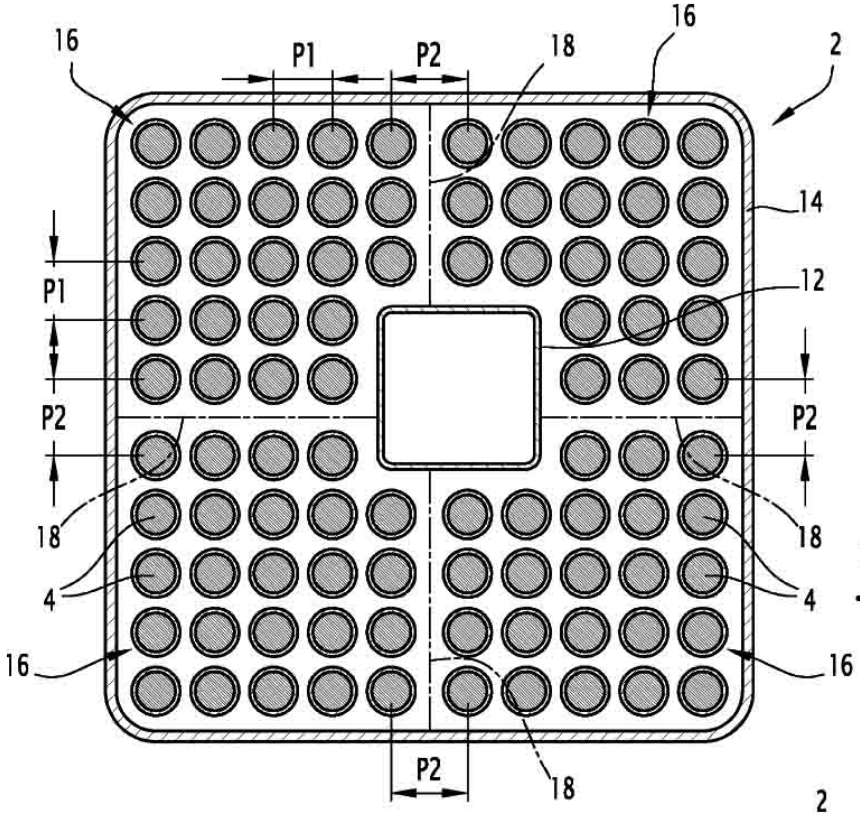


FIG.2

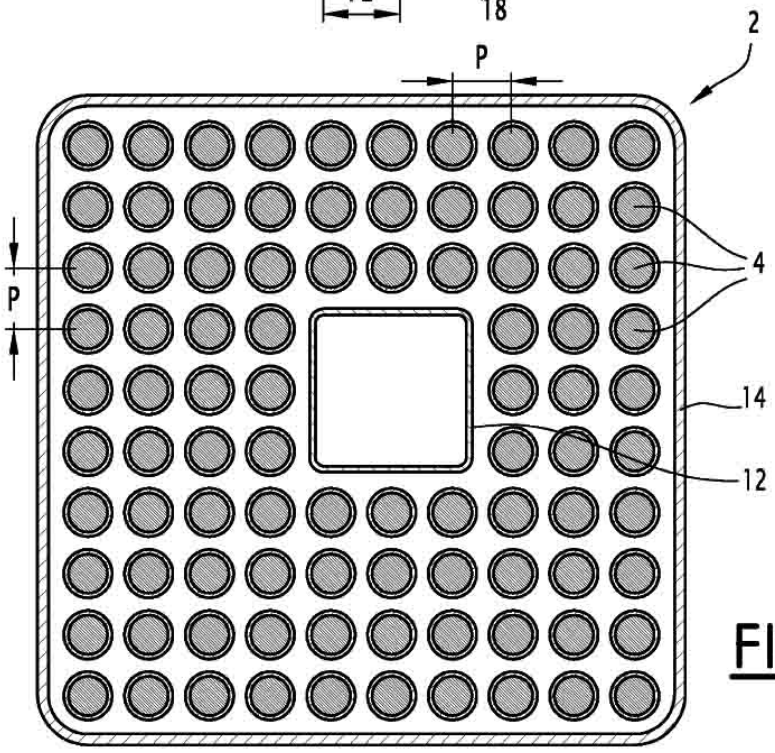


FIG.3

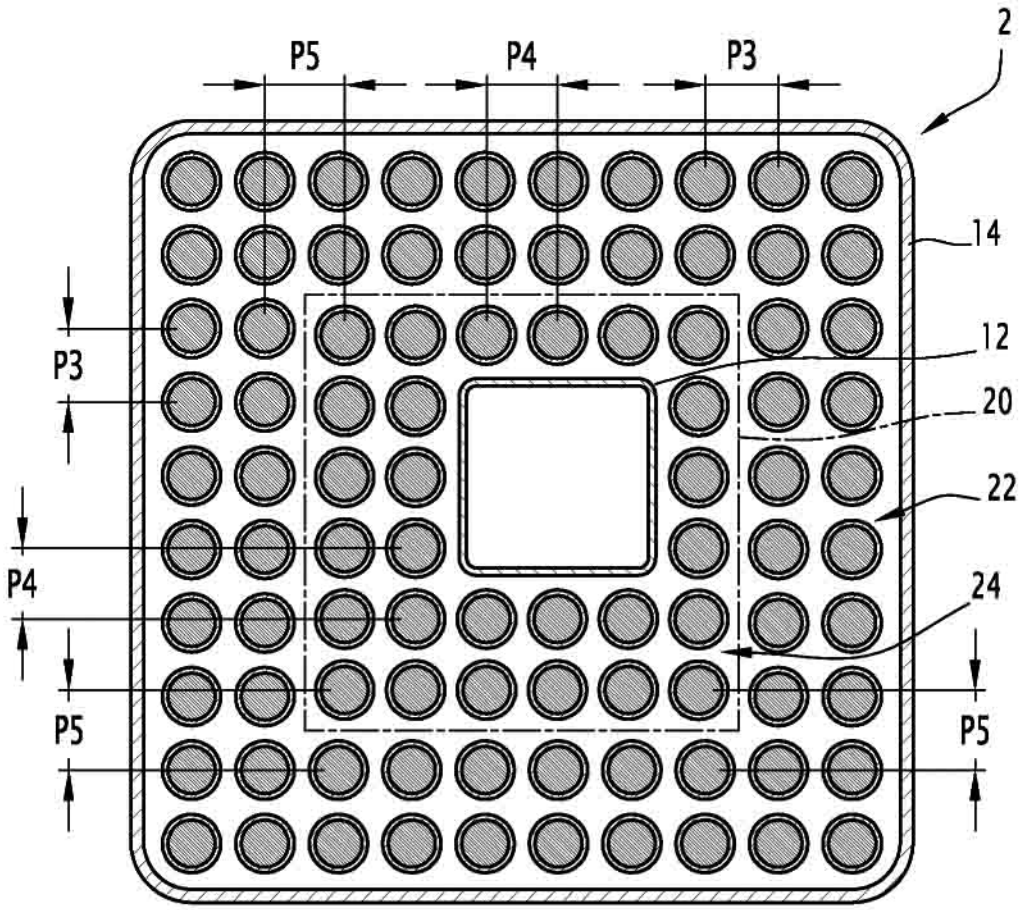


FIG.4

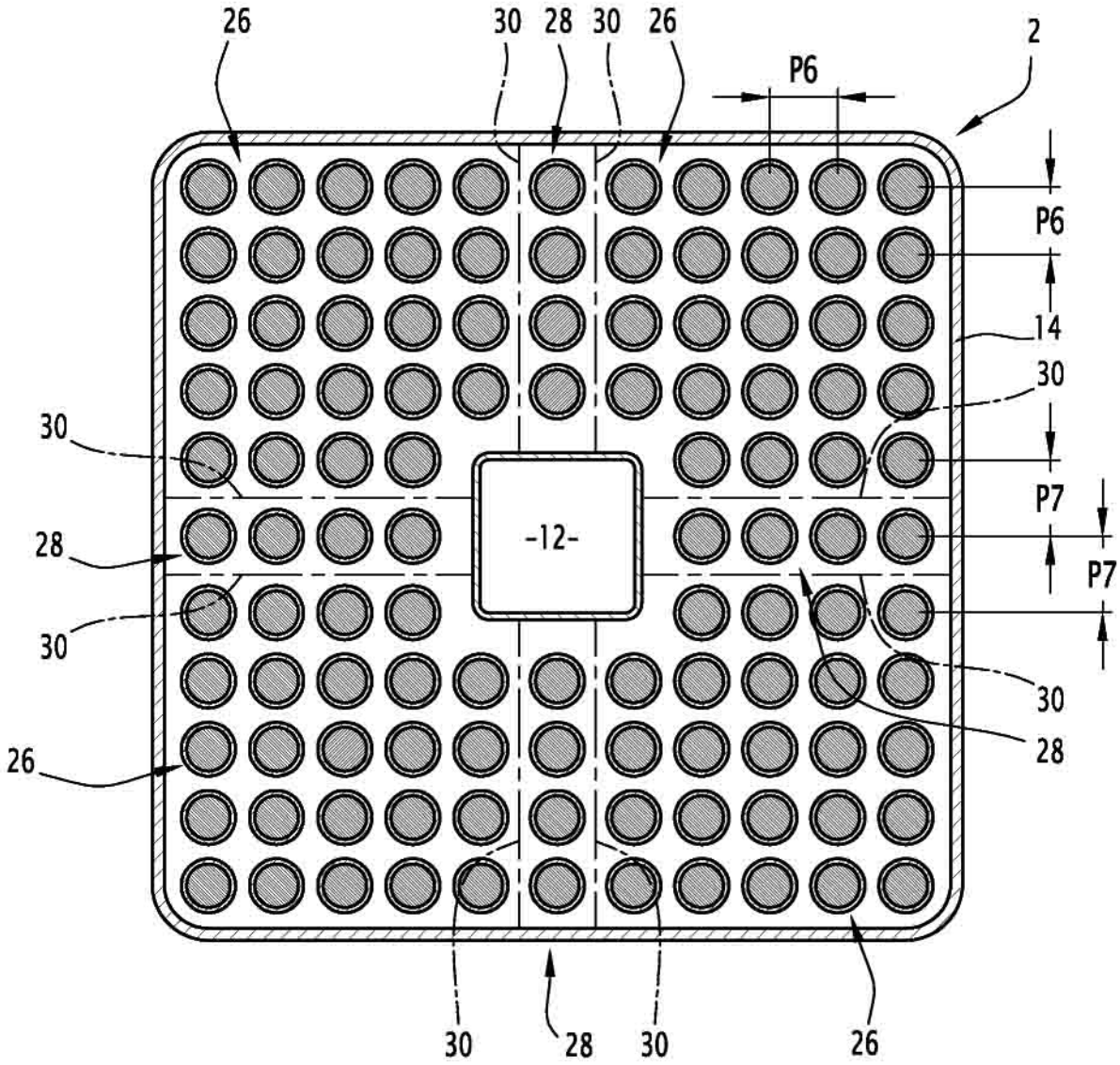


FIG.5

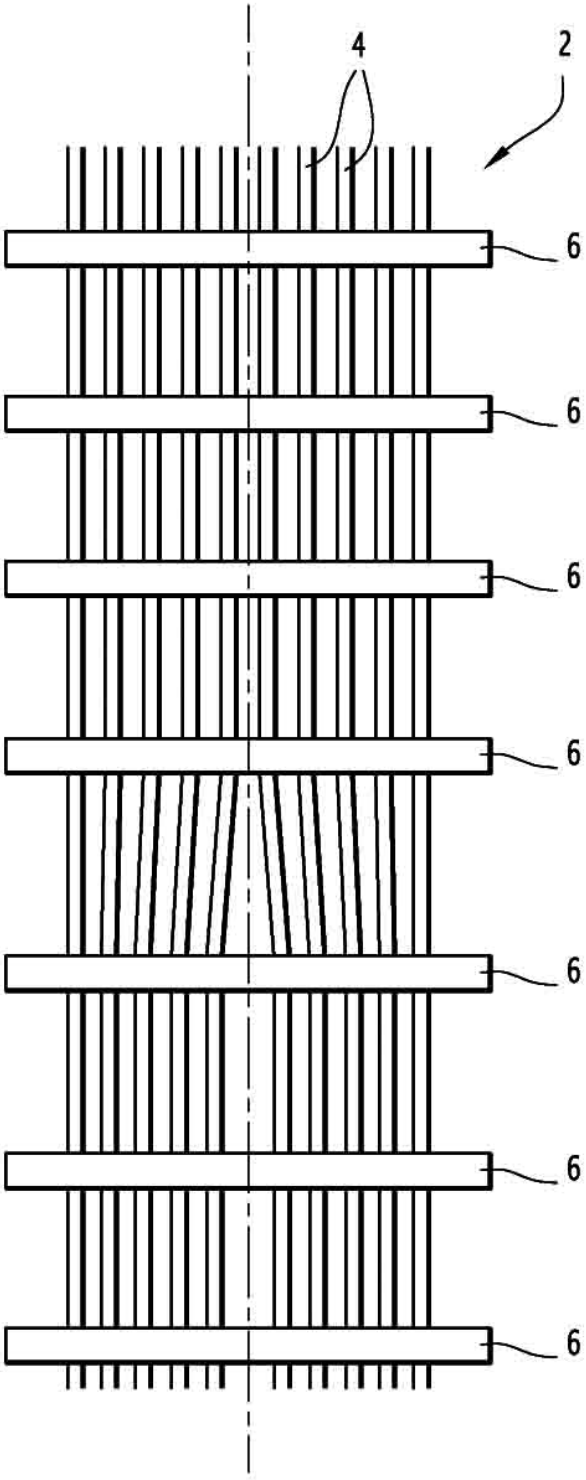


FIG.6