



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 891**

51 Int. Cl.:
G21C 3/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08161285 .5**

96 Fecha de presentación : **28.07.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2020660**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.02.2009**

54 Título: **Varilla de agua para combustible de reactor nuclear de agua en ebullición y procedimiento para mejorar el flujo de agua a través del montaje.**

30 Prioridad: **30.07.2007 US 830174**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.06.2011

73 Titular/es: **Global Nuclear Fuel-Americas, L.L.C.**
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, North Carolina 28401, US

72 Inventor/es: **Elkins, Robert B.;**
Makovicka, Mason Dennis y
Defilippis, Michael S.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 361 891 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

Varilla de agua para montaje del combustible de reactor nuclear de agua en ebullición y procedimiento para mejorar el flujo del agua a través del montaje

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a un montaje de varillas de combustible nuclear para un reactor de agua en ebullición (BWR) y, en particular, se refiere a una varilla de agua en el montaje.

Un montaje de combustible en un reactor nuclear de agua en ebullición incluye típicamente una matriz de combustible paralela y varillas de agua mantenidas en su lugar por espaciadores y placas de sujeción superiores e inferiores. Las varillas de combustible contienen combustible fisionable en una sección de combustible enriquecida de las varillas. Muchas de las varillas de combustible se extienden generalmente la distancia vertical entre las placas de sujeción superiores e inferiores y algunas de las varillas de combustible pueden extenderse hasta el montaje desde la placa de sujeción inferior. Las varillas de agua proporcionan flujo moderador de agua líquida adicional a través del interior del montaje de combustible. Los espaciadores se disponen en diversas localizaciones a lo largo de la longitud vertical del montaje de combustible y mantienen las varillas de combustible en una relación fija en el montaje de combustible. Los extremos inferiores de las varillas de combustible y las varillas de agua tienen clavijas finales que se ajustan en la placa de sujeción inferior que da soporte a las varillas. La placa de sujeción inferior incluye orificios de flujo para proporcionar una entrada para el flujo moderador y refrigerante al montaje de combustible y al moderador de combustible. La placa de sujeción superior recibe los extremos superiores de las varillas, restringe los movimientos laterales de las varillas de combustible y las varillas de agua, y tiene orificios de flujo para descargar el refrigerante a partir del montaje de combustible.

El documento US 6181763 revela una conexión de haz de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, en la que al menos una varilla de agua se mantiene sobre una placa de sujeción inferior y se extiende hacia arriba hasta una placa de sujeción superior.

Los documentos DE 196 41 322 y US 5528641 revelan ejemplos adicionales de montajes de haces de combustible.

25 El documento US 5230858 se refiere a una varilla de agua que tiene dos compartimentos para un reactor de agua en ebullición, y el documento US 5247552 revela un extremo acortado y "de base rebajada" para un canal de agua de montaje de combustible de reactor de agua en ebullición.

Breve descripción de la invención

30 La presente invención proporciona un montaje de haces de combustible de reactor nuclear que comprende: un haz de combustible que incluye una disposición de varillas de combustible unidas a una placa de sujeción inferior, a una placa de sujeción superior y albergada en las paredes de un canal y una varilla de agua que tiene un extremo de descarga superior por debajo de y no unido a la placa de sujeción superior, en la que el extremo de descarga superior está por debajo de una sección enriquecida de al menos una de las varillas de combustible caracterizada porque la varilla de agua no está unida a la placa de sujeción superior y la varilla de agua tiene una entrada más baja por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior.

Además, la presente invención proporciona un procedimiento para incluir una varilla de agua en un montaje de haces de combustible de reactor nuclear incluyendo una disposición de varillas de combustible unida a una placa de sujeción superior y albergada en un canal, el procedimiento comprende: seleccionar una pluralidad de varillas de agua; insertar las varillas de agua en el montaje, y disponer un extremo de descarga superior de una de las varillas de agua que está en una elevación en el montaje diferente por al menos 15 cm (seis pulgadas verticales) de una elevación de un extremo de descarga superior de otra de las varillas de agua, no estando la varilla de agua o no estando cada varilla de agua unida a la placa de sujeción superior y a una placa de sujeción inferior y teniendo una entrada inferior por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior.

Breve descripción de los dibujos

45 FIGURA 1 es una vista lateral de un montaje de combustible con una parte del montaje retirado para mostrar las varillas de agua.

FIGURA 2 es una vista lateral de un montaje de combustible con una parte del montaje retirada para mostrar una disposición alternativa de las varillas de agua.

50 FIGURAS 3 a 6 ilustran varillas de agua que tienen diferentes formas de sección transversales en montajes de combustible.

Descripción detallada de la invención

FIGURA 1 es una vista lateral que muestra en sección transversal un montaje 10 de haces de combustible conformado generalmente como una columna vertical con una sección transversal cuadrada. El montaje incluye una

disposición de varillas de combustible 12 respaldada por una placa de sujeción superior 14, una placa de sujeción inferior 16, y al menos un espaciador 18 dispuesto en una localización/en localizaciones a lo largo de la longitud de las varillas de combustible. Una o más varillas de agua 19 están dispuestas de forma central en la disposición de las varillas de combustible. Un canal hueco 20, que tiene paredes metálicas finas, forma un alojamiento exterior para el montaje. Un asa elevadora generalmente en forma de U 22 está unida al canal o a la placa de sujeción superior.

La ilustración del canal y las partes de varias de las varillas de combustible en la Figura 1 se han eliminado para exponer las varillas de agua en el centro del montaje 10. Además, la ilustración del combustible 10 en la Figura 1 se divide en secciones de un cuarto cada una en la parte superior y en el fondo para mostrar la parte superior, secciones medias y del fondo en el montaje de la figura. Un montaje de haces de combustible puede aparecer más largo de lo que se muestra en la Figura 1.

El montaje 10 de haces de combustible se dispone verticalmente en un reactor de agua en ebullición (BWR) 1. Se disponen típicamente varios miles de montajes de combustible en una matriz en el núcleo cargado de agua de un BWR. En cada montaje de haces de combustible, moderador y refrigerante, por ejemplo agua, fluye hacia arriba a través del núcleo y de los montajes de haces de superficie y se hace circular de vuelta al fondo del núcleo.

Refrigerante y moderador líquido, por ejemplo, agua, fluye debidamente a través de cada montaje de haces de combustible en el núcleo de BWR. El líquido refrigerante y moderador entra en el fondo del montaje y fluye través de la placa de sujeción inferior 16. Una estructura de malla abierta de la placa de sujeción inferior permite al líquido fluir a través del interior del canal 20 y a lo largo de las varillas de combustible en el montaje. Las varillas de agua 19 incrementan la cantidad de moderador de agua líquida en el montaje de haces de combustible.

Según el líquido refrigerante y moderador fluye a través de cada montaje de haces de combustible, el líquido extrae calor de las varillas de combustible y proporciona una salvaguarda para evitar calentamiento excesivo de las varillas de combustible. El líquido puede convertirse en vapor, especialmente en la parte superior de los montajes de haces de combustible. Según el fluido calentado, por ejemplo, vapor, fluye desde el núcleo, el calor se extrae y se usa para producción de energía y se hace regresar el fluido enfriado al fondo del núcleo para volver a usarlo como refrigerante y moderador. La fuerza motora para la circulación del fluido refrigerante y moderador a través del núcleo de BWR puede ser circulación natural, o puede deberse a bombeo del agua refrigerante a través del núcleo.

El líquido refrigerante y moderador que fluye a través de la disposición de haces de combustible sirve también como un moderador para la reacción nuclear que tiene lugar en las partes enriquecidas de las varillas de combustible. La función moderadora del líquido está además de la función refrigerante del líquido. La función moderadora del líquido se disminuye bruscamente según el líquido se convierte a vapor. El líquido que fluye a lo largo de las varillas de combustible y arriba a través del montaje de haces de combustible típicamente se ha convertido en su mayoría a vapor y el fluido alcanza las elevaciones superiores de las varillas de combustible, tal como la tercera parte superior a la cuarta parte superior de las varillas de combustible.

Las varillas de agua 19 proporcionan un paso para que el líquido moderador fluya a las elevaciones superiores del montaje de combustible. El líquido en las varillas de agua tiende a tener una velocidad mayor que la velocidad del fluido promedio subiendo entre las varillas de combustible. El líquido en la varilla de agua está también separado de las superficies calientes de las varillas de combustible. El líquido en las varillas de agua permanece como un líquido en las elevaciones superiores del montaje de haces de combustible donde una gran parte del fluido que fluye entre las varillas de combustible se ha convertido en vapor. El líquido en las varillas de agua sirve como un moderador para las elevaciones superiores de las varillas de combustible, particularmente a lo largo de las secciones superiores de la varilla que están rodeadas por vapor. De acuerdo con ello, hay un beneficio de función de moderación para el flujo de líquido a través de las varillas de agua hasta una elevación al menos tan alta como el extremo superior de la sección enriquecida de las varillas de combustible.

El vapor líquido en las elevaciones superiores del haz de combustible requiere un volumen de paso sustancialmente mayor de lo que lo hace el líquido que fluye principalmente a través de las elevaciones más bajas del haz de combustible. Debido al volumen más alto del vapor, hay una necesidad de incrementar el área de paso dentro de las elevaciones superiores del haz de combustible. Sin un incremento sustancial en el área de paso en las elevaciones superiores del haz de combustible, el vapor se constreñirá por el canal y las varillas y causará un aumento de presión que inhibe el paso de refrigerante y moderador a través del montaje de haces de combustible completo. Incrementar el paso de refrigerante en las elevaciones superiores del haz de combustible debería reducir la presión de vapor en las elevaciones superiores y así reducir la diferencia de presión entre las elevaciones superiores e inferiores del haz de combustible.

El paso de refrigerante en las elevaciones superiores del haz de combustible se puede incrementar terminando una o más de las varillas de agua a elevación/elevaciones por debajo de la placa de sujeción superior. Finalizar una varilla de agua expande el área disponible para el refrigerante, por ejemplo, vapor, para fluir por encima del extremo de la varilla de agua y continuar a través del haz de combustible. El área para paso de vapor aumenta por el área transversal de la(s) varilla(s) de agua que se terminan. Además, el líquido descargado desde la varilla de agua puede continuar sirviendo como un moderador, especialmente según el líquido se eleva en el montaje de haces de combustible y antes de que se convierta en vapor. Además, el líquido descargado desde el extremo superior de una

varilla de agua sirve como refrigerante, especialmente si el líquido fluye a las superficies de las varillas de combustible.

5 La caída de presión a través del haz de combustible se reduce debido al área de paso de refrigerante adicional obtenida por la finalización del/de los extremo(s) de la(s) varilla(s) de agua por debajo de la placa de sujeción superior. Reducir la caída de presión permite dejar pasar volumen mayor de fluidos refrigerantes y moderadores a través del haz de combustible.

10 Hay que alcanzar un equilibrio entre asegurar que el suficiente líquido de moderación alcance las elevaciones superiores de las partes enriquecidas de las varillas de combustible y asegurar que la caída de presión a través del haz de combustible se minimice. Por otro lado, poner fin a los extremos superiores de las varillas de agua puede reducir el volumen del líquido moderador que alcanza las elevaciones superiores del haz. Por otro lado, una caída de presión excesiva en los pasos de fluido en el montaje de haces de combustible puede restringir el volumen de fluido refrigerante y moderador que pasa a través del montaje de haces. La caída de presión puede reducirse incrementando el área de paso de refrigerante disponible entre las varillas de combustible, especialmente en las elevaciones superiores del montaje de haz de combustible donde mucho del refrigerante se ha convertido en vapor.

15 Terminar las varillas de agua a elevaciones donde las varillas de combustible están enriquecidas reduce el volumen de líquido moderador en las secciones superiores de las varillas de combustible, pero incrementa el área de paso de refrigerante reduce la caída de presión a través del montaje y por lo tanto incrementa la velocidad de fluido que pasa a través del montaje. La necesidad de un equilibrio entre área de paso de refrigerante y flujo de moderador es la más grande con reactores de circulación natural que necesitan pérdidas de presión bajas en flujo refrigerante a través de los montajes de haces de combustible para promover circulación a través de los montajes del fluido refrigerante y moderador.

20

25 Un diseñador del montaje de haces de combustible puede equilibrar la necesidad para líquidos moderadores en las elevaciones superiores de la parte enriquecida de las varillas de combustible con la necesidad de área de paso de fluido más grande en las elevaciones superiores y por encima de las partes enriquecidas del haz de combustible. El proceso de equilibrado puede utilizar comúnmente programas de moldeado de haces y/o ensayo y error. Aproximaciones disponibles para lograr un equilibrio incluyen: múltiples varillas de agua que tienen cada una un extremo superior que descarga líquido a diferentes elevaciones en el haz de combustible, y al menos una varilla de agua que termina por encima de la parte enriquecida de las varillas de combustible. Preferentemente, al menos una varilla de agua descarga líquido sobre la parte enriquecida del montaje de haces de combustible, para asegurar que el líquido moderador pasa a través de todas las elevaciones de la parte enriquecida del montaje de haces de combustible.

30

35 La sección final inferior 24 de la varilla de agua puede unirse a la placa de sujeción inferior 16 e incluye puertos de entrada de refrigerante. El fondo de la sección final inferior 24 puede ser unido para engranar una abertura escalonada en la placa de sujeción inferior o puede usar otros procedimientos de engranaje. Además, la placa de sujeción inferior puede incluir vía(s) de flujo de refrigerante que fluyen hacia arriba dentro de la(s) varilla(s) de agua. La sección final inferior 24 puede comprender una sección cilíndrica de diámetro estrecho que incluye una pluralidad de puertos de entrada de refrigerante laterales. Una sección de transición 28 en la varilla de agua expande el diámetro interno de la varilla a partir de la sección final inferior 24 a la sección superior 30.

40 A modo de ejemplo, la sección inferior 24 puede ser una parte relativamente corta de la varilla de agua, por ejemplo, dos a cinco pies (0,6 a 1,5 metros); la sección de transición 28 puede ser de dos a menos de un pie (0,6 a menos de 0,3 metros) de longitud y la sección superior 30 puede extenderse 10 a 13 pies (3 a 4 metros) de longitud. La forma transversal de la varilla de agua puede ser de forma circular, curvilínea, rectangular, cruciforme, o puede ser una combinación de segmentos curvados y rectos. Un área transversal de la varilla de agua puede ser, por ejemplo, de 1,55 pulgadas cuadradas (10 centímetros cuadrados) en la parte superior de la sección 30. Preferentemente la forma transversal de la varilla de agua es uniforme a lo largo de la longitud de al menos la sección superior 30 para promover el flujo laminar a través de la varilla de agua y reducir la resistencia de flujo. La varilla de agua está soportada en el montaje al menos por los espaciadores 18 y puede estar soportada por la placa de sujeción inferior 16. La varilla de agua puede ser un material metálico adecuado para usar en un núcleo de reactor nuclear tal como aleaciones basadas en circonio.

45

50 El extremo superior de la varilla de agua 34 termina por debajo de la placa de sujeción superior 14 y no se prolonga a la placa de sujeción superior. El moderador, por ejemplo, agua, se descarga desde el extremo 34 de la varilla de agua y se mezcla con el refrigerante, por ejemplo, agua y/o vapor, fluyendo a través del canal 20 y entre las varillas de combustible 12. El extremo superior 34 de la varilla de agua puede estar bien por encima o bien por debajo de la parte enriquecida de las varillas de combustible. Al menos una varilla de agua puede terminar a una elevación en el montaje del haz de combustible donde una parte sustancial, por ejemplo, 25% al 75% del refrigerante se ha convertido en vapor.

55

60 Preferentemente, el extremo de descarga superior de la varilla de agua es una estructura de extremo abierto simple 34, tal como una varilla de agua cilíndrica. El diámetro en el extremo de descarga final debería ser al menos tan grande como un diámetro máximo de la varilla de agua. La estructura de descarga dotada de extremo abierto simple reduce la resistencia a descarga para el flujo en la varilla de agua. El extremo abierto 34 de la varilla de agua puede

ser un extremo dotado de paredes rectas, exterior ligeramente curvado como un cono o cuerno, puede tener otras tales formas de boca ancha, o puede curvarse hacia dentro creando una restricción ligera. El moderador desde la varilla de agua fluye a través de la estructura de descarga de extremo abierto 34 y se mezcla con el flujo de refrigerante a través del canal 20 y entre las varillas de combustible 12.

5 La estructura de descarga de extremo abierto 34 de la salida superior de la varilla de agua 19 está preferentemente sustancialmente libre de restricciones de flujo. Por ejemplo, la estructura de extremo abierto 34 no tiene placas, mallas o boquillas de restricción de flujo que restringirían el flujo a través de la varilla e incrementarían la caída de presión del refrigerante que fluye a través de la varilla. Además, las paredes de la varilla de agua 19 no se curvan hacia dentro en la estructura de extremo abierto 34 para formar una boquilla o para restringir de otra manera el flujo a través de la varilla. FIGURA 2 es una vista lateral que muestra en sección transversal un montaje de haces de combustible 40 conformado generalmente como una columna vertical con una sección transversal cuadrada. La ilustración del canal 20 y varias de las varillas de combustible en la Figura 2 se han extraído para exponer las varillas de agua 42, 44 en el centro del montaje 40. Además, la ilustración del montaje de combustible 40 en la Figura 2 se divide en las secciones que ocupan una cuarta parte superior y de fondo para mostrar las secciones superior, medias y de fondo del montaje en la figura. Un montaje de haz de combustible puede aparecer más largo de lo que se muestra en la Figura 2.

Las varillas de agua 42, 44 tienen extremos abiertos 46 en cualquier elevación diferente dentro del montaje del haz de combustible 40. La diferencia en las elevaciones puede ser, por ejemplo, seis pulgadas, un pie o tres pies (15 centímetros, 30 centímetros o 0,9 metros), entre los extremos abiertos 46 de las varillas de agua 42, 44. Las diferentes elevaciones, por ejemplo, 3 pulgadas, 6 pulgadas o un pie (9 cm, 18 cm o 36 cm) de los extremos abiertos 46 de la varilla de agua dan como resultado que se descarga moderador desde cada varilla de agua a diferentes elevaciones dentro del canal 20. Los extremos 46 de las varillas de agua 42, 44 pueden disponerse para descargar moderador a diferentes elevaciones en el canal para proporcionar refrigerante adicional a las varillas de combustible en elevaciones seleccionadas. Según el fluido líquido fluye hacia arriba en la varilla de agua, el líquido sirve principalmente como un moderador para el montaje de haces de combustible. Según se descarga por la parte superior de la varilla de agua, el líquido también sirve como un refrigerante en el grado en que se aplica a las varillas de combustible y se convierte en vapor. Además, las varillas de enfriamiento de longitud estándar pueden estar incluidas en el montaje 40. Las varillas de agua de diferentes longitudes estándar pueden estar incluidas resueltamente en un montaje para proporcionar descarga de moderador a diferentes elevaciones en el canal. Descargar moderador a diferentes elevaciones a partir de múltiples varillas de agua puede potenciar el flujo de refrigerante a diversas elevaciones de las varillas de agua según se compara con descargar múltiples varillas de agua a la misma elevación en el montaje 40.

Las secciones inferiores 46, 48 del agua pueden opcionalmente no prolongarse hacia la placa de sujeción inferior 16. Por ejemplo, la sección inferior 46 de varilla de agua 42 puede ser un cilindro lateral recto que tiene un diámetro uniforme con el resto de la varilla de agua 42. La sección inferior cilíndrica lateral recta 46 de la varilla de agua puede terminar uno o más pies, por ejemplo uno a cuatro pies (0,3 a 1,2 metros) por encima de la placa de sujeción inferior. El flujo de refrigerante hacia arriba a través del canal y entre las varillas de combustible 12 entra dentro de la sección inferior de la varilla de agua 42.

La varilla de agua 42 proporciona una vía de flujo de resistencia baja y una vía de flujo potencialmente ligeramente más fría para conducir refrigeración a una elevación superior del montaje 40 en el extremo de descarga 46 de la varilla de agua. La sección inferior 48 de la varilla de agua 48 es un cilindro de diámetro estrecho que tiene una entrada de extremo abierto 50 o puertos de entrada laterales 52 (los puertos de entrada laterales pueden disponerse también en el lateral de la sección más baja 46 de la varilla de agua 42). El refrigerante entra en la entrada de extremo abierto 50 o en los puertos de entrada laterales 52 y fluye hacia arriba a través de la sección inferior estrecha 40 y a una sección cilíndrica superior de diámetro ancho 54 de la varilla de agua 44. La entrada final abierta 50 puede estar unas pocas pulgadas (pocos centímetros) o un pie o más (0,3 metros o más) por encima de la placa de sujeción inferior 16. El refrigerante entra en las entradas 50, 52 de la varilla de agua 44, fluye a través de la sección estrecha a la sección ancha 54 y se descarga desde la varilla de agua en el extremo de descarga 46.

Las varillas de agua 19, 42 y 44 tienen extremos superiores 34, 46 que no se unen a una placa de sujeción superior. De acuerdo con ello, las varillas de agua no requieren clavijas de extremo superior para conectar la varilla a la placa de sujeción superior. Debido a que las placas de sujeción superiores (y opcionalmente las inferiores) no requieren receptores para las varillas de agua, las placas de sujeción pueden estar diseñadas sin las restricciones de tales receptores, por ejemplo, aperturas unidas o aperturas lisas para recibir las clavijas de extremos de las varillas de agua. Adicionalmente, las varillas de agua reveladas en el presente documento se pueden usar para reducir el número de varillas de agua únicas necesarias para diversos montajes de haces de combustible en un núcleo de BWR 1 (que no se muestra a escala en la Figura 1). Por ejemplo, las varillas de agua estándar que tienen una longitud común o una selección pequeña, por ejemplo, 3 a 6, de varillas de agua estándar que tienen diversas longitudes se pueden usar como varillas de agua en todos los montajes de haces de combustibles en el núcleo de un BWR. Las varillas de agua estándar que tienen una o pocas longitudes comunes se pueden usar para todos los montajes de haces de combustible debido a que las varillas de agua no son del tamaño para conectarse a las placas de sujeción superiores y a las placas inferiores. Adicionalmente, hay un intervalo aceptable de elevaciones, por ejemplo dentro de dos a tres pies (0,6 a 1,0 metros) de la placa de sujeción superior, en la que las varillas de agua

pueden descargar moderador en el montaje. Estandarizar las varillas de agua a una longitud común simple o a pocas longitudes comunes, por ejemplo, 3 a 6, simplifica la fabricación de montajes de haces de combustible para un núcleo de un BWR y usa estandarización de partes, por ejemplo, varillas de agua, para reducir el coste y el tiempo para fabricación de montajes de haces de combustible.

- 5 A modo de contraste, los núcleos de BWR convencionales pueden tener haces de longitudes ligeramente diferentes, por ejemplo, BWR 2/3, BWR 4/6, etc. y estos haces requieren varillas de agua de diversas longitudes específicas para acomodar las variaciones en longitud de los montajes de haces de combustible diferentes. Debido a que las varillas de agua reveladas en el presente documento no se unen a la placa de sujeción superior, puede(n) usarse varilla(s) de agua de longitud estándar en los montajes de haces de combustible, a pesar de las variaciones de longitud de estos montajes.

La eliminación de la parte superior de las varillas de agua reduce la caída de presión del montaje de haces de combustible cuando se compara con los diseños tradicionales incrementando el área transversal disponible dentro del canal 20 para flujo refrigerante. La reducción de la caída de presión y de las restricciones de flujo a través del ensamblaje de haces de combustible puede ser especialmente beneficioso para BWR de circulación natural.

- 15 FIGURAS 3 a 6 son ilustraciones transversales de un ensamblaje de haces de combustible 10, 40 que muestra varillas de agua que tienen diversas formas transversales. Las figuras muestran el extremo de descarga superior terminado abierto de cada una de las varillas de agua para ilustrar la estructura de salida simple del extremo de descarga de cada varilla de agua. Figura 3 muestra una varilla de agua 60 que es rectangular, por ejemplo, cuadrada, en sección transversal y está centrada en una disposición de varillas de combustible 12. La varilla de agua individual 60 puede tener una sección transversal uniforme por toda su longitud o pueden tener una sección inferior corta de área transversal menor que una sección superior prolongada. Figura 4 muestra múltiples varillas de agua que incluyen varillas de agua cilíndricas 62 que tienen un diámetro relativamente grande y al menos una varilla de agua cilíndrica de diámetro menor 64. Las varillas de agua cilíndricas 62, 64 pueden tener una sección transversal uniforme por todas sus longitudes o pueden incluir una sección inferior de diámetro estrecho corta que, por ejemplo, se une a la placa de sujeción inferior. Las elevaciones de los extremos de descarga de las varillas de agua 62, 64 pueden variar en el montaje de combustible. Figura 5 muestra un par de varillas de agua cilíndricas 66, 68 que tienen un diámetro cilíndrico uniforme y salida superior dotada de paredes cilíndricas rectas. La varilla de agua 68 tiene un diámetro uniforme por toda su longitud y no se extiende a la placa de sujeción inferior. La varilla de agua 68 tiene una sección inferior de diámetro estrecho que se une a la placa de sujeción inferior. Figura 5 muestra también un espaciador 18 que da soporte a las varillas de combustible y a las varillas de agua 66, 68. Figura 6 es una varilla de agua cruciforme 70 que tiene una sección transversal uniforme y está centrada en la disposición de varillas de combustible 12. La varilla de agua cruciforme segmenta las varillas de combustible 12 en el montaje dentro de cuatro cuadrantes y proporciona una vía de flujo no obstruida para que el modulador fluya hacia arriba a través del montaje. La varilla de agua cruciforme 70 no necesita conectarse a las placas de sujeción superiores o inferiores y puede prolongarse a la mayoría de las longitudes de las varillas de combustible y a la totalidad de las longitudes de las partes enriquecidas de las varillas de combustible.

- Mientras que la invención se ha descrito en conexión con lo que se considera actualmente que es la realización más práctica y preferida, se entiende que la invención no se limita a la realización revelada, sino que por el contrario, se desea para abarcar diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del espíritu y el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Algunos aspectos de la presente aplicación se enumeran en las cláusulas numeradas siguientes:

1. Un montaje de haces de combustible de reactor nuclear que comprende:

un haz de combustible que incluye una disposición de varillas de combustible unidas a una placa de sujeción inferior, una placa de sujeción superior y se alberga en las paredes de un canal, y

- 45 una varilla de agua que tiene un extremo de descarga superior por debajo y no unido a la placa de sujeción superior, en la que el extremo de descarga superior está por debajo de una sección enriquecida de la menos una de las varillas de combustible.

2. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 1 en el que el extremo de descarga superior de la varilla de agua tiene un diámetro interior al menos tan grande como un diámetro máximo de la varilla.

- 50 3. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 1 en el que el extremo de la descarga superior de la varilla de agua está dentro de 0,6 metros (dos pies) de una superficie de fondo de la placa de sujeción superior.

4. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 1 en el que la varilla de agua es una pluralidad de varillas de agua y cada varilla de agua tiene un extremo de descarga superior a una elevación en el montaje diferente de una elevación de un extremo de descarga superior de otra de las varillas de agua.

- 55 5. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 4 en el que la diferencia en elevaciones de los extremos de descarga superior de las varillas de agua es al menos 15,2 cm (seis pulgadas)

verticales).

6. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 1 en el que la varilla de agua está no unida a la placa de sujeción inferior y la varilla de agua tiene una entrada menor por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior.
- 5 7. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 1 en el que la varilla de agua tiene una forma transversal constante a lo largo de una longitud completa de la varilla.
8. Un montaje de haces de combustible de reactor nuclear que comprende:
un haz de combustible que incluye una disposición de varillas de combustible montadas en una placa de sujeción superior y albergadas por una pared de canal, y
- 10 una primera varilla de agua que tiene un extremo de descarga superior por debajo de y no unida a la placa de sujeción superior, en la que el extremo de descarga superior está en una primera elevación en el montaje, y
una segunda varilla de agua que tiene un extremo de descarga superior por debajo de y no unido a la placa de sujeción superior, en la que el extremo de descarga superior de la segunda varilla de agua está en una segunda elevación en el montaje y la segunda elevación es diferente de la primera elevación.
- 15 9. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 8 en la que el extremo de descarga superior de la primera varilla de agua tiene un diámetro interno al menos tan grande como un diámetro máximo de la primera varilla de agua.
10. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 8 en la que el extremo de descarga superior de la primera varilla de agua está dentro de 0,6 metros (dos pies) de una superficie del fondo de la placa de sujeción superior.
- 20 11. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 8 en el que la diferencia en elevaciones de los extremos de descarga superiores de las varillas de agua primera y segunda es al menos 15,2 centímetros (6 pulgadas) verticales.
12. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 8 en el que la primera varilla de agua no está unida a la placa de sujeción inferior y la primera varilla de agua tiene extremo de entrada más bajo por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior.
- 25 13. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear en la cláusula 8 en el que la varilla de agua tiene una forma transversal constante a lo largo de una longitud completa de la varilla.
14. Un procedimiento para incluir una varilla de agua en un montaje de haces de combustible de reactor nuclear incluyendo una disposición de varillas de combustible unida a una placa de sujeción superior y albergada en un canal, comprendiendo el procedimiento:
seleccionar una pluralidad de varillas de agua;
insertar las varillas de agua en el montaje, y
disponer un extremo de descarga superior de una de las varillas de agua para estar en una elevación en el montaje diferente de una elevación de un extremo de descarga superior de otra de las varillas de agua.
- 30 15. El procedimiento en la cláusula 14 en el que las varillas de agua son varillas de agua de longitud estándar y las varillas de agua de longitud estándar se usan en cada montaje de haces de combustible de un núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición.
16. El procedimiento en la cláusula 15 en el que la varilla de agua de longitud estándar está seleccionada de un grupo de varillas de agua de longitud estándar.
17. El procedimiento en la cláusula 14 en el que las varillas de agua se aseguran en el montaje por un espaciador y no se unen a la placa de sujeción superior.
18. El procedimiento en la cláusula 14 en el que las varillas de agua no se unen a una placa de sujeción superior.
- 45 19. El procedimiento en la cláusula 14 adicional que comprende reducir resistencia al flujo a través del montaje por un extremo de descarga que termina abierto en cada varilla de agua.
20. El procedimiento en la cláusula 14 en el que los extremos de descarga superiores de las varillas de agua están al menos 7,6 cm (tres pulgadas) por debajo de una superficie inferior de la placa de sujeción superior.

REIVINDICACIONES

1. Un montaje 10 de haces de combustible de reactor nuclear que comprende:
- 5 un haz de combustible que incluye una disposición de varillas de combustible (12) fijadas a una placa de sujeción inferior (16), una placa de sujeción superior (14) y albergadas en las paredes de un canal (20), y una varilla de agua (19; 42, 44) que tiene un extremo de descarga superior (34; 46) más abajo y no unido a la placa de sujeción superior (14), en la que el extremo de descarga superior (34; 36) está por debajo de una sección enriquecida de al menos una de las varillas de combustible (12) **caracterizado porque**
- la varilla de agua no está unida a la placa de sujeción inferior y la varilla de agua tiene una entrada inferior (50, 52) por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior (16).
- 10 2. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1, en el que el extremo de la descarga superior (34; 36) de la varilla de agua (19; 42, 44) tiene un diámetro interior al menos tan grande como un diámetro máximo de la varilla.
3. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear de la reivindicación 1 ó 2, en el que el extremo de descarga superior final (34; 36) de la varilla de agua (19; 42, 44) está dentro de 0,6 m (dos pies) de una superficie de fondo de la placa de sujeción superior.
- 15 4. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se proporciona una pluralidad de varillas de agua (19; 42, 44) y cada varilla de agua (19; 42, 44) tiene un extremo de descarga superior (34; 36) a una elevación en el montaje (10) diferente de una elevación de un extremo de descarga superior de otra de las varillas de agua (19; 42, 44), en el que la diferencia en elevaciones de los extremos de descarga superiores (34; 36) de las varillas de agua (19; 42, 44) es de al menos 15,2 cm.
- 20 5. El montaje de haces de combustible de reactor nuclear de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la varilla de agua (19; 42, 44) tiene una forma en sección transversal constante a lo largo de toda longitud de la varilla.
6. Un procedimiento para incluir una varilla de agua (19; 42, 44) en un montaje de haces de combustible de reactor nuclear (10) que incluye una disposición de varillas de combustible (12) unida a una placa de sujeción superior (14) y albergada en un canal, comprendiendo el procedimiento:
- 25 seleccionar una pluralidad de varillas de agua (19; 42, 44); insertar las varillas de agua (19; 42, 44) en el montaje (10), y disponer un extremo de descarga superior (34, 36) de una de las varillas de agua (19; 42, 44) para estar a una elevación en el montaje (10) diferente en al menos 15 cm a partir de una elevación de un extremo de descarga superior (34; 36) de otra de las varillas de agua (19; 42, 44), estando la varilla de agua o cada varilla de agua no unida a la placa de sujeción superior (14) y una placa de sujeción inferior (16) y teniendo una entrada inferior (50, 52) por encima de una superficie superior de la placa de sujeción inferior (16).
- 30 7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que las varillas de agua (19; 42, 44) son varillas de agua de longitud estándar y se usan en cada montaje de haces de combustible (10) de un núcleo de un reactor nuclear de agua en ebullición.
- 35

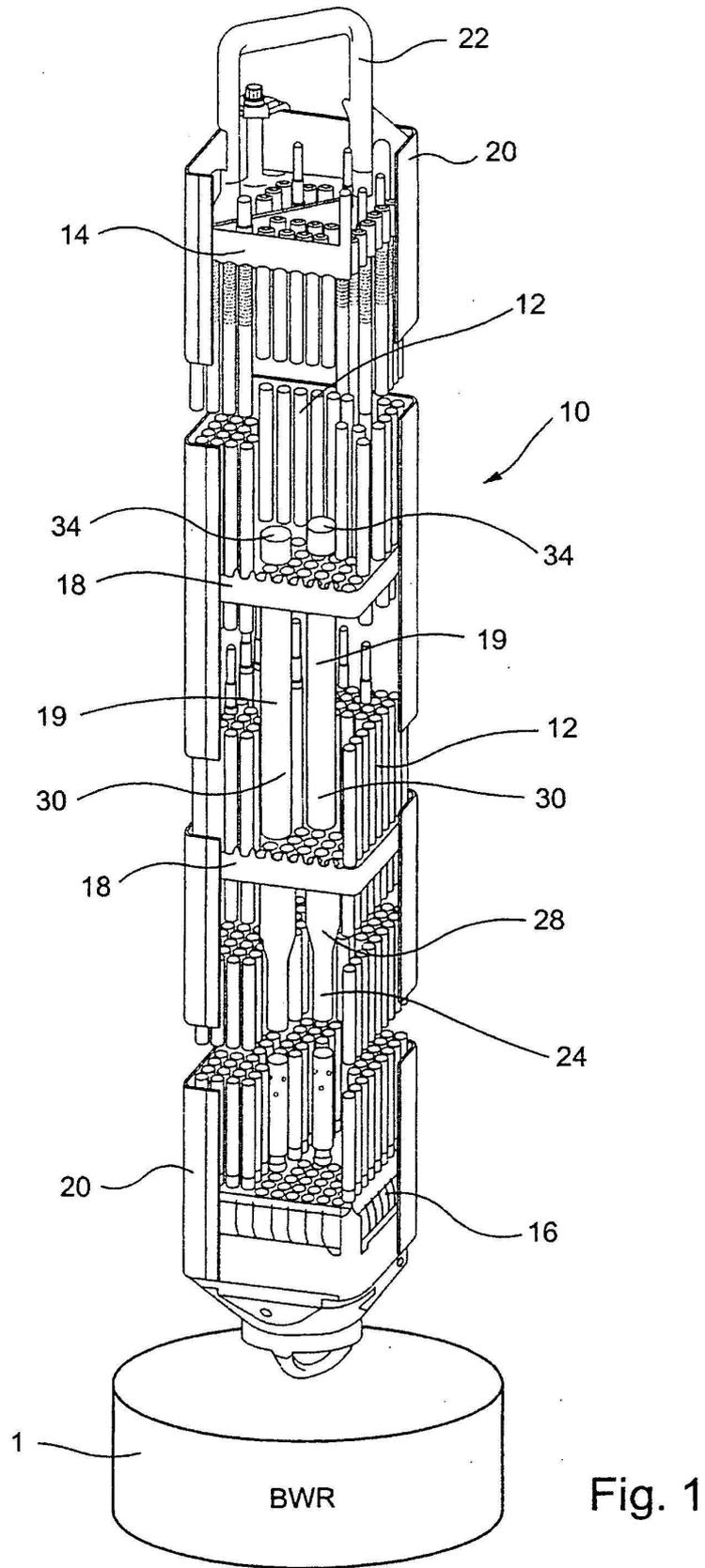


Fig. 1

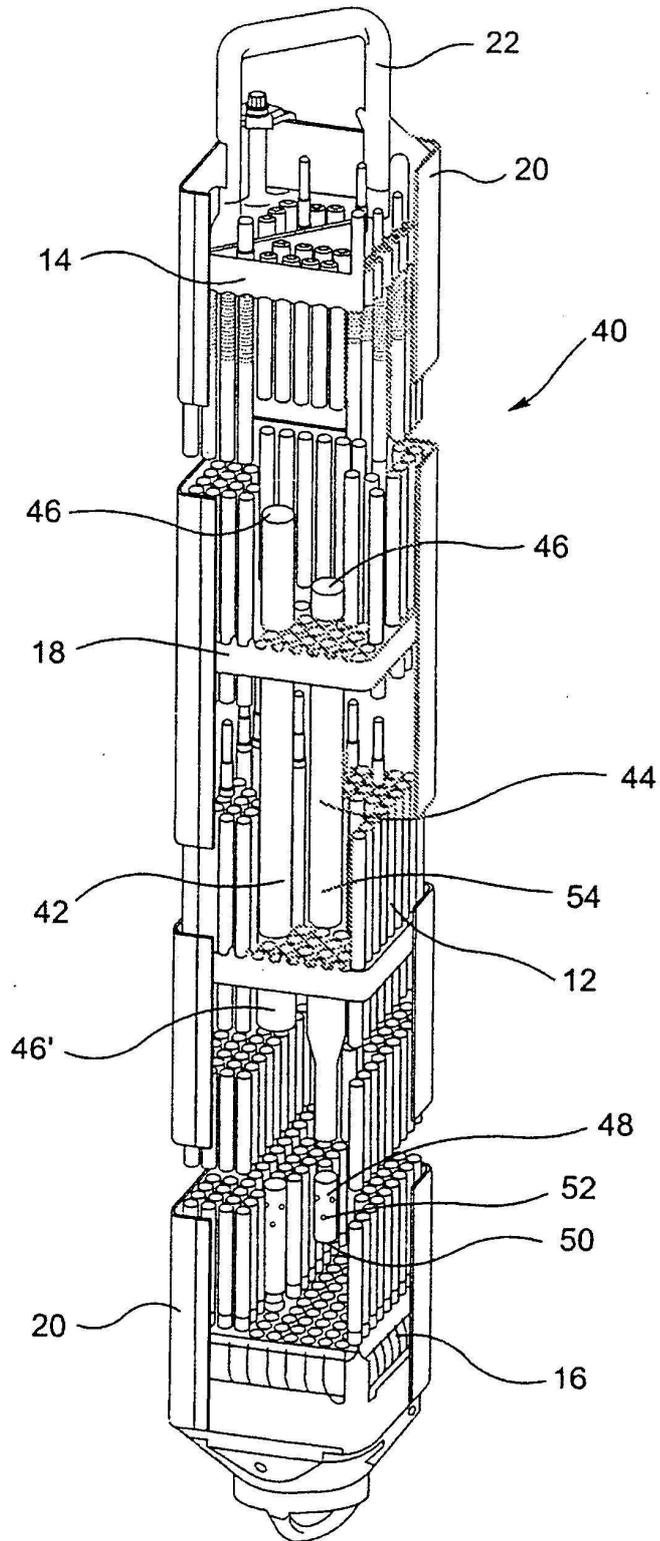


Fig. 2

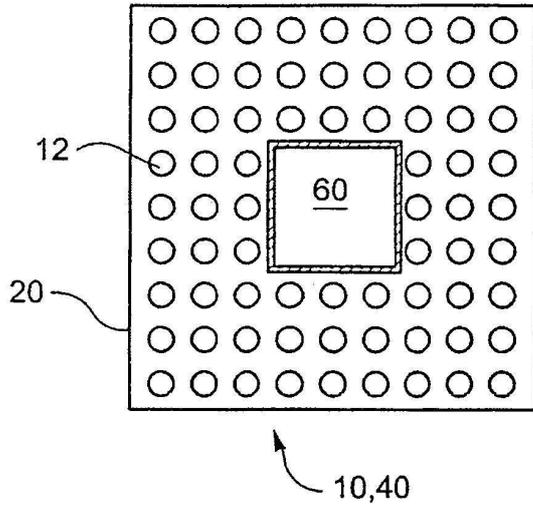


Fig. 3

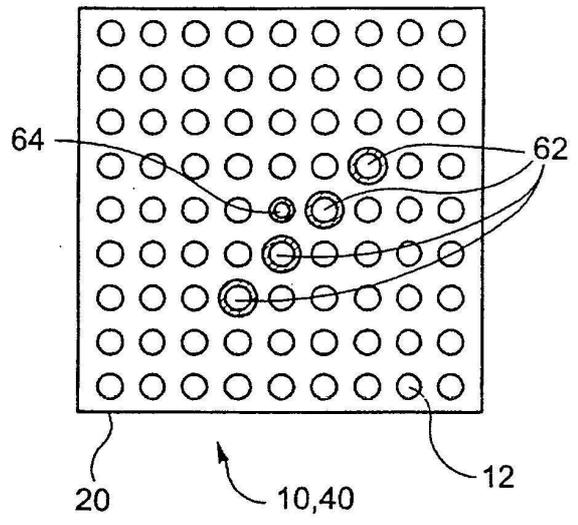


Fig. 4

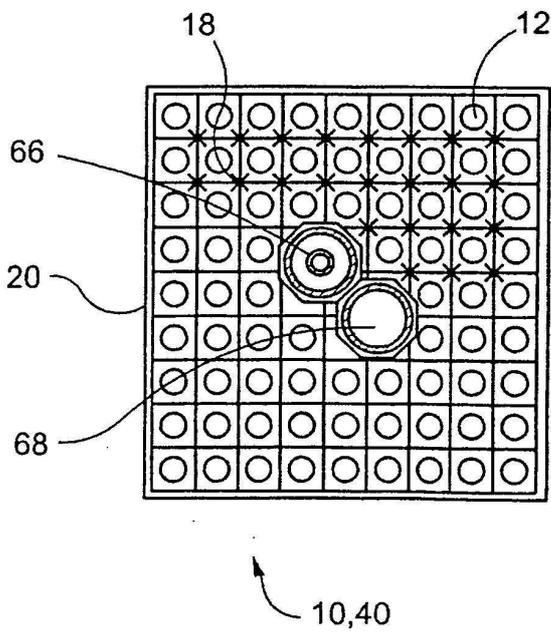


Fig. 5

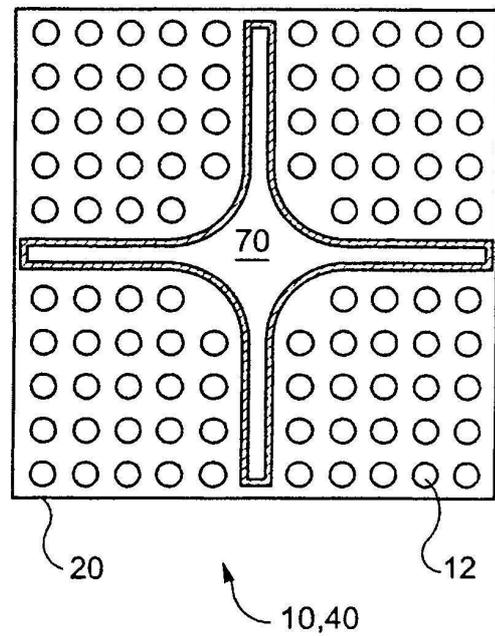


Fig. 6