

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 401**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/322** (2006.01)

**G21C 3/326** (2006.01)

**G21C 3/328** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2015** **E 15155985 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018** **EP 3059737**

54 Título: **Conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.04.2018**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC SWEDEN AB**  
**(100.0%)**  
**721 63 Västerås, SE**

72 Inventor/es:

**AURÉN, JONAS y**  
**BERGMANN, UFFE**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 664 401 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

Conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición

5 **Antecedentes de la invención y técnica anterior**

La presente invención se refiere a un conjunto de combustible para un reactor de energía nuclear de agua en ebullición.

10 En un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición, hay un número de varillas de combustible, que comprenden un material de combustible nuclear. Cuando el conjunto de combustible está en funcionamiento en un reactor nuclear, un medio de enfriamiento, normalmente agua, fluye a través del conjunto de combustible. Esta agua cumple varias funciones. Funciona como un medio de enfriamiento para enfriar las varillas de combustible de manera que no se sobrecalienten. El agua también funciona como un moderador de neutrones, es decir, el agua ralentiza los neutrones hasta que tengan una velocidad menor. Por tanto, la reactividad del reactor aumenta.

Ya que el agua fluye hacia arriba a través del conjunto de combustible, en la parte superior del conjunto de combustible, el agua se ha calentado en un mayor grado. Esto tiene la consecuencia de que la porción de vapor es mayor en la parte superior del conjunto de combustible que en la parte inferior. Ya que el vapor tiene una densidad relativamente baja, el vapor en la parte superior del conjunto de combustible es un peor moderador que el agua en la parte inferior del conjunto de combustible. Además, el agua fría es un mejor moderador que el agua tibia. Esto significa que la mayor moderación se obtiene cuando el reactor está fuera de funcionamiento, es decir, cuando está frío. La reactividad del reactor depende de la cantidad de material de combustible nuclear y de la cantidad de moderador. Por lo tanto, la reactividad en un reactor frío es mayor que la reactividad en un reactor caliente. Para permitir un apagado seguro, existen requisitos sobre una reactividad mayor permitida cuando el reactor no está funcionando. Un objeto es, por tanto, que el reactor tenga una reactividad lo más alta posible cuando el reactor está en funcionamiento, al mismo tiempo que la reactividad no sea demasiado alta cuando el reactor no esté funcionando.

30 Debería mencionarse que el agua no solo tiene una función de moderación. De hecho, el agua funciona como absorbedor de neutrones. En este contexto, suele utilizarse la expresión moderación en exceso. Por tanto, significa que la función de absorción del agua domina sobre su función de moderación. Dicha moderación en exceso conduce así a una reactividad reducida. Esto significa que el requisito de una reactividad máxima permitida cuando el reactor no está funcionando se cumple más fácilmente si la cantidad de agua conduce a un exceso de moderación.

Otro requisito es que el enfriamiento de las varillas de combustible sea suficiente para que no se produzca el llamado secado. Por secado, se entiende que la película de agua que hay en la superficie de las varillas de combustible desaparece o se rompe en áreas limitadas. Esto conduce a una transferencia de calor localmente deteriorada entre la varilla de combustible y el agua que fluye a través del conjunto de combustible. Esto conduce, a su vez, a una mayor temperatura de pared de las varillas de combustible. La mayor temperatura de pared puede derivar en daños graves en la varilla de combustible.

45 Se desea lograr una distribución de energía de fisión sobre la sección transversal del conjunto de combustible que sea más uniforme, de manera que se reduzca el llamado factor de máximo radial. Esto significa que el conjunto puede hacerse funcionar a una potencia total superior antes de que cualquier varilla de combustible individual alcance su límite en términos de margen de secado y otros parámetros relacionados con la seguridad.

50 Para cumplir los diferentes requisitos de seguridad, para obtener un enfriado suficiente de las varillas de combustible, y al mismo tiempo, obtener una alta reactividad durante el funcionamiento, se han propuesto un gran número de soluciones técnicas distintas.

Los ejemplos de los diferentes diseños de conjuntos de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición pueden encontrarse en los documentos EP 1551034 A2, US 5.068.082 y US 4.968.479.

55 El documento JP H03 108691 A divulga, en relación con la realización mostrada en la Fig. 5(c) y con referencia también a la Fig. 3(a), un conjunto de combustible que tiene cuatro canales de agua y cuatro o cinco varillas de combustible más cortas ubicadas en la parte central. En la porción inferior del canal de combustible, donde se ubican las varillas de combustible más cortas, los canales de agua son estrechos, mientras que los canales de agua son más anchos en una porción superior del canal de combustible.

**Sumario de la invención**

65 Un objeto de la presente invención es proporcionar un conjunto de combustible para un reactor nuclear de agua en ebullición con un margen mejorado de apagado en frío, es decir, la reactividad debería ser suficientemente baja cuando el reactor nuclear se apaga (estado frío). Un objeto adicional es proporcionar tal conjunto de combustible

que tenga una alta reactividad cuando el reactor nuclear esté en funcionamiento (estado caliente). Otro objeto es proporcionar tal conjunto de combustible que tenga una energía de fisión distribuida uniformemente por la sección transversal del conjunto de combustible. Un objeto adicional es proporcionar tal conjunto de combustible que tenga una caída de presión reducida en la región de flujo bifásica superior, para así mejorar la estabilidad termohidráulica.

5 Otro objeto es proporcionar tal conjunto de combustible en el que el riesgo de provocar daños en las rejillas separadoras, colocadas en niveles superiores en el conjunto de combustible (por encima de las varillas de combustible más cortas), es bajo. Otro objeto más es proporcionar tal conjunto de combustible que tenga un rendimiento nuclear ventajoso.

10 Los anteriores objetos se logran gracias a un conjunto de combustible como el que se define en la reivindicación 1.

Ya que el conjunto de combustible comprende un número relativamente grande de varillas de combustible más cortas en una posición central del conjunto de combustible, junto con al menos tres canales de agua relativamente grandes, que se colocan "fuera" de las varillas de combustible centrales cortas, se crea un gran volumen de agua en la región superior central del conjunto de combustible cuando el reactor nuclear está en el estado frío. Entonces, esta región se modera en exceso y la reactividad fría se reduce. Por tanto, se obtiene un margen de apagado mejorado. Además, ya que se utilizan al menos tres canales de agua relativamente grandes, y ya que estos canales de agua se "extienden" en el conjunto de combustible (ya que se colocan más alejados del eje de canal de combustible central que las 3 o 4 varillas de combustible más cortas centrales definidas), estos canales de agua se ubicarán cerca de muchas de las varillas de combustible dispuestas en el conjunto de combustible. Por tanto, se obtiene una buena moderación en el estado caliente, lo que significa que la reactividad del reactor nuclear será alta. Además, debido a que la reactividad se extiende más uniformemente a más varillas de combustible, la distribución de energía de fisión sobre la sección transversal del conjunto de combustible será más uniforme. Además, debido al número relativamente grande de varillas de combustible más cortas centrales, se crea un gran volumen sin ninguna varilla de combustible en la parte superior del conjunto de combustible. Esto significa que la caída de presión será relativamente baja en la parte superior del conjunto de combustible según se desee. El hecho de que no haya más de cuatro varillas de combustible centrales cortas, lo que coincide con la definición de la reivindicación 1, significa que la velocidad de flujo del vapor y el agua en la abertura central sobre estas varillas de combustible no será muy alta. Una velocidad de flujo demasiado alta en esta región podría incrementar la corrosión y erosión del material separador colocado a mayores niveles en el conjunto de combustible. La pérdida de material separador por la erosión puede dañar la integridad del separador. Este riesgo elevado de erosión puede controlarse retirando las células separadoras vacías sobre las varillas de combustible centrales cortas. Sin embargo, esto debilita la resistencia mecánica de las rejillas espaciadoras en la región central cuando se exponen a cargas externas, por ejemplo, durante el transporte o en caso de terremoto. La presente invención permite mantener las células separadoras vacías, lo que aumenta la resistencia estructural de las rejillas separadoras a la vez que se mantiene un riesgo de erosión bajo.

Además, al no tener más de cuatro varillas de combustible cortas centrales del tipo definido en la reivindicación 1, el rendimiento nuclear se optimiza más; por ejemplo, el llamado coeficiente de reactividad por vacío se mejora para así minimizar la gravedad de ciertos eventos anticipados, tal como los transitorios de presión, y el margen de apagado se optimiza bien, en particular, en relación con la parte inferior del conjunto de combustible.

En un reactor de agua en ebullición operativo, la moderación cambia a través del reactor debido a la formación de vapor y, por tanto, a la densidad reducida. Esto proporciona una mayor conversión en la parte superior, es decir, más producción de Pu-239 a partir de U-238, con una mayor reactividad en estado frío como resultado. Este problema se ha resuelto en la técnica anterior con el uso de varillas de combustible más cortas. Ya que las varillas más cortas tienen efectos secundarios negativos, el número de varillas, sus longitudes y posiciones son determinantes.

50 La región abierta relativamente grande sobre las 3 o 4 varillas de combustible más cortas centrales también mejora la separación natural de vapor, lo que reduce el volumen de vapor promedio y, por tanto, aumenta la moderación en estados calientes. Una separación de vapor y agua, donde el vapor discurre hacia arriba a través del conjunto a una mayor velocidad, reduce el volumen de vapor promedio. Este proceso requiere áreas abiertas mayores que las posiciones vacías sobre las únicas varillas de combustible más cortas.

55 Lo siguiente puede apreciarse en referencia a las expresiones usadas en las reivindicaciones.

Un canal de combustible también puede denominarse, por ejemplo, pared de caja o pared de canal.

60 El canal de combustible suele ser bastante largo (por ejemplo, de aproximadamente 4 m) comparado con su ancho (por ejemplo, aproximadamente 1,5 dm). Este tiene por tanto una dirección de longitud.

65 Durante su uso en un reactor nuclear, el conjunto de combustible y el canal de combustible se extienden preferentemente sobre todo en dirección vertical. La dirección de longitud en uso es, de esta manera, la dirección vertical. Por lo tanto, las partes inferior y superior del conjunto de combustible se refieren al conjunto de combustible como se ve en la posición de uso pretendida.

Las varillas de combustible podrían estar ligeramente inclinadas. Por tanto, se especifica que el eje de varilla de combustible se extiende sustancialmente en la dirección de longitud. Sin embargo, preferentemente, las varillas de combustible no están inclinadas y por tanto el eje de varilla de combustible se extiende solo en la dirección de longitud.

5 Preferentemente, las varillas de combustible son rectas. Sin embargo, las varillas de combustible también pueden estar algo dobladas. El eje de varilla de combustible central definido en ese caso seguiría la forma doblada de la varilla de combustible, es decir, el eje de varilla de combustible central también estaría doblado en ese caso.

10 Ocurre lo mismo para los canales de agua. Los canales de agua podrían estar ligeramente inclinados. Por tanto, se especifica que el eje de canal de agua se extiende sustancialmente en la dirección de longitud. Sin embargo, preferentemente los canales de agua no están inclinados y por tanto el eje de canal de agua se extiende solo en la dirección de longitud. Además, preferentemente, los canales de agua son rectos. Sin embargo, los canales de agua también podrían estar doblados. El eje de canal de agua central definido seguiría en este caso la forma doblada del canal de agua, es decir, el eje de canal de agua central también estaría doblado en este caso.

15 En la presente solicitud, un canal de agua significa así un cerramiento (por ejemplo, de una forma tubular) que se coloca en el conjunto de combustible y que está dispuesto para permitir que el agua que no está en ebullición fluya a través del mismo.

20 Además, preferentemente, el canal de agua tiene un área en sección transversal constante sobre al menos el 80 % de su longitud, preferentemente sobre toda su longitud (el área en sección transversal podría cambiar algo cerca del/los extremo(s) del canal de agua). Sin embargo, de acuerdo con una realización alternativa, el área en sección transversal del canal de agua puede variar a lo largo de su longitud. Por ejemplo, el área en sección transversal puede volverse mayor en un nivel por encima de las mencionadas 3 o 4 varillas de combustible centrales más cortas.

25 Cuando se compara el área en sección transversal de los canales de agua y de las varillas de combustión, esta comparación se refiere al mismo nivel en el conjunto de combustible (en caso de que los canales de agua o, posiblemente, las varillas de combustible tengan un área en sección transversal variable). En particular, la comparación se aplica a la parte inferior del conjunto de combustible, donde están colocadas las varillas de combustible más cortas.

30 El área en sección transversal se refiere al área definida por la periferia exterior de los canales de agua o de las varillas de combustible.

35 El reactor nuclear es preferentemente un reactor de agua ligero.

40 De acuerdo con una realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención, no hay una varilla de combustible de longitud completa, cuyo eje de varilla de combustible central está colocado más cerca del eje de canal de combustible central que el eje de varilla de combustible central de cualquiera de dichas 3 o 4 varillas de combustible. Este hecho garantiza que exista una región relativamente grande sobre las mencionadas varillas de combustible más cortas ubicadas centralmente. Por consiguiente, se proporciona un espacio sobre estas varillas más cortas para disponer de un volumen de agua relativamente grande, lo que mejorará el margen de apagado.

45 De acuerdo con otra realización del conjunto de combustible de acuerdo con la invención, el conjunto de combustible comprende 4 varillas de combustible que pertenecen a dicho segundo grupo, y que se colocan de manera que el eje de varilla de combustible central de cada una de estas 4 varillas de combustible esté más cerca del eje de canal de combustible central que cualquiera de los ejes de canal de agua de los canales de agua. Con 4 de dichas varillas de combustible, se crea un espacio central mayor, lo que significa un margen de apagado mejorado adicional.

50 De acuerdo con otra realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención, el conjunto de combustible comprende una agrupación de 6 a 12, preferentemente 6 a 10 varillas de combustible, en el que dicha agrupación incluye dichas 3 o 4 varillas de combustible, en el que cada varilla de combustible de dicha agrupación tiene una longitud que es menor que 0,80 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa, en el que las varillas de combustible de dicha agrupación se agrupan entre sí de manera que cada varilla de combustible de dicha agrupación esté colocada cerca de al menos otra varilla de combustible que pertenezca a dicha agrupación. De acuerdo con esta realización, hay así un número relativamente grande de varillas de combustible más cortas ubicadas centralmente. Esto garantiza un espacio bastante grande para el agua sobre estas varillas de combustible. Este espacio, junto con el espacio dentro de los canales de agua, garantiza un buen margen de apagado.

55 De acuerdo con otra realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención, cada una de dichas 3 o 4 varillas de combustible tiene una longitud que es menor que 0,50 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa. Ya que las varillas de combustible son tan cortas, se garantiza que haya un gran espacio para el agua sobre las varillas de combustible.

## ES 2 664 401 T3

De acuerdo con una realización preferente, cada una de dichas 3 o 4 varillas de combustible tiene una longitud que está entre 0,25 y 0,45 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa. Con tales varillas de combustible cortas se crea un volumen incluso mayor para el agua.

- 5 De acuerdo con otra realización, no hay una varilla de combustible que sea mayor que 0,50 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa y que tenga un eje de varilla de combustible central que esté más cerca del eje de canal de combustible central que el eje de varilla de combustible central de cualquiera de dichas 3 o 4 varillas de combustible. De manera similar a la anterior explicación, asegurándose de que no haya varillas de combustible más largas entre las varillas de combustible más cortas centrales mencionadas, se crea un espacio grande y sin perturbaciones para el agua.

- 10 De acuerdo con la invención, el conjunto de combustible comprende no más de 3 de dichos al menos 3 canales de agua. Se ha descubierto que el uso de dichos tres canales de agua relativamente grandes es óptimo para lograr una buena moderación en el estado caliente, al mismo tiempo que hay suficiente espacio todavía en el conjunto de combustible para un número relativamente grande de varillas de combustible.

- 15 De acuerdo con una realización preferente, el conjunto de combustible no comprende ningún otro canal de agua (es decir, tampoco un canal de agua con un área en sección transversal que sea menor que el doble de grande que el área en sección transversal de cada una de dichas varillas de combustible, o en el caso de que el conjunto de combustible tenga varillas de combustible con diferentes áreas en sección transversal, menos del doble de grande que el área en sección transversal promedio de las varillas de combustible).

- 20 De acuerdo con otra realización, cada uno de dichos al menos 3 canales de agua tiene un área en sección transversal que está entre 3,0 y 10,0, preferentemente entre 4,0 y 8,0 veces el área en sección transversal de cada una de dichas varillas de combustible o, en el caso de que el conjunto de combustible tenga varillas de combustible de diferentes áreas en sección transversal, entre 3,0 y 10,0, preferentemente entre 4,0 y 8,0 veces el área en sección transversal promedio de las varillas de combustible. Con tales canales de agua relativamente grandes, fluirá una cantidad suficientemente grande de agua que no esté en ebullición a través del conjunto de combustible. Esto garantiza una buena moderación, es decir, una alta reactividad.

- 25 De acuerdo con otra realización, cada uno de dichos al menos 3 canales de agua tiene una sección transversal circular, al menos en la porción del canal de agua que se ubica al nivel de dichas 3 o 4 varillas de combustible. Desde el punto de vista de la dinámica de flujo, es ventajoso emplear canales de agua redondos. Además, es fácil fabricar y colocar tales canales de agua redondos en el conjunto de combustible.

- 30 De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende no más de 12 varillas de combustible, preferentemente no más de 8 varillas de combustible, más preferentemente no más de 6 varillas de combustible, cada una de las cuales cumple con el siguiente criterio: la distancia entre el eje de varilla de combustible central y el eje de canal de combustible central es menor que la distancia entre el eje de canal de agua central de al menos uno de dichos al menos 3 canales de agua y el eje de canal de combustible central. Por lo tanto, se garantiza que los canales de agua no se coloquen demasiado lejos hacia la periferia del conjunto de combustible. Esto significa que se consigue una buena moderación y una alta reactividad para muchas varillas de combustible, y consecuentemente, también una distribución de energía de fisión uniforme.

- 35 De acuerdo con una realización preferente, el conjunto de combustible comprende 6 varillas de combustible que cumplen con el anterior criterio, lo que ha parecido garantizar una colocación óptima de los canales de agua.

- 40 Esto significa que los canales de agua se colocan cerca de las varillas de combustible cortas centrales. Preferentemente, cada uno de los canales de agua se coloca cerca de al menos dos de dichas 3 o 4 varillas de combustible, de manera que no haya una varilla de combustible adicional colocada entre el canal de agua respectivo y dichas 3 o 4 varillas de combustible cortas centrales.

- 45 De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende un patrón sustancialmente regular de posiciones de varilla de combustible, en el que cada uno de dichos al menos 3 canales de agua se coloca de manera que sustituye a 4 varillas de combustible en este patrón sustancialmente regular. Dicho diseño es bastante fácil de implementar en un conjunto de combustible.

- 50 El concepto "patrón sustancialmente regular" se usa ya que algunas varillas de combustible pueden estar ligeramente desplazadas del patrón absolutamente regular. Preferentemente, el patrón regular tiene forma de filas y columnas (cuando se observa una sección transversal del conjunto de combustible).

- 55 De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende de 65 a 160, preferentemente de 100 a 120, más preferentemente de 105 a 113, más preferentemente 109 varillas de combustible. Tal número relativamente alto de varillas de combustible garantiza que el conjunto de combustible pueda lograr una transferencia de calor eficaz hacia el refrigerante, y debido a la disposición de las varillas de combustible y de los canales de agua, se obtiene una buena moderación.

De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende de 2 a 5, preferentemente de 6 a 8 varillas de combustible, cada una de las cuales tiene una longitud de entre 0,59 y 0,79 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa. La disposición de tales varillas de combustible contribuye al margen de apagado y a una reducción de la caída de presión en la parte superior del conjunto de combustible.

5 De acuerdo con una realización, el conjunto de combustible comprende de 8 a 16, preferentemente 10 a 12 varillas de combustible, cada una de las cuales tiene una longitud que es entre 0,25 y 0,45 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa. Con este número de tales varillas de combustible cortas, el margen de apagado mejora.

10 De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende al menos 70, preferentemente al menos 80, o al menos 90 varillas de combustible de longitud completa. La transferencia de calor eficaz se obtiene usando muchas varillas de combustible de longitud completa.

15 De acuerdo con una realización, el conjunto de combustible comprende de 5 a 20, preferentemente 10 a 15 varillas de combustible, cada una de las cuales tiene una longitud de entre 0,80 y 0,95 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa. La disposición de tales varillas de combustible reducirá la caída de presión en la parte superior del conjunto de combustible, cerca de la salida para el vapor/agua.

20 De acuerdo con otra realización, el conjunto de combustible comprende:

una placa de unión inferior, colocada por debajo de las varillas de combustible, en la que un extremo inferior de cada uno de dichos al menos 3 canales de agua está unido a dicha placa de unión,  
 un dispositivo de elevación superior, colocado sobre de las varillas de combustible, que incluye un mango para agarrar y elevar un grupo de varillas de combustible,  
 una pluralidad de rejillas separadoras para sujetar las varillas de combustible, estando al menos la mayoría de las rejillas separadoras unidas a dichos al menos 3 canales de agua,  
 varillas de unión, unidas en un extremo inferior a la parte superior de dichos al menos 3 canales de agua, y un extremo superior unido a dicho dispositivo de elevación superior.

30 Tal diseño hará que sea más fácil manejar el grupo de varillas de combustible. Ya que el mango superior y el dispositivo de elevación se unen a las varillas de unión, que se unen a los canales de agua, que se unen a la placa de unión inferior, y ya que las rejillas separadoras sujetan las varillas de combustible y ya que al menos la mayoría de las rejillas separadoras se unen a los canales de agua, es posible elevar todo el grupo de varillas de combustible agarrando y elevando el mango.

40 De acuerdo con un principio de diseño, el canal de combustible está permanentemente fijado a una pieza de transición inferior, que incluye un filtro de residuos, y todo el grupo de combustible, como se ha descrito anteriormente (incluyendo el mango superior y el dispositivo de elevación, las varillas de unión, los canales de agua, la placa de unión inferior y las rejillas separadoras) se hace descender hacia el canal de combustible y descansa libremente en la parte superior de la pieza de transición.

45 De acuerdo con un principio de diseño alternativo, todo el grupo de combustible como se ha descrito anteriormente (incluyendo el mango superior y el dispositivo de elevación, las varillas de unión, los canales de agua, la placa de unión inferior y las rejillas separadoras) está permanentemente fijado a la pieza de transición, que incluye un filtro de residuos, y el canal de combustible se coloca sobre el grupo de combustible y descansa en el dispositivo de elevación superior o mango.

**Breve descripción de los dibujos**

50 La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de un conjunto de combustible de acuerdo con una realización de la invención.

55 La Fig. 2 muestra esquemáticamente una sección transversal de una realización de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente la misma sección transversal que la Fig. 2 de otra realización del conjunto de combustible de acuerdo con la invención.

60 La Fig. 4 muestra esquemáticamente la misma sección transversal que la Fig. 2 de una realización adicional del conjunto de combustible de acuerdo con la invención.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente la misma sección transversal que la Fig. 2 de otra realización adicional de un conjunto de combustible de acuerdo con la invención.

65

**Descripción de realizaciones de la invención**

A continuación, se describirá una primera realización de la invención haciendo referencia a la Fig. 1 y la Fig. 2.

5 La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista lateral de un conjunto de combustible 4 de acuerdo con una realización de la invención. El conjunto de combustible 4 comprende un número de varillas de combustible 10 y canales de agua 14. Una placa de unión inferior 20 está dispuesta por debajo de las varillas de combustible 10. Un extremo inferior de los canales de agua 14 está unido a la placa de unión 20. Sobre las varillas de combustible 10 hay dispuesto un dispositivo de elevación superior 22. El dispositivo de elevación superior 22 tiene un mango 24 para agarrar y elevar un grupo de varillas de combustible 10.

15 Las varillas de combustible 10 están sujetas mediante una pluralidad de rejillas separadoras 26. Debería apreciarse que la Fig. 1 muestra esquemáticamente solo una parte superior e inferior del conjunto de combustible 4. De acuerdo con una realización, el conjunto de combustible 4 comprende diez rejillas separadoras 26. El conjunto de combustible 4 también comprende varillas de unión 28, que en un extremo inferior están unidas a la parte superior de los canales de agua 14 y que en un extremo superior están unidas al dispositivo de elevación superior 22. Todas las rejillas separadoras 26, con una excepción, están unidas a los canales de agua 14. La rejilla separadora superior 26 está colocada al nivel de las varillas de unión 28. Todo el grupo de varillas de combustible 10 se mantiene así unido con la ayuda de los canales de agua 14, la placa de unión inferior 20, las varillas de unión 28, el dispositivo de elevación superior 22 y las rejillas separadoras 26. Es por tanto posible elevar todo el grupo de varillas de combustible 10 agarrando y elevando el mango 24.

25 Haciendo referencia además a la Fig. 2, el conjunto de combustible 4 se describirá ahora en más detalle. El conjunto de combustible 4 comprende un canal de combustible 6 que rodea el grupo de varillas de combustible 10. En la Fig. 1, el canal de combustible 6 se ha retirado de la dirección de visión para hacer que sea posible ver los componentes dispuestos dentro del canal de combustible 6. Además, en la Fig. 1 se muestran dos canales de agua 14, aunque en una vista lateral estarían parcialmente escondidos detrás de las varillas de combustible 10. El canal de combustible 6 se extiende en una dirección de longitud L. La dirección de longitud L es normalmente, cuando el conjunto de combustible 4 está en uso en un reactor nuclear, la dirección vertical. El canal de combustible 6 tiene un eje de canal de combustible central 8 en dicha dirección de longitud L.

35 En la Fig. 2, todos los pequeños círculos se refieren a varillas de combustible 10. Cada varilla de combustible 10 tiene un eje de varilla de combustible central 12 (mostrado solo para una varilla de combustible 10), que se extiende sustancialmente en la dirección de longitud L.

40 Los círculos más grandes de la Fig. 2 muestran los canales de agua 14. Los canales de agua 14 están configurados y colocados para permitir que el agua, que no está en ebullición, fluya a través de los canales de agua 14 cuando el conjunto de combustible 4 está en uso en un reactor nuclear. Cada canal de agua 14 tiene un eje de canal de agua central 16 (mostrado solo para un canal de agua 14 en la Fig. 2), que se extiende sustancialmente en la dirección de longitud L.

45 El conjunto de combustible comprende un primer grupo de varillas de combustible de longitud completa 10. Las varillas de combustible de longitud completa no están marcadas en la Fig. 2 (es decir, se muestran como círculos vacíos). Las varillas de combustible de longitud completa 10 se extienden desde una parte inferior del conjunto de combustible 4 hasta una parte superior del conjunto de combustible 4, preferentemente a través de todas las rejillas separadoras 26. Puede apreciarse que en la Fig. 1 solo se muestran las varillas de combustible de longitud completa 10.

50 El conjunto de combustible 4 también comprende un segundo grupo de varillas de combustible 10. El segundo grupo de varillas de combustible 10 se extiende desde la parte inferior del conjunto de combustible (como las varillas de combustible de longitud completa) pero no llegan tan alto como las varillas de combustible de longitud completa.

55 Las varillas de combustible 10 de dicho segundo grupo pueden tener diferentes longitudes. En la realización mostrada, algunas varillas de combustible 10 están marcadas con una raya. Estas varillas de combustible tienen una longitud de aproximadamente 9/10 de la longitud de las varillas de combustible de longitud completa. En la realización mostrada, hay diez de tales varillas de combustible. Cuando se colocan estas varillas de combustible de 9/10, se evitan las posiciones más reactivas cerca del agua que no está en ebullición, dentro de los canales de agua y fuera del canal de combustible. Esto sirve para minimizar los impactos negativos de disponer de 1/10 menos de uranio en estas varillas, a la vez que se cumple el objetivo de reducir la caída de presión cerca de la salida del conjunto.

60 Las varillas de combustible 10 marcadas con dos rayas (una cruz) tienen una longitud de aproximadamente 2/3 de la longitud de las varillas de combustible de longitud completa. En la realización mostrada, hay seis de tales varillas de combustible. Estas varillas de combustible de 2/3 están colocadas aproximadamente a medio camino entre las varillas de esquina en las filas y columnas exteriores de la disposición de varilla de combustible 11x11. Esto sirve para reducir la reactividad fría en la parte superior del grupo de combustible, lo que mejora el margen de apagado

tardío en el ciclo de combustible cuando en la distribución de energía se ha movido hacia la parte superior.

5 Las varillas de combustible 10 marcadas con tres rayas (una estrella) tienen una longitud de aproximadamente 1/3 de la longitud de las varillas de combustible de longitud completa. En la realización mostrada, hay doce de tales varillas de combustible.

10 Tal como se muestra en la Fig. 2, el conjunto de combustible 4 de acuerdo con esta realización tiene tres canales de agua 14. Cada canal de agua 14 tiene un área en sección transversal que es aproximadamente 5,5 veces el área en sección transversal de cada una de las varillas de combustible 10 (o, en el caso de que el conjunto de combustible 4 tenga varillas de combustible 10 de diferentes áreas en sección transversal, aproximadamente 5,5 veces el área en sección transversal promedio de las varillas de combustible 10).

En la realización mostrada, solo hay tres canales de agua 14, es decir, no hay canales de agua adicionales.

15 Como se muestra en la Fig. 2, hay ocho varillas de combustible 10 del tipo más corto ubicadas en la parte central, es decir, ocho varillas de combustible cortas centrales que se agrupan y forman una agrupación de varillas de combustible, de manera que cada varilla de combustible de esta agrupación esté colocada cerca de al menos otra varilla de combustible que pertenezca a esta agrupación. De estas ocho varillas de combustible 10 cortas centrales, 20 cuatro están colocadas de modo que, para cada una de estas cuatro varillas de combustible 10, la distancia entre el eje de varilla de combustible 12 y el eje de canal de combustible central 8 es más corta que la distancia entre cualquiera de los ejes de canal de agua 16 de los canales de agua 14 y el eje de canal de combustible 8. Así, estas cuatro varillas de combustible centrales cortas (en referencia a la Fig. 2) son la varilla de combustible central colocada en el eje de canal de combustible 8, la varilla de combustible colocada justo por debajo de la varilla de combustible central, la varilla de combustible colocada justo a la derecha de la varilla de combustible central y la 25 varilla de combustible colocada cerca de la varilla de combustible central, una columna a la izquierda y una fila arriba.

30 Debería mencionarse que la Fig. 2 muestra una sección transversal esquemática del conjunto de combustible 4 en la parte inferior del conjunto de combustible (donde también están presentes todas las varillas de combustible más cortas 10).

35 No hay una varilla de combustible 10 más larga (no hay varilla de combustible de 2/3, o varilla de combustible de 9/10, o varilla de combustible de longitud completa) que esté colocada más cerca del eje de canal de combustible central 8 que el eje de varilla de combustible central 12 de ninguna de las cuatro varillas de combustible cortas centrales 10 que cumplen con la anterior definición. Así, sobre las cuatro varillas de combustible centrales cortas 10, hay un espacio vacío para el agua en el conjunto de combustible 4. De hecho, hay un espacio vacío para el agua sobre todas las mencionadas ocho varillas de combustible cortas 10 ubicadas en la parte central.

40 Además de las ocho varillas de combustible ubicadas en la parte central y cortas de 1/3, hay además cuatro de tales varillas de combustible cortas 10 ubicadas en las esquinas del conjunto de combustible 4.

Cada uno de los canales de agua 14 tiene una sección transversal circular, al menos en la parte inferior del conjunto de combustible 4, donde están dispuestas las varillas de combustible más cortas centrales 10.

45 Además de las mencionadas cuatro varillas de combustible cortas centrales 10 definidas, el conjunto de combustible 4 comprende adicionalmente dos varillas de combustible, cada una de las cuales cumple con el siguiente criterio. La distancia entre el eje de varilla de combustible central 12 y el eje de canal de combustible central 8 es menor que la distancia entre el eje de canal de agua central 16, de al menos uno de los tres canales de agua 14, y el eje de canal de combustible central 8. De esta manera, en la realización mostrada, hay seis varillas de combustible 10 que 50 cumplen con el criterio mencionado. Estas varillas de combustible 10 están ubicadas dentro de las líneas discontinuas de la Fig. 2. Cada canal de agua 14 está colocado cerca de al menos dos de las cuatro varillas de combustible 10 cortas definidas y ubicadas en la parte central.

55 Como puede verse en la Fig. 2, el conjunto de combustible 4 comprende un patrón substancialmente rectangular de posiciones de varilla de combustible. Cada uno de los canales de agua 14 está colocado de manera que sustituye a cuatro varillas de combustible 10 en este patrón regular.

60 En la realización mostrada, el conjunto de combustible 4 comprende así 81 varillas de combustible de longitud completa 10, diez varillas de combustible de longitud de 9/10, seis varillas de combustible de longitud de 2/3 y doce varillas de combustible de longitud de 1/3.

En las Figs. 3, 4 y 5 se muestran otras realizaciones de la presente invención. En estas figuras, se utilizan las mismas marcas y los mismos números de referencia que en la Fig. 2. Por tanto, a continuación, se describirá únicamente en qué se diferencian estas realizaciones de la realización mostrada en la figura 2.

65



La Fig. 3 muestra una realización que se diferencia de la realización de la Fig. 2 en que las varillas de combustible 10, que tienen una longitud de aproximadamente  $2/3$  de la longitud de las varillas de combustible de longitud completa, no están colocadas cerca de la periferia del conjunto de combustible 4, pero en su lugar, están colocadas más adentro del conjunto de combustible 4. En la realización mostrada en la Fig. 2, las varillas de combustible de longitud completa que están colocadas en las filas y columnas exteriores, cerca de las varillas de combustible de longitud de  $2/3$ , están muy moderadas en la región superior (ya que hay un espacio grande para el agua cerca de estas varillas de combustible de longitud completa). Esto significa que el efecto local en la parte superior de estas varillas de combustible de longitud completa es bastante grande. Con la realización de la Fig. 3, este gran efecto local se evita.

La Fig. 4 muestra una realización que se diferencia de la realización de la Fig. 2 en que dos de las ocho varillas de combustible 10 cortas de  $1/3$  ubicadas en la parte central se han sustituido por varillas de combustible de longitud completa. Además, en la realización de la Fig. 4 hay ocho (en lugar de seis, como en la Fig. 2) varillas de combustible de longitud de  $2/3$  dispuestas en las filas y columnas exteriores. Ya que hay solo seis varillas de combustible cortas centrales de  $1/3$  en la realización de la Fig. 4, la velocidad de flujo en la región superior central se reduce. Además, con la disposición de la Fig. 4, hay una distribución más uniforme del combustible nuclear en la parte superior del conjunto de combustible en comparación con la realización de la Fig. 2.

La Fig. 5 muestra una realización que se diferencia de la realización de la Fig. 2 en que dos de las ocho varillas de combustible 10 cortas de  $1/3$  ubicadas en la parte central se han sustituido por varillas de combustible de longitud de  $2/3$ . Además, en la realización de la Fig. 5 hay solo cuatro varillas de combustible de longitud de  $2/3$  que están colocadas en las columnas y filas exteriores. En cambio, hay dos varillas de combustible de longitud de  $2/3$  que están colocadas cerca de las varillas de combustible de longitud de  $1/3$  ubicadas en la parte central (una varilla de combustible de longitud de  $2/3$  colocada en la tercera fila desde arriba y la quinta columna desde la izquierda y una varilla de combustible de longitud de  $2/3$  colocada en la quinta fila desde arriba y la tercera columna desde la izquierda). Así, en la realización de la Fig. 5, hay seis varillas de combustible de longitud de  $1/3$  ubicadas en la parte central y también cuatro varillas de combustible de longitud de  $2/3$ , es decir, juntas hacen 10 varillas de combustible más cortas que  $0,80$  de la longitud de las varillas de combustible de longitud completa, que están agrupadas entre sí de manera que forman una agrupación, en la que cada varilla de combustible de la agrupación está colocada cerca de al menos otra varilla de combustible que pertenece a la agrupación. Esta realización ha parecido conseguir un buen arreglo de las ventajas descritas en relación con las realizaciones anteriores.

Las realizaciones mostradas proporcionan conjuntos de combustible ventajosos con los que se consiguen los objetos y ventajas anteriormente descritos de la invención.

Son posibles muchas variaciones de las realizaciones ilustradas dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, el número de varillas de combustible puede variar, y el número de varillas de combustible de diferentes longitudes también puede variar. Por ejemplo, puede haber menos, o más, o ninguna en absoluto de las varillas de combustible que tengan la longitud de  $9/10$ .

Así, la presente invención no se limita a los ejemplos descritos en el presente documento, sino que puede variar y modificarse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de combustible (4) para un reactor de energía nuclear de agua en ebullición, que comprende:

5 un canal de combustible (6) que se extiende en y define una dirección de longitud (L) del conjunto de combustible (4) y que define un eje de canal de combustible central (8) que se extiende en dicha dirección de longitud, varillas de combustible (10) colocadas de manera que están rodeadas por dicho canal de combustible (6), teniendo cada varilla de combustible un eje de varilla de combustible central (12) que se extiende sustancialmente en dicha dirección de longitud,  
 10 canales de agua (14) colocados de manera que están rodeados por dicho canal de combustible, estando los canales de agua (14) configurados y colocados para, durante el funcionamiento, permitir que el agua que no hierva fluya a través de los canales de agua, teniendo cada canal de agua un eje de canal de agua central (16) que se extiende sustancialmente en dicha dirección de longitud,  
 15 en el que dichas varillas de combustible comprenden un primer grupo de varillas de combustible y un segundo grupo de varillas de combustible,  
 en el que cada varilla de combustible de dicho primer grupo es una llamada varilla de combustible de longitud completa que se extiende desde una parte inferior del conjunto de combustible hasta una parte superior del conjunto de combustible,  
 en el que cada varilla de combustible de dicho segundo grupo se extiende desde dicha parte inferior del conjunto de combustible y hacia arriba, pero no llega tal alto como dichas varillas de combustible de longitud completa,  
 20 en el que el conjunto de combustible (4) comprende al menos 3 canales de agua (14), cada uno de los cuales tiene un área en sección transversal que es al menos el doble de grande que el área en sección transversal de cada una de dichas varillas de combustible (10) o, en el caso en el que el conjunto de combustible tenga varillas de combustible con diferentes áreas en sección transversal, al menos el doble de grande que el área en sección transversal promedio de las varillas de combustible,  
 25 en el que dichos al menos 3 canales de agua (14) están colocados de manera que no hay un canal de agua adicional, cuyo eje de canal de agua central (16) está más cerca del eje de canal de combustible central (8) que el eje de canal de agua central (16) de cada uno de dichos al menos 3 canales de agua,  
 en el que el conjunto de combustible (4) comprende 3 o 4, pero no más de 4 varillas de combustible que pertenecen a dicho segundo grupo y que están colocadas de manera que el eje de varilla de combustible central (12) de cada una de estas 3 o 4 varillas de combustible está más cerca del eje de canal de combustible central (8) que cualquiera de los ejes de canal de agua (16) de los canales de agua (14), caracterizado por que el conjunto de combustible (4) comprende no más de 3 de dichos al menos 3 canales de agua (14).

35 2. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que no hay varilla de combustible de longitud completa, cuyo eje de varilla de combustible central (12) está colocado más cerca del eje de canal de combustible central (8) que el eje de varilla de combustible central (12) de cualquiera de dichas 3 o 4 varillas de combustible.

40 3. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende 4 varillas de combustible (10) que pertenecen a dicho segundo grupo y que están colocadas de manera que el eje de varilla de combustible central (12) de cada una de estas cuatro varillas de combustible esté más cerca del eje de canal de combustible central (8) que cualquiera de los ejes de canal de agua (16) de los canales de agua (14).

45 4. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una agrupación de 6 a 12, preferentemente de 6 a 10 varillas de combustible (10), en el que dicha agrupación incluye dichas 3 o 4 varillas de combustible, en el que cada varilla de combustible (10) de dicha agrupación tiene una longitud que es menor que 0,80 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa, en el que las varillas de combustible de dicha agrupación están agrupadas entre sí, de manera que cada varilla de combustible de dicha agrupación está colocada cerca de al menos otra varilla de combustible que pertenezca a dicha agrupación.

50 5. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada una de dichas 3 o 4 varillas de combustible tiene una longitud que es menor que 0,50 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa.

60 6. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con la reivindicación 5, en el que no hay una varilla de combustible que sea tal que sea mayor que 0,50 veces la longitud de dicha varilla de combustible de longitud completa, y que tiene un eje de varilla de combustible central (12) que está colocado más cerca del eje de canal de combustible central (8) que el eje de varilla de combustible central (12) de cualquiera de dichas 3 o 4 varillas de combustible.

65 7. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de dichos al menos 3 canales de agua (14) tiene un área en sección transversal que está entre 3,0 y 10,0, preferentemente entre 4,0 y 8,0 veces el área en sección transversal de cada una de dichas varillas de combustible (10), o en el caso de que el conjunto de combustible (4) tenga varillas de combustible de diferentes áreas en sección transversal, entre 3,0 y 10,0, preferentemente entre 4,0 y 8,0 veces el área en sección transversal promedio de las

varillas de combustible (10).

5 8. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de dichos al menos 3 canales de agua (14) tiene una sección transversal circular, al menos en la porción del canal de agua (14), que está ubicada al nivel de dichas 3 o 4 varillas de combustible (10).

10 9. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de combustible comprende no más de 12 varillas de combustible (10), preferentemente no más de 8 varillas de combustible, más preferentemente no más de 6 varillas de combustible, cada una de las cuales cumple con el siguiente criterio: la distancia entre el eje de varilla de combustible central (12) y el eje de canal de combustible central (8) es menor que la distancia entre el eje de canal de agua central (16), de al menos uno de dichos al menos 3 canales de agua (14), y el eje de canal de combustible central (8).

15 10. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de combustible comprende un patrón sustancialmente regular de posiciones de varilla de combustible, en el que cada uno de dichos al menos 3 canales de agua (14) está colocado de manera que sustituye a 4 varillas de combustible (10) en este patrón sustancialmente regular.

20 11. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de combustible comprende de 65 a 160, preferentemente de 100 a 120, más preferentemente de 105 a 113, más preferentemente 109 varillas de combustible (10).

25 12. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de combustible comprende de 2 a 10, preferentemente de 6 a 8 varillas de combustible (10), cada una de las cuales tiene una longitud de entre 0,59 y 0,79 veces la longitud de dichas varillas de combustible de longitud completa.

30 13. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de combustible comprende al menos 70, preferentemente al menos 80, o al menos 90 varillas de combustible de longitud completa (10).

14. Un conjunto de combustible (4) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:

35 una placa de unión inferior (20), colocada por debajo de las varillas de combustible (10), en el que un extremo inferior de cada uno de dichos al menos 3 canales de agua (14) está unido a dicha placa de unión (20),  
un dispositivo de elevación superior (22), colocado sobre las varillas de combustible (10), que incluye un mango (24) para agarrar y elevar un grupo de varillas de combustible (10),  
40 una pluralidad de rejillas separadoras (26) para sujetar las varillas de combustible (10), estando al menos la mayoría de las rejillas separadoras unidas a dichos al menos 3 canales de agua (14),  
unas varillas de unión (28), unidas en un extremo inferior a la parte superior de dichos al menos 3 canales de agua (14) y en un extremo superior unidas a dicho dispositivo de elevación superior (22).

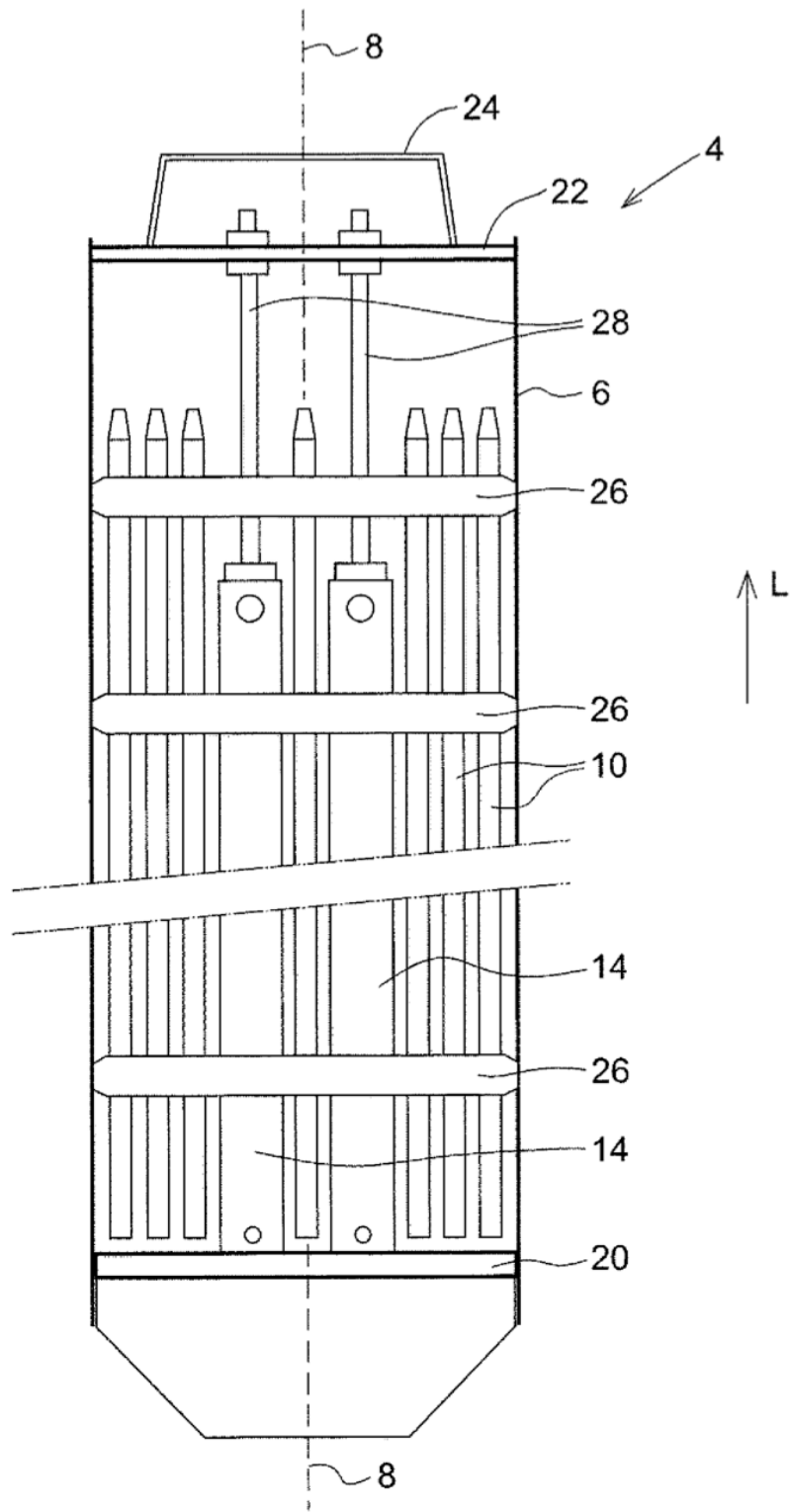


Fig. 1

