

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 800 331**

51 Int. Cl.:

**G21C 3/33** (2006.01)

**G21C 5/10** (2006.01)

**G21C 19/19** (2006.01)

**G21C 1/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.05.2017 PCT/IB2017/052606**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.11.2017 WO17191593**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2017 E 17732562 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3469596**

54 Título: **Reactor nuclear con un núcleo autoportante**

30 Prioridad:

**04.05.2016 IT UA20163713**

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

**29.12.2020**

73 Titular/es:

**CINOTTI, LUCIANO (100.0%)  
Via Vittorio Veneto 49  
16036 Recco, IT**

72 Inventor/es:

**CINOTTI, LUCIANO**

74 Agente/Representante:

**IGARTUA IRIZAR, Ismael**

ES 2 800 331 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

Reactor nuclear con un núcleo autoportante

5

### CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un reactor nuclear, en particular a un reactor nuclear formado por varios elementos combustibles caracterizados por un sistema de soporte de nueva concepción.

10

### ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

En la práctica actual, los reactores nucleares incluyen un núcleo, posicionado en la parte inferior de la vasija principal del reactor, sumergido en el fluido primario y formado por elementos combustibles soportados por una rejilla de soporte.

15

Los reactores que usan soluciones conocidas tienen diversos inconvenientes.

20

La rejilla de soporte de núcleo está anclada habitualmente al fondo de la vasija del reactor y es difícil de inspeccionar y difícil/imposible de sustituir, y, por tanto, es necesario limitar el daño ocasionado por el flujo neutrónico. Con este fin, cada elemento combustible se extiende en longitud por debajo de la parte activa para reducir el daño en la rejilla de soporte.

25

En el caso particular de usar metales pesados líquidos como el refrigerante primario, hay un acusado efecto de flotación que requiere un anclaje complicado de los elementos combustibles a su rejilla de soporte y/o un equilibrio con el uso de materiales de alta densidad, tales como tungsteno.

30

La solicitud de patente MI2008A000766 intenta dar una respuesta a este problema adoptando una estructura de soporte en el extremo superior en vez de en el extremo inferior del elemento combustible, recurriendo a una estructura con vigas que pasan a través de penetraciones realizadas en la carcasa que contiene el reactor y sobre las que descansan, y en las que cada viga de la estructura de soporte soporta una fila de elementos combustibles, que pasan a través de las mismas en una ranura ubicada por debajo del cabezal del elemento. Esta solución tiene la limitación de poder usarse sólo con elementos combustibles de patrón cuadrado, y tiene diversos inconvenientes cuando las penetraciones pasan a través de la barrera de confinamiento primaria y la necesidad de dos conjuntos de vigas deslizantes para permitir el desprendimiento del elemento combustible que va a sustituirse, siendo dichos conjuntos de vigas voluminosos e interfiriendo potencialmente con las demás estructuras ubicadas en la parte superior del reactor.

35

40

Además, GB1519546A tiene inconvenientes similares, dado que el reactor nuclear dado a conocer en el mismo tiene elementos combustibles que están alojados en camisas envolventes de combustible y suspendidos de extremos superiores de las camisas envolventes; unas unidades de mantenimiento de posición soportan mecánicamente los cabezales superiores respectivos de los elementos combustibles y sirven para mantener los elementos combustibles dentro de las camisas envolventes de combustible individuales.

45

### OBJETO DE LA INVENCION

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un reactor nuclear que supere los inconvenientes indicados de soluciones conocidas y tenga ventajas adicionales en cuanto a construcción y seguridad.

50

Por tanto, la presente invención se refiere a un reactor nuclear, tal como se define en la reivindicación adjunta 1 y, por sus características auxiliares y configuraciones de planta, en las reivindicaciones dependientes.

55

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describe en la siguiente realización no limitativa, con referencia a las figuras de los dibujos adjuntos, en los que:

60

- la Figura 1 es una vista de conjunto esquemática en sección longitudinal de un reactor nuclear según la invención;

65

- la Figura 2 es una vista esquemática ampliada en sección longitudinal del sistema de soporte de los elementos combustibles en la Figura 1;

- la Figura 3 es una vista desde arriba esquemática del sistema de soporte de los elementos combustibles en la Figura 2;
- 5 - la Figura 4 es una vista desde arriba del sistema de soporte de los elementos combustibles en la Figura 2 que muestra un elemento combustible desenganchado para llevar a cabo su sustitución;
- la Figura 5 es una vista de conjunto esquemática en sección longitudinal de una variante del reactor nuclear con un sistema de soporte para los elementos combustibles según la invención;
- 10 - la Figura 6 es una vista desde arriba del sistema de soporte de los elementos combustibles en la Figura 5;
- la Figura 7 es una vista ampliada, no a escala y en sección longitudinal, de porciones del elemento combustible que muestra, en particular, los dispositivos de expansión radial y la parte activa del núcleo en la Figura 1; y
- 15 - las Figuras 8a y 8b muestran una vista esquemática en sección transversal a lo largo de la línea I-I de los elementos combustibles en la Figura 1, respectivamente con las partes activas de los elementos combustibles adyacentes o separadas.

## 20 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Con referencia a la Figura 1, particularmente representativa de un reactor 1 nuclear refrigerado por metal líquido o sales fundidas, el reactor nuclear 1 comprende una vasija 2 sustancialmente en forma de copa o piscina y una estructura de cierre 3 colocada encima de la vasija 2; la vasija 2 contiene un núcleo 4 y una estructura de separación hidráulica 5 que delimita un colector caliente 6 y un colector frío 7 en el que circula un fluido F refrigerante primario del núcleo 4. El fluido F primario tiene una superficie libre que en el funcionamiento normal del reactor 1 está a diferentes niveles H1 y H2 en los colectores 6 y 7. La vasija 2 aloja bombas de circulación 8 para el fluido primario F, intercambiadores de calor 9 a través de los que pasa el fluido primario F y que transfieren la potencia generada en el núcleo 4 a un fluido secundario, así como otros componentes conocidos que no se muestran.

30 La estructura de separación hidráulica 5 tiene preferiblemente una forma similar a un ánfora, según la solución conocida a partir de la solicitud de patente GE2015A0000036, y está suspendida de la estructura de cierre 3 de la vasija 2.

35 Con referencia a las Figuras 2 y 3 también, una estructura de anclaje 11 para los elementos combustibles 12 está insertada en el interior de la parte superior 10 de la estructura de separación hidráulica 5.

Los elementos combustibles 12 se extienden a lo largo de ejes longitudinales y paralelos respectivos (A) y tienen partes activas 13 respectivas y partes de servicio 14 respectivas, que comprenden una base 15 y un cabezal 16, respectivamente en el fondo y la parte de arriba, y un árbol 17 de conexión entre la parte activa 13 y el cabezal 16.

45 El árbol 17 posee una determinada cantidad de flexibilidad mecánica y está insertada con su porción superior 18 en un volumen cilíndrico vacío en el interior del cabezal 16 del elemento combustible 4. Esta porción superior 18 se acopla mecánicamente al cabezal 16 mediante un acoplamiento esférico 19, no descrito con detalle ya que se trata de tecnología actual, ubicado en su extremo superior.

Las bases 15 de los elementos combustibles 12 están en contacto entre sí y, en su conjunto, constituyen un haz que está restringido radialmente por el borde interior 20 de la abertura 21 en el fondo de la estructura de separación hidráulica 5.

50 El cabezal 16 del elemento combustible 12 aloja dispositivos de soporte 22, en particular dos dispositivos de soporte verticales 23, cerca de dos esquinas opuestas de la sección hexagonal del cabezal 16, y dos dispositivos de soporte horizontales 24, cerca de otras dos esquinas opuestas del cabezal 16.

55 Los dispositivos 23 de soporte verticales están constituidos por un cuerpo principal sustancialmente cilíndrico 25 con el extremo inferior conectado mediante un pasador 26 a un elemento cilíndrico hueco de bloqueo vertical 27. El cuerpo principal 25 del elemento de soporte termina en la parte de arriba con un cabezal hexagonal 28 y comprende un fiador 29.

60 Los dispositivos de soporte verticales 23 pueden rotar aproximadamente 90° alrededor de su propio eje B, para moverse a una posición cerrada 30 en la que su proyección en un plano horizontal está contenida totalmente en el interior de la proyección 31 del cabezal 16 del elemento combustible 12, o a una posición abierta 32, mostrada por todos los demás dispositivos de soporte verticales 23 en la Figura 2, en la que el fiador 29 sobresale hacia la proyección 31 del cabezal 16 del elemento combustible 12 al que pertenece, llevando su punta 33 por encima del elemento combustible 12 adyacente o, en cuanto a los dispositivos periféricos de los elementos combustibles 12 periféricos del núcleo, enganchándose en una ranura 34 realizada en la estructura de anclaje 11 de los elementos

combustibles<sup>12</sup>. Los dispositivos de soporte verticales 23 que pertenecen al elemento combustible 12 en la posición abierta 32 impiden el movimiento hacia abajo del elemento combustible 12 que, con dichos fiadores 29 abiertos, descansa sobre los elementos combustibles 12 adyacentes. Los dispositivos de soporte verticales 23 que se proyectan hacia fuera desde los elementos combustibles 12 adyacentes por encima de un elemento combustible 12 dado impiden el movimiento hacia arriba de ese elemento combustible<sup>12</sup>.

Con todos los dispositivos de soporte 23 en la posición abierta, el núcleo 4 parece ser un único bloque en el que ningún elemento combustible 12 puede moverse hacia arriba o hacia abajo con respecto a los demás. Además, los dispositivos de soporte verticales 23 que están en una posición periférica del núcleo y en la posición abierta, y que se enganchan con las ranuras 34 en la estructura de anclaje 11 de los elementos combustibles<sup>12</sup>, impiden el movimiento vertical de todo el núcleo 4.

Los dispositivos de soporte horizontales 24 también tienen una forma sustancialmente cilíndrica y se caracterizan por al menos dos levas 35 y pueden rotar más de 90° alrededor de su propio eje C, desde una posición cerrada 36, en la que su proyección en un plano horizontal está contenida totalmente en el interior de la proyección 31 del cabezal 16 del elemento combustible 12, hasta una posición abierta 37, mostrada por todos los demás dispositivos de soporte horizontales 24 en la Figura 3, en la que la leva 35 sobresale de dicha proyección 31 para llevar una punta de extremo 38 más allá del hueco 39 entre los cabezales 16 de los elementos combustibles 12, hasta hacer contacto con dos cabezales 16, en particular contacto con una de sus caras 40 o, en cuanto a los elementos combustibles 12 periféricos, contacto con la estructura de anclaje 11 de los elementos combustibles<sup>12</sup>.

Los dispositivos de soporte verticales 23 realizan la función de restricción vertical descrita de los elementos combustibles, y los dispositivos de soporte horizontales 24 realizan, en su conjunto, la función de restricción radial de los cabezales 16 de los elementos combustibles cuando se proporciona un hueco 39 entre los mismos.

Con todos los dispositivos de soporte 22 en la posición abierta, el núcleo aparece como un único bloque anclado vertical y radialmente a la estructura de anclaje 11.

Con referencia a la Figura 4, la extracción de un elemento combustible interno genérico 41 del núcleo puede realizarse: (i) tras cerrar los dos dispositivos de soporte verticales 42a y 42b que pertenecen a elementos combustibles adyacentes, (ii) tras cerrar los dos dispositivos de soporte horizontales 43a y 43b que pertenecen al elemento combustible 41 en cuestión, y (iii) tras cerrar los cuatro dispositivos de soporte 44a, 44b, 44c y 44d que pertenecen a cuatro elementos adyacentes.

La extracción de un elemento combustible externo genérico 45 del núcleo puede realizarse: (i) tras cerrar un dispositivo de soporte vertical 46 que pertenece a un elemento adyacente, (ii) tras cerrar su propio dispositivo de soporte vertical 47 que está enganchado en la ranura 34 realizada en la estructura de soporte 11 de los elementos combustibles<sup>12</sup>, (iii) tras cerrar los dos dispositivos de soporte horizontales 48a y 48b que pertenecen al elemento combustible 45 en cuestión, y (iv) tras cerrar los dos dispositivos de soporte horizontales 49a y 49b que pertenecen a dos elementos adyacentes.

Los límites de rotación para cerrar y abrir los dispositivos de soporte horizontales 24 pueden determinarse a partir de la forma de las ranuras 34 ocupadas por los fiadores en el cabezal 16 de los elementos 12.

La apertura y el cierre de los dispositivos de soporte 22 pueden realizarse actuando sobre el cabezal hexagonal 28 mediante las pinzas de la máquina de transferencia de combustible o mediante un telemanipulador o un dispositivo proporcionado especialmente, no mostrado porque forma parte de la tecnología normal.

Con un procedimiento de extracción e inserción similar, también es posible realizar una rotación de 180° del elemento combustible. Lo previsto para el soporte del elemento combustible puede aplicarse convenientemente a otros componentes insertados en el núcleo, tales como barras de control.

Con referencia a las Figuras 5 y 6, en las que la Figura 5 es representativa principalmente de un reactor refrigerado por agua y en las que elementos con similar funciones se indican con los mismos números de referencia usados en las Figuras 1-4, unos requisitos menos estrictos permiten simplificar el sistema de soporte de los elementos combustibles<sup>12</sup>; en particular, los elementos combustibles 12 pueden tener una sección cuadrada y un control de hueco menos estricto, sin requerir una flexibilidad particular de los elementos 12 combustibles para recuperarse de una deformación o una expansión diferencial.

El soporte para los elementos combustibles 12 puede implementarse con el uso de únicamente dos dispositivos de soporte verticales 23 para cada elemento combustible 12, colocados preferiblemente cerca de la línea central de dos lados opuestos 53 del cabezal 16; la estructura de soporte 11 también puede proporcionar una función de separación hidráulica entre el colector caliente 6 y el colector frío 7.

La sustitución de un elemento combustible genérico 41 en el interior del núcleo se realiza tras cerrar dos dispositivos de soporte verticales 54a y 54b, que pertenecen respectivamente a elementos 12 adyacentes. La sustitución de un

elemento combustible genérico 55 ubicado en la periferia del núcleo se realiza: (i) tras cerrar un dispositivo de soporte vertical 56 que pertenece a un elemento combustible 12 adyacente, y (ii) tras cerrar su propio dispositivo de soporte vertical 57 que está enganchado en la ranura 34 realizada en la estructura de soporte 11 de los elementos combustibles 12.

5 Con referencia a las Figuras 1, 7, 8a y 8b, los expansores 57, caracterizados por una capacidad aumentada de expansión radial con temperatura y de los cuales se muestra una realización en la Figura 7, se aplican al árbol 17 de los elementos combustibles 12.

10 Cada árbol 17 está dotado de seis expansores 57, cada uno de los cuales se extiende en perpendicular a una cara 58 respectiva del elemento combustible 12. Cada expansor 57, que es simétrico con respecto a un plano de línea central  $\alpha$  perpendicular al árbol 17 para un rendimiento estructural mejorado, está constituido por una pluralidad de elementos de baja expansión térmica 59 con sección en forma de Z, que se alternan con elementos de alta expansión térmica 60 en forma de paralelepípedo.

15 El elemento de cierre 61 en forma de U también está compuesto por un material con un alto coeficiente de expansión térmica, con dos pernos 63 que restringen axialmente los elementos que constituyen el expansor 57 e impiden el desensamblaje.

20 El árbol 17 está dotado de una prolongación radial 64 en la que se engancha la punta radial 65 del elemento más interior 59, en cuyo extremo radial interior se engancha un elemento 60, en cuyo extremo radial exterior se engancha a su vez un segundo elemento 59, y así sucesivamente.

25 Después de un aumento de la temperatura, los elementos 60 se expanden más que el elemento estructuralmente adyacente 59 más cercano al plano de simetría, ocasionando un desplazamiento radial diferencial de las puntas radiales de los elementos 60, que se acumula para cada par de elementos 59 y 60 hasta un desplazamiento radial resultante  $\epsilon$ .

30 Los pernos 63 se enganchan en el elemento de cierre 61 con precisión, mientras que para permitir la expansión radial del expansor 57, se enganchan con los otros elementos 59 y 60 y con la prolongación radial 64 con una holgura que aumenta gradualmente a medida que se aproximan al plano de simetría  $\alpha$ .

35 El elemento elástico 66 insertado en una ranura de la prolongación radial 64 y que actúa sobre un perno 63 permite la recompactación radial del expansor 57 a medida que baja la temperatura. Los expansores se montan para mantener su proyección en el interior de la proyección horizontal del espacio ocupado por el cabezal 16 de los elementos combustibles 12 cuando están fríos, y para sobresalir de dicha proyección sólo a alta temperatura cuando realizan su función.

40 Los cabezales 16 de los elementos combustibles 12 son prácticamente isoterms con la estructura de soporte 11 porque están sumergidos en el mismo gas protector 50 del reactor por encima del nivel H1 del refrigerante primario F y, por tanto, siempre se mantienen de manera rígida en posición. Las bases 15 de los elementos combustibles están a la temperatura del colector frío 7 y a la misma temperatura que el borde interior 20 de la abertura 21 de la estructura de separación hidráulica 5 y, por tanto, pueden montarse con tolerancias pequeñas. El elemento combustible está restringido axial y radialmente en la parte de arriba y es libre para expandirse térmicamente hacia abajo. A medida que aumenta la potencia, el elemento combustible se expande radialmente más en la rejilla 51 que en la base 15. Esta expansión diferencial se acumula desde el centro hacia el exterior del núcleo y se hace posible: (i) mediante la rotación de la base 15 alrededor de sus restricciones radiales constituidas por el punto de contacto 67 con las bases de elementos adyacentes y/o con el borde interior 20 de la abertura 21, (ii) mediante la rotación del árbol 17 del elemento combustible 12 con respecto al cabezal 16 por medio del acoplamiento esférico 19, y (iii) mediante la flexión del árbol 17. Esta expansión diferencial puede amplificarse hasta un valor predeterminado  $\delta$  para la activación de los expansores 57.

55 La acción de los expansores 57 se contrarresta mediante elementos elásticos que devuelven el núcleo a la configuración compacta cuando, mediante refrigeración, termina la acción de los expansores 57. En el ejemplo mostrado, el elemento elástico está constituido por el árbol 17 del elemento combustible 12; en el caso de un elemento combustible rígido, el elemento elástico radial puede estar constituido por la estructura de soporte 11, o por elementos de retorno elásticos, no mostrados, interpuestos entre los cabezales 16 de los elementos combustibles 12.

60 El árbol 17 es hueco, con una forma sustancialmente tubular, y está conectado hidráulicamente a una estructura tubular 68 que se extiende de manera central por toda la parte activa 13 de los elementos combustibles 12. La estructura tubular 68 se caracteriza por una pluralidad de orificios pequeños 70 a lo largo de la longitud correspondiente a la parte activa 13 del elemento combustible. La estructura tubular 68 se cierra convenientemente cerrada en el fondo mediante un acoplamiento roscado con un tapón 71 que, junto con un reborde 72 realizado en la estructura tubular 68, constituye el sistema de bloqueo de la rejilla inferior 73 del elemento combustible 12. Con un acoplamiento sellado hidráulicamente entre las pinzas de la máquina de sustitución de combustible, ambas

soluciones conocidas, y el cabezal 16 del elemento combustible 12, es posible inyectar gas refrigerante a través de los orificios 70 de la estructura tubular 68 y en el interior de la parte activa 13 entre las barras de combustible 52 durante las operaciones de sustitución de combustible.

5 Las ventajas de la presente invención resultan claramente evidentes a partir de la descripción anterior:

- La rejilla de soporte del núcleo se elimina o, en el caso en el que se mantiene para un posicionamiento radial de los elementos combustibles, pierde su importancia como componente de seguridad.
- 10 - Los dispositivos de soporte 22 son una parte integral del elemento combustible 12 y se sustituyen en cada sustitución de combustible, junto con el elemento combustible 12 al que pertenecen.
- En el caso de elementos combustibles 12 que se extienden significativamente más allá de la parte activa 13, los dispositivos de soporte 22 no están sometidos a un daño neutrónico significativo y no experimentan un daño  
15 térmico significativo porque están posicionados en una zona de gas.
- Los dispositivos de soporte horizontales 24 permiten que los elementos combustibles 12 se instalen sin holgura, lo que es particularmente importante en reactores rápidos, y un desprendimiento horizontal de los cabezales 16 durante la sustitución de combustible con una liberación de los huecos 39 de tal manera que los elementos  
20 combustibles 12 pueden extraerse fácilmente, incluso en el caso de una parte activa 13 deformada y/o dimensiones aumentadas después de una irradiación neutrónica.
- La ausencia de vigas o rejillas que cuelguen por encima del núcleo 4 facilita las operaciones de sustitución de combustible y el posicionamiento de cables de instrumentación para el núcleo 4.
- 25 - El montaje sin holgura al nivel de la base 15, la rejilla superior 51 de las barras de combustible 52 y el cabezal 16 elimina el riesgo de vibración en los elementos combustibles 12 y los efectos asociados de fluctuación de la reactividad en el núcleo, que son severos en el caso de reactores rápidos.
- 30 - Cuando los dispositivos 22 toman parte en funciones de sustitución de elemento combustible, se accionan mediante actuadores de fácil acceso.
- La carga sísmica del cabezal 16 del elemento combustible se descarga sobre la estructura de soporte 11 y desde la misma sobre la estructura de cierre 3, sin ningún efecto en la parte restante del elemento combustible.
- 35 - La posibilidad de expandir la zona activa del núcleo introduce una reactividad negativa durante transitorios de calentamiento.
- La introducción de expansores 57 que, cuando la temperatura de salida del núcleo supera un valor de referencia predeterminada, amplifican la dilatación radial del núcleo y la reacción contraria de reactividad negativa asociada, introduce un factor de seguridad en el diseño del núcleo.
- 40 - El sistema de inyectar gas refrigerante a lo largo de todo el perfil axial de la parte activa 13 del elemento combustible refrigera la parte activa 13 incluso en una situación hipotética en la que el elemento combustible permanece bloqueado en una posición de sólo extracción parcial desde el fluido refrigerante primario durante la operación de sustitución; en este caso, la parte 13 activa que ha emergido del fluido refrigerante F se refrigera mediante el gas que sale por los orificios 70 que han emergido y que abandona el elemento combustible a través de los orificios en la rejilla superior 51.
- 45 - La inyección de gas refrigerante en el interior de la parte activa 13 favorece la refrigeración de las barras de combustible interiores que, a diferencia de las exteriores, no pueden refrigerarse de manera eficiente mediante una irradiación hacia fuera desde la parte activa 13.

55 Pueden realizarse modificaciones y variantes con respecto al reactor expuesto en el presente documento sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas; en particular, dependiendo del proyecto, pueden modificarse el número, la forma y la posición de los dispositivos 22, al igual que su función: dispositivos que se enganchan en la parte de arriba, o en caras o en ranuras del cabezal 16 de elementos combustibles 12 adyacentes.

REIVINDICACIONES

1. Un reactor nuclear (1), que comprende una vasija (2) que aloja un núcleo (4), que comprende un haz de elementos combustibles (12) y está sumergido en un fluido refrigerante primario (F) del núcleo (4); extendiéndose los elementos combustibles (12) a lo largo de ejes longitudinales y paralelos respectivos (A) y estando soportados mecánicamente por cabezales (16) respectivos unidos entre sí y unidos a una estructura de anclaje (11) mediante dispositivos de soporte (22) que actúan entre elementos combustibles (12) adyacentes, o que actúan entre elementos combustibles (12) situados en la periferia del núcleo (4) y la estructura de anclaje (11),  
**caracterizado porque**  
los dispositivos de soporte (22) constituyen una parte integral de los cabezales (16) de los elementos combustibles (12).
2. El reactor nuclear según la reivindicación 1, en el que los dispositivos de soporte (22) comprenden dispositivos de soporte verticales sustancialmente cilíndricos (23), dotados de un fiador (29), con la posibilidad de rotación alrededor de su eje longitudinal (B) para mantener dicho fiador (29) en una posición cerrada, en el interior del espacio horizontal (31) ocupado por el cabezal (16) del elemento combustible (12), o para mover la punta (33) de los fiadores (29) a una posición abierta, por encima del cabezal (16) de elementos combustibles (12) adyacentes o en el interior de una ranura (34) realizada en la estructura de anclaje (11).
3. El reactor nuclear según la reivindicación 1, en el que los dispositivos de soporte (22) comprenden dispositivos de soporte horizontales sustancialmente cilíndricos (24), dotados de una pluralidad de levas (35), con la posibilidad de rotación alrededor de su eje longitudinal (C) para mantener dichas levas (35) en una posición cerrada, en el interior del espacio horizontal (31) ocupado por el cabezal (16) del elemento combustible (12), o para mover la punta (38) de las levas (35) a una posición abierta, en contacto con el cabezal (16) de dos elementos combustibles (12) adyacentes o en contacto con la superficie de la estructura de anclaje (11).
4. El reactor nuclear según la reivindicación 1, en el que los dispositivos de soporte (22) comprenden dispositivos de soporte verticales (23) y dispositivos de soporte horizontales (24); y en el que es posible realizar la operación de sustitución de combustible tras cerrar todos los dispositivos de soporte (22) que actúan sobre el elemento combustible (12) que va a sustituirse y que pertenecen a elementos combustibles (12) adyacentes, tras cerrar los dispositivos de soporte horizontales (24) del elemento combustible (12) que va a sustituirse y, en cuanto a los elementos combustibles (12) periféricos del núcleo, también tras cerrar los dispositivos de soporte verticales (23) del elemento (12) que va a sustituirse y que interaccionan con las ranuras (34) de la estructura de anclaje (11).
5. El reactor nuclear según la reivindicación 4, en el que es posible, durante la operación de sustitución de combustible, posicionar verticalmente los elementos combustibles (12) depositándolos sobre los cabezales (16) de elementos combustibles (12) adyacentes, por medio de los dispositivos de soporte verticales (23), en la posición abierta, del elemento combustible (12) que va a posicionarse.
6. El reactor nuclear según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento combustible (12) está dotado de un árbol flexible (17) que tiene una porción superior (18) insertada en un volumen cilíndrico vacío en el interior del cabezal (16) del elemento combustible (12) y está acoplado mecánicamente al cabezal (16) mediante un acoplamiento esférico (19) con su porción superior (18).
7. El reactor nuclear según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las bases (15) de los elementos combustibles (12) están en contacto entre sí y se mantienen en una forma compacta mediante el contacto con un borde interior (20) de una abertura (21) en la parte inferior de la estructura de separación hidráulica (5).
8. El reactor nuclear según una de las reivindicaciones anteriores, en el que una pluralidad de expansores (57) posicionados en árboles (17) respectivos de los elementos combustibles (12) provocan una expansión del núcleo cuando se supera una temperatura predeterminada.
9. El reactor nuclear según la reivindicación 8, en el que los expansores se obtienen acoplando de manera alterna elementos de baja expansión térmica (59) con elementos de alta expansión térmica (60).
10. El reactor nuclear según la reivindicación 7, en el que la expansión del núcleo (4) se hace posible mediante la rotación de las bases (15) de los elementos combustibles (12) alrededor de restricciones radiales constituidas por los puntos respectivos de contacto (67) con las bases (15) de elementos adyacentes y/o con el borde interior (20) de la abertura (21), mediante la rotación del árbol (17) del elemento combustible (12) con respecto al cabezal (16) por medio del acoplamiento esférico (19), y mediante la flexión del árbol (17).

- 5
11. El reactor nuclear según la reivindicación 6, en el que el árbol (17) es hueco, con una forma sustancialmente tubular, y está conectado hidráulicamente en su extremo inferior a una estructura tubular (68) que se extiende de manera central por toda la parte activa (13) de los elementos combustibles (12); estando sellada hidráulicamente la estructura tubular (68) en el extremo inferior (69) y estando dotada de una pluralidad de orificios (70) a lo largo de la longitud correspondiente a la parte activa (13) del elemento combustible (12).
- 10
12. El reactor nuclear según la reivindicación 11, en el que el extremo inferior de diámetro reducido de la estructura tubular (68) se cierra mediante un tapón (71) que, junto con un reborde (72) realizado en la estructura tubular (68) donde su diámetro es reducido, constituyen el sistema de bloqueo de la rejilla inferior (73) del elemento combustible (12).
- 15
13. El reactor nuclear según la reivindicación 11, en el que mediante un acoplamiento sellado hidráulicamente entre las pinzas de la máquina de sustitución de combustible con el cabezal (16) del elemento combustible (12), es posible inyectar gas refrigerante a través de los orificios (70) de la estructura tubular (68) y en el interior de la parte activa (13) de los elementos combustibles (12) durante las operaciones de sustitución de combustible.
- 20





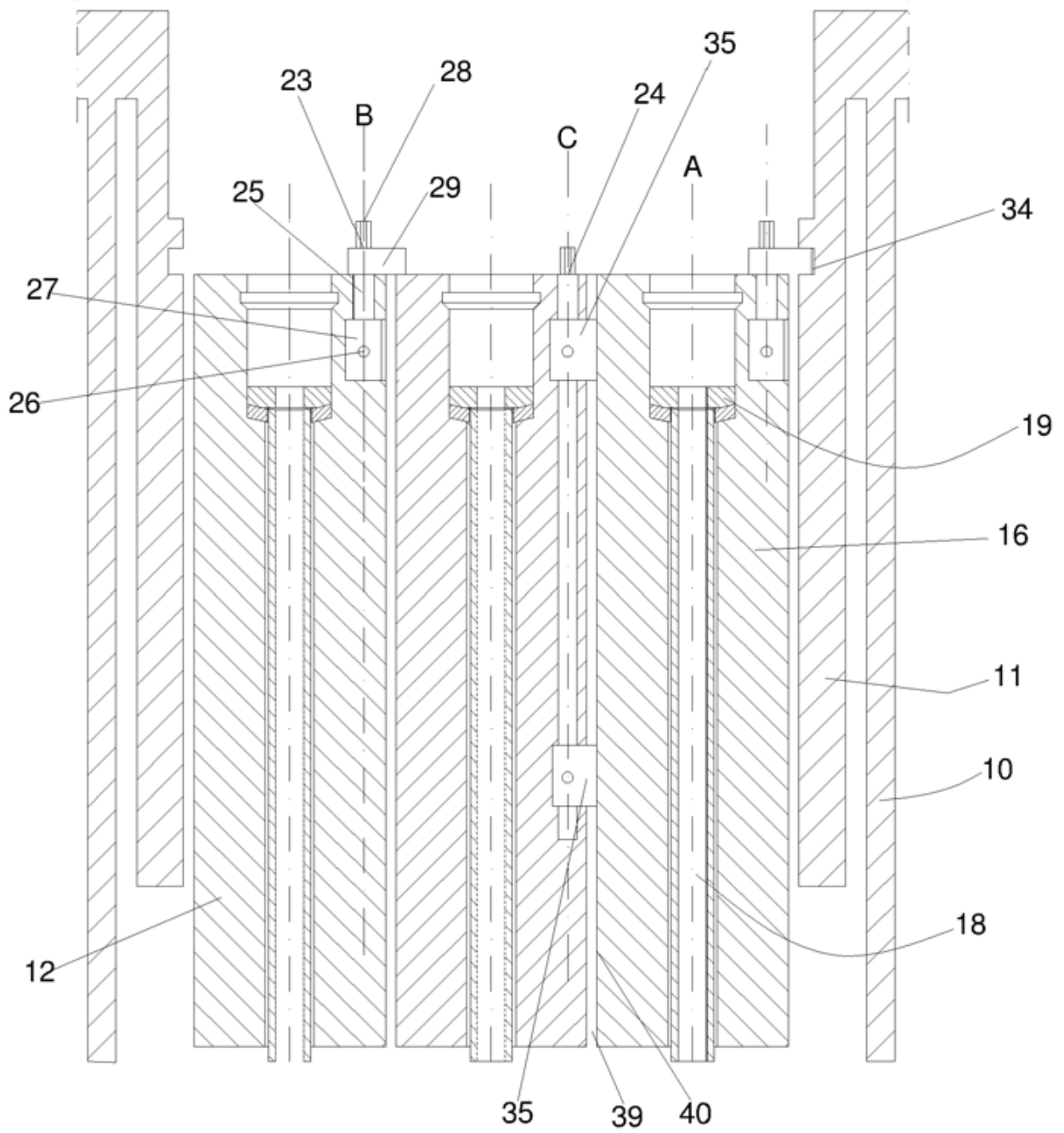


Figura 2

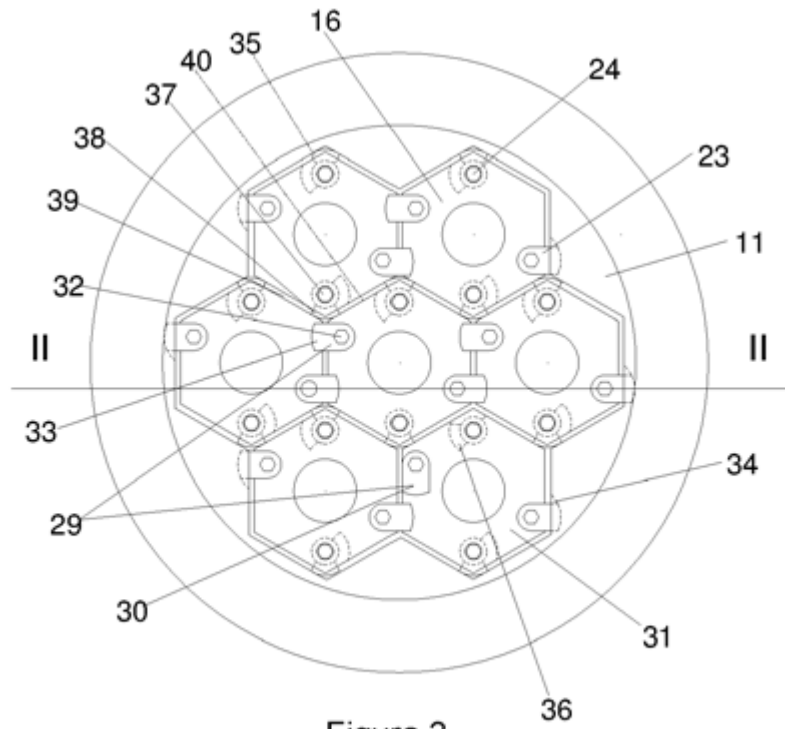


Figura 3

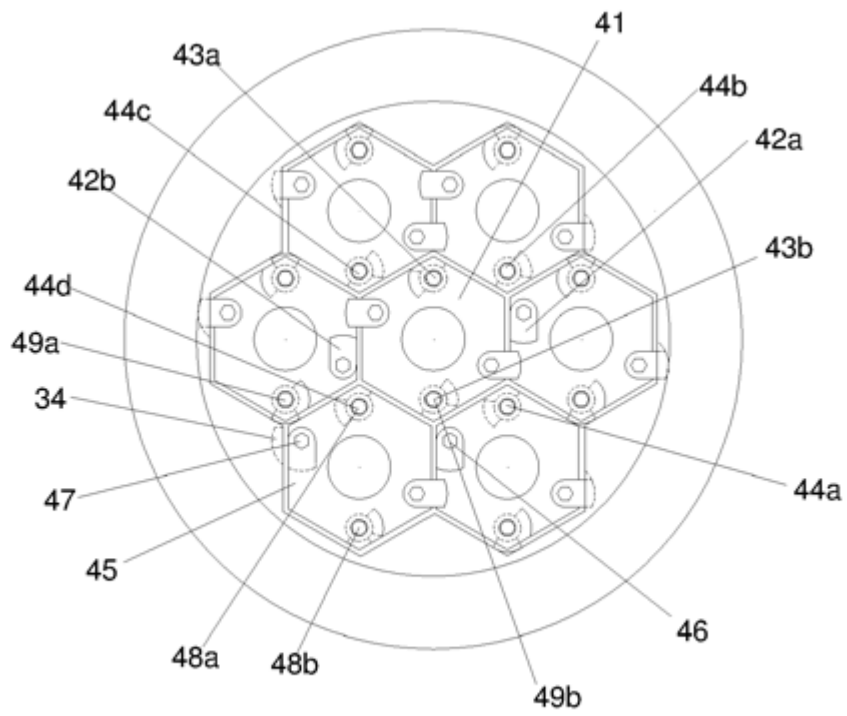


Figura 4

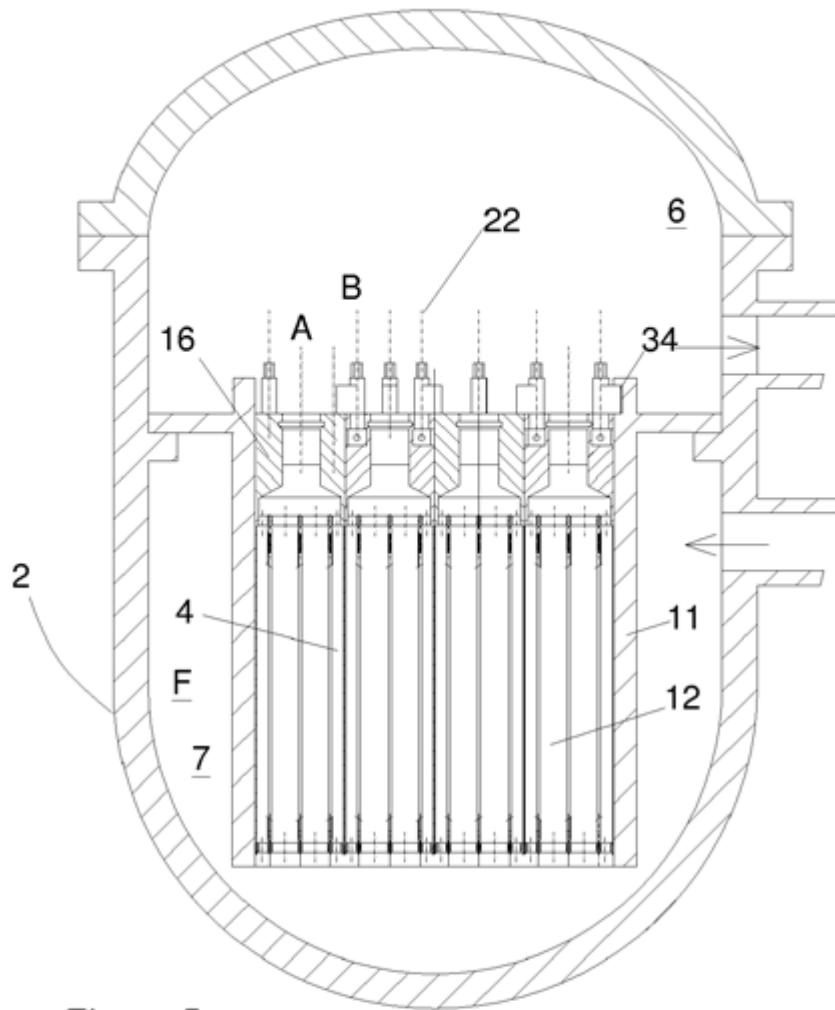


Figura 5

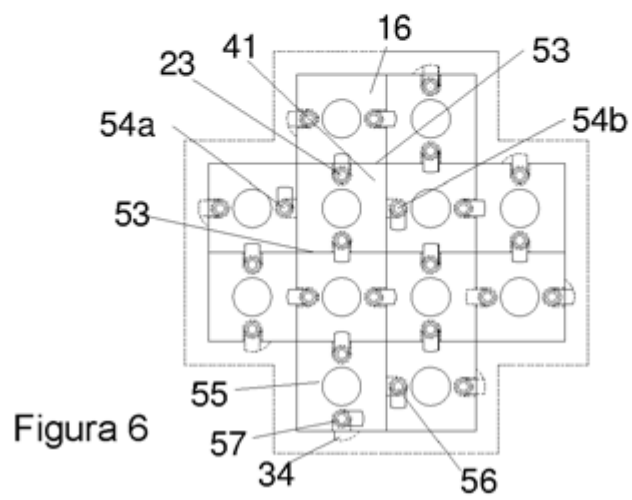


Figura 6

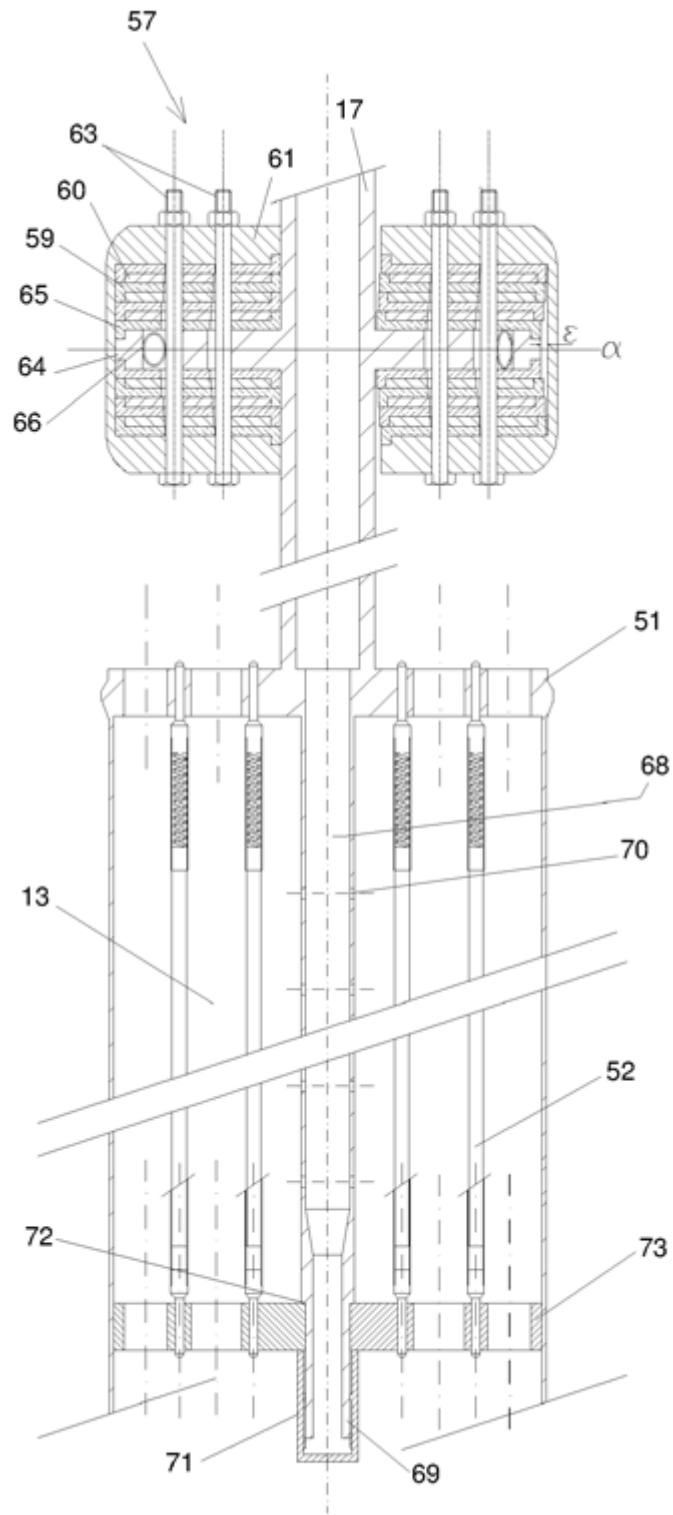


Figura 7

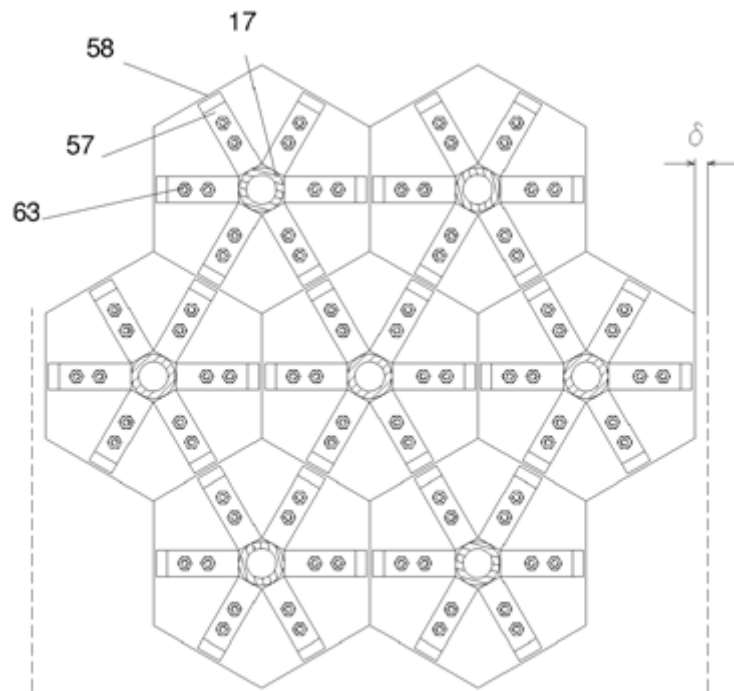


Figura 8a

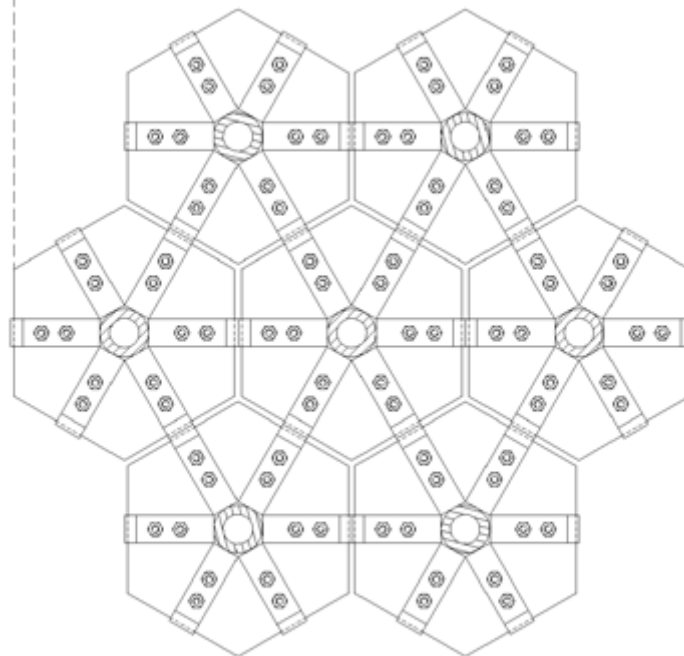


Figura 8b