

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 805**

51 Int. Cl.:

G21C 1/09 (2006.01)

G21C 1/32 (2006.01)

G21C 13/02 (2006.01)

G21C 17/116 (2006.01)

G21C 13/028 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.07.2016 PCT/EP2016/065506**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2017 WO17001663**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2016 E 16734369 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3317882**

54 Título: **Reactor nuclear con elementos calefactores alojados completamente en un presurizador integrado, procedimiento de explotación correspondiente**

30 Prioridad:

01.07.2015 FR 1556218

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

12.12.2019

73 Titular/es:

**SOCIÉTÉ TECHNIQUE POUR L'ENERGIE
ATOMIQUE (100.0%)
Route de Saint-Aubin, Lieudit Les Hautes Rives
91190 Villiers Le Bacle, FR**

72 Inventor/es:

BRUN, MICHEL

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 734 805 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 elementos calefactores alojados completamente en un presurizador integrado, procedimiento de explotación correspondiente

5

[0001] La invención se refiere en general a reactores nucleares con presurizador integrado.

[0002] Más precisamente, la invención se refiere según un primer aspecto a un reactor nuclear con presurizador integrado, del tipo:

10

- un depósito que tiene un eje central;
- un presurizador alojado en el depósito, teniendo el presurizador una zona inferior llena con un líquido primario y una zona superior llena con un vapor;
- una pluralidad de conjuntos combustibles nucleares, que forma un núcleo dispuesto en el depósito;
- 15 - una pluralidad de elementos calefactores previstos para calentar el líquido primario que llena la zona inferior del presurizador;
- al menos una fuente de corriente;
- conductores eléctricos que conectan cada elemento calefactor a la fuente de corriente eléctrica;
- una pluralidad de penetraciones eléctricas que definen pasos estancos a través del depósito.

20

[0003] Dicho reactor es conocido por ejemplo a partir del documento US2013/0308740. Este reactor incluye múltiples indicadores calefactores, dispuestos radialmente. Estos indicadores calefactores están limitados en longitud por el radio del depósito, y en diámetro para no aumentar el tamaño de los orificios del depósito en los que se acoplan. Esto conduce a densidades de potencia y espesores considerables y a espesores de aislantes minerales alrededor de cada resistencia de calentamiento en límite tecnológico. En consecuencia, las tasas de fallos de los indicadores calefactores son significativas, y provocan operaciones de mantenimiento penalizadoras para la explotación del reactor. Otro reactor nuclear con presurizador integrado es conocido gracias al documento US2013/0287157.

25

[0004] En este contexto, la invención tiene por objeto proponer un reactor nuclear cuyo mantenimiento sea facilitado.

30

[0005] A tal fin, la invención se centra en un reactor nuclear con presurizador integrado del tipo mencionado anteriormente, caracterizado porque los elementos calefactores están alojados completamente en el presurizador, siendo cada elemento calefactor conectado a uno de los conductores por medio de un punto de conexión eléctrica colocado en el interior del presurizador, y porque solo los conductores eléctricos salen del depósito por las penetraciones eléctricas.

35

[0006] De este modo, los elementos calefactores no son recibidos en los orificios que atraviesan el depósito. Los aisladores pasantes solo reciben los conductores eléctricos, y no los elementos calefactores.

40

[0007] Debido a la disposición de los elementos calefactores en el interior del presurizador, la forma y la sección de estos elementos calefactores pueden seleccionarse de manera más libre que cuando estos elementos calefactores son recibidos en los orificios del depósito. Ello permite, en particular, alargar los elementos calefactores y reducir así la densidad de potencia. Además, la sección de los elementos calefactores puede ser ampliada, y en consecuencia, el espesor de aislante eléctrico puede aumentar.

45

[0008] La fiabilidad de los elementos calefactores se aumenta así.

[0009] El reactor nuclear también puede presentar una o más de las siguientes características, consideradas por separado o según cualquiera de las combinaciones técnicamente posibles:

50

- los elementos calefactores se extienden completamente en la zona inferior del presurizador;
- cada elemento calefactor se extiende en un plano sustancialmente perpendicular al eje central;
- los elementos calefactores se extienden al menos en un plano sustancialmente perpendicular al eje central;
- 55 - cada elemento calefactor se extiende a lo largo de un arco circular centrado en el eje central;
- el depósito comprende una cúpula, el reactor nuclear comprende una placa de aislamiento térmico fijada a la cúpula, delimitando la cúpula y la placa de aislamiento térmico entre sí el presurizador, estando los elementos calefactores fijados a la placa de aislamiento térmico;
- el depósito comprende una cúpula, atravesando las penetraciones eléctricas una parte de la cúpula que delimita la zona superior del presurizador;
- 60 - el depósito comprende una parte inferior fija y una parte superior fijada de manera desmontable a la parte inferior, comprendiendo la parte superior al menos la cúpula;
- el reactor nuclear comprende entre 3 y 15 elementos calefactores;
- cada elemento calefactor incluye una envoltura externa, un cuerpo calefactor alojado en la envoltura externa, y al menos una aleta que sobresale en una superficie externa de la envoltura externa;

65

- los elementos calefactores no están dispuestos en un orificio del depósito; y
- cada elemento calefactor incluye una envoltura externa, un cuerpo calefactor alojado en la envoltura externa, estando la envoltura externa en su totalidad situada en el interior del presurizador.

5 **[0010]** Según un segundo aspecto, la invención se centra en un procedimiento de explotación de un reactor nuclear que tiene las siguientes características:

- producir energía con el reactor nuclear;
- detener la producción de energía;
- 10 - abrir el depósito del reactor;
- llevar a cabo operaciones de mantenimiento en los elementos del presurizador que incluye al menos uno de los elementos calefactores;
- llevar a cabo al mismo tiempo operaciones de mantenimiento programadas en otros componentes del reactor, en particular operaciones de reemplazo de conjuntos combustibles;
- 15 - cerrar el depósito del reactor y producir de nuevo energía con el reactor nuclear.

[0011] Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción detallada que aparece a continuación, a título indicativo y en absoluto limitativo, en referencia a las figuras anexas, entre las que:

- 20 - la figura 1 es una representación esquemática simplificada de un reactor nuclear con presurizador integrado conforme a la invención;
- la figura 2 es una vista en perspectiva del presurizador del reactor nuclear de la figura 1;
- la figura 3 es una vista en sección parcial de un elemento calefactor del presurizador de la figura 2; y
- la figura 4 es un diagrama de una etapa del procedimiento de explotación del reactor nuclear de la figura 1.

25

[0012] El reactor nuclear 1 representado en la figura 1 es un reactor de agua a presión (RAP o PWR, por sus siglas en inglés) y con presurizador integrado. El reactor nuclear 1 es del tipo conocido con la abreviatura SMR (*small and modular reactor*, o reactor pequeño y modular). Tales reactores están equipados por ejemplo de pequeñas instalaciones nucleares con una potencia de unos cientos de MWe. El reactor nuclear 1 incluye:

30

- un depósito 3,
- un presurizador 5 alojado en el depósito 3, y
- una pluralidad de conjuntos combustibles nucleares, que forma un núcleo 7 dispuesto en el depósito 3.

35 **[0013]** Como se aprecia en la figura 1, el depósito 3 presenta un eje central C sustancialmente vertical. Los términos "superior" e "inferior" serán entendidos en la presente descripción con respecto a la dirección vertical.

[0014] El depósito 3 es sustancialmente de revolución alrededor del eje central C.

40 **[0015]** Como se ha indicado anteriormente, el presurizador 5 está previsto para controlar la presión de líquido primario en el circuito primario. En el reactor 1 representado en la figura 2, del tipo SMR, el circuito primario está alojado completamente en el interior del depósito. En otros tipos de reactores, algunos elementos del circuito primario están situados en el exterior del depósito y se conectan a este depósito por conductos de circulación.

45 **[0016]** El presurizador 5 se llama "integrado" en el depósito, en el sentido en que está formado por un volumen superior del depósito 3. Incluye una zona inferior 9 llenada con el líquido primario, y una zona superior 11 llenada con un vapor. Las zonas inferior y superior 9 y 11 se comunican, y constituyen un solo volumen continuo. El vapor que llena la zona superior 11 está constantemente en equilibrio termohidráulico con el líquido primario que llena la zona inferior 9.

50

[0017] El reactor nuclear comprende aún una pluralidad de elementos calefactores 13, previstos para calentar el líquido primario que ocupa la zona inferior del presurizador.

[0018] Los elementos calefactores 13 son de tipo resistivo. De este modo, el reactor nuclear incluye al menos una fuente de corriente 15, y conductores eléctricos 17 que conectan cada elemento calefactor 13 a la fuente de corriente 15.

[0019] Según la invención, los elementos calefactores 13 están alojados completamente en el presurizador 5.

60 **[0020]** Como se aprecia en las figuras 2 y 3, cada elemento calefactor 13 incluye una envoltura 19, un cuerpo calefactor 21 alojado en la envoltura, estando cada elemento calefactor 13 y por lo tanto cada cuerpo calefactor conectado eléctricamente a uno de los conductores 17. Se entiende por "alojado completamente" en el presurizador el hecho de que la envoltura 19 en su totalidad está situada en el interior del presurizador 5. Cada elemento calefactor 13, a través del cuerpo calefactor 21 y de la envoltura 19, está conectado a uno de los conductores 17 por medio de
65 un punto de conexión eléctrica colocado en el interior del presurizador. El punto de conexión se coloca en el interior

del presurizador, ninguna de las partes de la envoltura 19 está así acoplada a través del presurizador y el depósito y no sobresale en el exterior del presurizador y el depósito. Del mismo modo, la totalidad del cuerpo calefactor 21 se aloja en el interior del presurizador. Solo los conductores eléctricos 17 salen del presurizador.

- 5 **[0021]** Los componentes que realizan el calentamiento, es decir, los elementos calefactores 13, son de este modo independientes de los compuestos que realizan la penetración eléctrica en el presurizador, es decir, los puntos de conexión y los conductores 17.
- 10 **[0022]** Cada elemento calefactor 13 es extraíble con respecto al conductor 17 al que está conectado.
- [0023]** Como se aprecia en la figura 1 y más particularmente en la figura 2, cada elemento calefactor 13 se dispone en un plano sustancialmente perpendicular al eje central C. En otras palabras, cada elemento calefactor 13 se dispone en un plano sustancialmente horizontal.
- 15 **[0024]** Así, cada elemento calefactor 13 se extiende completamente en la zona inferior 9 del presurizador, y por ende, se sumerge totalmente en el líquido primario. Tal disposición permite configurar muy libremente los elementos calefactores 13, y de darle cualquier forma adecuada. Permite en concreto conferir una gran longitud a los elementos calefactores y aumentar la superficie de intercambio térmico con el líquido, a la vez que reserva zonas de implantación para los otros equipos vinculados a (o que pasan por) la cúpula del presurizador.
- 20 **[0025]** En una realización particularmente ventajosa, cada elemento calefactor 13 se extiende a lo largo de un arco circular centrado en el eje central C. Normalmente, los elementos calefactores 13 están distribuidos en dos anillos, o en tres anillos, o en más de tres anillos. El número de elementos calefactores 13 por anillo es variable. Así, cada anillo puede incluir dos elementos calefactores 13, o tres, o más de tres.
- 25 **[0026]** En una realización, los anillos se superponen entre sí en la periferia del presurizador. Esta disposición ofrece un amplio espacio en el centro del presurizador por ejemplo para implantar huecos para los mecanismos de control.
- 30 **[0027]** En otra realización, los elementos calefactores 13 se disponen en varios anillos centrados en el eje central C, dispuestos de manera concéntrica, según varios círculos de radios crecientes en la totalidad de la superficie y en un solo nivel con el fin de favorecer los intercambios térmicos.
- [0028]** Según otra variante, los elementos calefactores 13 no se disponen según los arcos circulares sino según cualquier otra forma adecuada para los intercambios térmicos en función del diseño particular del reactor y de los dispositivos a instalar en el presurizador.
- 35 **[0029]** En una realización particularmente ventajosa, los mismos elementos calefactores 13 tienen una forma de un arco circular. Con ello se entiende que el tubo 19 está configurado en forma de arco circular.
- 40 En una variante, el elemento calefactor 13 está formado por una pluralidad de tramos rectilíneos colocados en la prolongación unos de otros, formando aproximadamente estos tramos uno tras otro un arco circular. En este ejemplo de realización, los tramos rectilíneos sucesivos forman un polígono regular.
- [0030]** El depósito 3 comprende una parte inferior fija 23 y una parte superior 25 fijada de manera extraíble en la parte inferior 23. La parte inferior 23 incluye normalmente una virola cilíndrica 27 coaxial con el eje C central, cerrada en un extremo inferior por un fondo abombado inferior 29. La virola 27 termina hacia arriba por una brida 31. Normalmente, el núcleo 7 y una parte de los internos del reactor nuclear se alojan en el interior de la parte inferior 23.
- 45 **[0031]** Además, la parte superior 25 incluye una cúpula 33. El reactor nuclear 1 incluye una placa 35 referida de aislamiento térmico dispuesta en el depósito y fijada a la cúpula 33. La cúpula 33 y la placa de aislamiento térmico 35 delimitan entre sí el presurizador 5.
- 50 **[0032]** La placa de aislamiento térmico 35 está fijada de forma desmontable a la cúpula 33. Es sensiblemente perpendicular al eje central X.
- 55 **[0033]** En la placa de aislamiento térmico 35, la parte superior 25 del depósito 3 presenta una sección interna libre de forma determinada, presentando la placa de aislamiento térmico 35 una forma combinada de dicha sección interna libre. De este modo, la placa de aislamiento térmico 35 se extiende sobre toda la sección libre. Está prevista para aislar física y térmicamente el volumen superior del depósito, que forma el presurizador 5, del volumen inferior en el que se alojan el núcleo, el o los generadores de vapor, y un determinado número de mecanismos tales que las piezas con colada de control de la reactividad del núcleo y los accionadores se prevén para desplazar estas piezas con colada.
- 60 **[0034]** La placa de aislamiento térmico 35 está perforada con aberturas que permiten que el líquido primario circule entre el volumen superior del depósito y el volumen inferior del depósito. Estas aberturas no se representan en

las figuras.

[0035] La parte superior 25 del depósito termina hacia abajo por una contrabrida 37, prevista para ser fijada de manera estanca y desmontable de la brida 31. En el ejemplo de realización ilustrado en las figuras 1 y 2, la contrabrida 5 37 es directamente solidaria con la cúpula 33. En una variante, la parte superior del depósito incluye una virola cilíndrica, que prolonga la cúpula 33 hacia abajo, siendo la contrabrida 37 solidaria con la virola.

[0036] Los elementos calefactores 13 se fijan a la placa de aislamiento térmico 35. Normalmente, se fijan a una cara superior de la placa de aislamiento térmico 35, girada hacia el presurizador 5.

10 **[0037]** A tal fin, el reactor nuclear 1 incluye un bastidor 39, fijado a la placa de aislamiento térmico 35, estando los propios elementos calefactores 13 fijados al bastidor.

[0038] Además, el reactor nuclear 1 incluye una pluralidad de penetraciones eléctricas 51 que definen pasos 15 estancos a través del presurizador y a través del depósito 3. Estas penetraciones eléctricas 51 son penetraciones eléctricas previstas para el paso estanco de los conductores eléctricos 17 a través del presurizador y a través del depósito. Es importante subrayar que solo los conductores eléctricos 17 salen del presurizador por las penetraciones eléctricas 51. Como se ha indicado anteriormente, se entiende con ello que los puntos de conexión eléctrica entre los 20 elementos calefactores y los conductores eléctricos 17 se colocan en el interior del presurizador y por ende que los elementos calefactores 13 no salgan del presurizador y por lo tanto del depósito por las penetraciones eléctricas 51.

[0039] En la realización de las figuras, cada elemento calefactor 13 no es extraíble del presurizador por la penetración eléctrica 51 del conductor eléctrico 17 al que está conectado.

25 **[0040]** El reactor nuclear también incluye aisladores pasantes de fluido 53, por ejemplo para las válvulas de seguridad.

[0041] Las penetraciones eléctricas 51 son de cualquier tipo adecuado. Por ejemplo, son del tipo descrito en el documento WO 2013/158697.

30 **[0042]** Como se aprecia en la figura 2, las penetraciones eléctricas 51 atraviesan una parte de la cúpula 33 que delimita la zona superior 11 del presurizador.

[0043] De este modo, en caso de que se produzcan fugas en las penetraciones eléctricas 51, es la fase 35 vaporosa la que escapa por las penetraciones eléctricas 51, y no el líquido primario que es conocido por ser más favorable a ello en los análisis de seguridad en comparación con la situación o la fuga en un aislador pasante que desemboca en una zona inferior 9 bañada por el líquido primario.

[0044] Normalmente, el reactor nuclear incluye una penetración eléctrica 51 para cada elemento calefactor 13.

40 **[0045]** Cada penetración eléctrica 51 incluye un tubo 57 de orientación sustancialmente paralelo al eje C. Este tubo presenta un extremo inferior 59 fijado de manera desmontable al bastidor 39. Este extremo inferior 59 está obturado por un obturador no representado, atravesado de manera estanca por los conductores 17 que se irán conectando al elemento calefactor 13 comunicado para la penetración eléctrica.

45 **[0046]** En las realizaciones que utilizan elementos calefactores que atraviesan el depósito, el número de elementos calefactores (generalmente varias decenas) se define por las limitaciones tecnológicas aplicables a estos elementos. Por el contrario, en el contexto de la invención, el número de elementos calefactores y la potencia de cada elemento calefactor se seleccionan únicamente para satisfacer los requisitos funcionales y de seguridad, en concreto:

- 50
- los diferentes tipos de calentamiento a considerar (calentamiento del líquido primario para el arranque del reactor, calentamiento prioritario, regulación de la presión, etc.);
 - los transitorios termodinámicos tolerados en caso de avería de un elemento calefactor;
 - las redundancias necesarias por razones de seguridad, etc.

55 **[0047]** Por lo tanto, normalmente, el reactor nuclear 1 comprende entre tres y quince elementos calefactores 13, y preferentemente entre seis y doce elementos calefactores 13.

[0048] En el ejemplo representado, el reactor nuclear 1 incluye doce elementos calefactores 13, que forman 60 cada uno un semicírculo.

[0049] La estructura de un elemento calefactor 13 se representa en la figura 3. Como se ha indicado más arriba, este elemento calefactor incluye una envoltura externa 19 de forma cilíndrica, y un cuerpo calefactor 21 colocado en el interior de la envoltura externa 19. La envoltura externa está fabricada de un material compatible con el fluido 65 primario, normalmente una aleación de acero inoxidable. Tiene una sección circular, u oval, o cualquier otra sección.

[0050] El cuerpo calefactor 21 incluye normalmente uno o más cables calefactores que tienen cada uno un alma metálica resistiva cubierta por una capa de aislante eléctrico.

5 **[0051]** Debido a que los elementos calefactores 13 no se disponen en un orificio del depósito con el fin de permitir su extracción para fines de mantenimiento, estos elementos calefactores pueden estar concebidos de manera diferente que los elementos calefactores normalmente usados en los presurizadores.

10 **[0052]** De hecho, los elementos calefactores normalmente usados en los presurizadores de los reactores nucleares deben cumplir una serie de limitaciones.

[0053] El diámetro exterior del elemento calefactor está limitado, de manera que no realice en el depósito orificios de gran diámetro para la introducción y la extracción de estos elementos calefactores. Limitar el diámetro de los orificios permite limitar la magnitud de las fugas en caso de accidente.

15 **[0054]** La sección del alma metálica resistiva no se puede disminuir ya que está determinada por la cantidad de corriente que circula en el elemento calefactor. Debido a las diversas limitaciones anteriores, el espesor de la capa de aislamiento eléctrico se reduce al mínimo técnicamente posible. Esto provoca una tasa de fallos significativa, que penaliza el funcionamiento del presurizador y que alarga las operaciones de mantenimiento entre ciclos.

20 **[0055]** Por el contrario, en la invención, debido a que los elementos calefactores no se han extraído por un orificio de diámetro limitado hecho en el depósito, las limitaciones de diseño para los elementos calefactores son bastante menos estrictas. Por lo tanto, es posible aumentar el diámetro exterior del elemento calefactor 13, y por ende, aumentar el espesor de la capa de aislamiento. Esto reduce la frecuencia y el número de fallos de los elementos
25 calefactores 13.

[0056] En consecuencia, se efectuará solo una inspección y/o un intercambio preventivo de los elementos calefactores durante los periodos de parada de larga duración del reactor nuclear, normalmente en un plazo de varias visitas decenales en función de las recomendaciones del proveedor. Esta intervención, que tiene lugar en la piscina
30 de intervención en los componentes activos, se acopla con los controles reglamentarios de los internos del presurizador, fuera de la vía crítica de los periodos de detención de larga duración.

[0057] En los reactores nucleares de la técnica anterior, estas operaciones de mantenimiento de los elementos calefactores se llevan a cabo principalmente de manera curativa con ocasión de las paradas entre ciclos, es decir, las
35 paradas programadas entre otras para reemplazar una parte de los conjuntos combustibles nucleares, y participan en la coactividad en la vía crítica de estas paradas.

[0058] Por ejemplo, en la invención, la envoltura externa 19 presenta un diámetro externo superior a 50 mm. La capa de aislante eléctrico presenta un espesor de varios mm.

40 **[0059]** Con el fin de mejorar las transferencias térmicas entre el elemento calefactor 13 y el líquido primario, el elemento calefactor lleva ventajosamente al menos una aleta 69 que sobresale en una superficie externa de la envoltura 19. Por ejemplo, la aleta 69 se enrolla helicoidalmente alrededor de la envoltura externa 19, y es solidaria con esta envoltura externa 19. En una variante, el elemento calefactor incluye una pluralidad de aletas 69 anulares,
45 espaciadas uniformemente unas de otras. La aleta helicoidal también puede ser reemplazada por cualquier otro tipo de forma externa, favoreciendo los intercambios térmicos entre el elemento calefactor 13 y el líquido primario.

[0060] La o las aletas 69 se forman con la envoltura externa 19, o se conectan en la envoltura externa 19.

50 **[0061]** El reactor nuclear 1 está dispuesto de tal manera que la placa de aislamiento térmico 35 sea desmontable de la cúpula 33, tras la separación de la parte inferior fija 23 y de la parte superior 25 del depósito del reactor. Esta operación se realiza normalmente en la piscina dedicada a las intervenciones de los componentes.

[0062] Normalmente, la placa de aislamiento térmico 35 y la cúpula 33 se fijan entre sí por miembros de fijación
55 extraíbles, tales como tornillos, que son accesibles una vez que se ha desmontado la parte superior del depósito.

[0063] El bastidor 39 y los elementos calefactores 13 vienen con la placa de aislamiento térmico 35. Los aisladores pasantes 51 vienen con la cúpula 33. Las penetraciones eléctricas 51 se desolidarizan del bastidor 39 antes de la separación entre la placa de aislamiento eléctrico 35 y la cúpula 33.

60 **[0064]** El procedimiento de explotación del reactor nuclear descrito anteriormente se detallará ahora a continuación, en referencia a la figura 4 en lo relativo a los periodos de parada, particularmente las paradas de larga duración. Este procedimiento incluye al menos las siguientes etapas:

65 - producir energía con el reactor nuclear (etapa 71);

- detener la producción de energía (etapa 73);
 - abrir el depósito 3 del reactor (etapa 75);
 - llevar a cabo operaciones de mantenimiento en los elementos del presurizador que incluye al menos uno de los elementos calefactores 13 (etapa 77);
- 5 - llevar a cabo al mismo tiempo operaciones de mantenimiento programadas en otros componentes del reactor, en particular operaciones de reemplazo de conjuntos combustibles (etapa 87);
- cerrar el depósito 3 del reactor (79);
 - producir de nuevo energía con el reactor nuclear (etapa 81).
- 10 **[0065]** La etapa de abertura del depósito se realiza desolidarizando la parte superior 25 del depósito 3 de la parte inferior fija 23, siendo la parte superior 25 transferida a una piscina dedicada a intervenciones en los componentes.
- [0066]** La operación de mantenimiento de los elementos calefactores se acopla a otras operaciones en la
- 15 cúpula del presurizador (normalmente de inspección reglamentaria) que requiere este desmontaje. Se realiza por ende en la piscina de intervención en los componentes, y no en el propio reactor como es el caso de los diseños usuales. Esta disposición permite por consiguiente limitar las interacciones entre dichas operaciones de mantenimiento y las realizadas en el contexto de la etapa 87, que tiene lugar en el reactor.
- 20 **[0067]** La etapa 77 incluye una subetapa 83 en la que los aislantes pasantes eléctricos 51 se desolidarizan y acto seguido la placa de aislamiento térmico 35 se separa de la cúpula 33.
- [0068]** Después de la retirada de los miembros de fijación, la placa de aislamiento térmico 35, que lleva el bastidor 39 y los elementos calefactores 13, y la cúpula 33, que lleva los aisladores pasantes 51, son alejados entre
- 25 sí, para permitir un acceso a los elementos calefactores 13.
- [0069]** La etapa de mantenimiento 77 comprende una subetapa 84 en la que se inspeccionan los elementos calefactores 13, y/o se reemplazan de manera preventiva si es necesario.
- 30 **[0070]** La etapa 77 incluye además una subetapa 85, en la que se reensambla la placa de aislamiento térmico 35 en la cúpula 33, acto seguido los aisladores pasantes eléctricos 51 se vuelven a conectar a los elementos calefactores.
- [0071]** El aumento de la fiabilidad de los elementos calefactores permite espaciar los periodos de
- 35 mantenimiento de estos elementos calefactores. Normalmente, el mantenimiento de los elementos calefactores se prevé de manera preventiva durante las visitas decenales, y no de manera curativa durante los inter ciclos, es decir, en cada parada del reactor nuclear para el reemplazo de una parte de los conjuntos combustibles.
- [0072]** Por ello es importante hacer hincapié en que la reducción del número de elementos calefactores permite
- 40 reducir el número de aisladores pasantes del depósito. Asimismo permite simplificar las conexiones eléctricas.

REIVINDICACIONES

1. Reactor nuclear con presurizador integrado, comprendiendo el reactor nuclear (1):
- 5 - un depósito (3) que tiene un eje central (C);
 un presurizador (15) alojado en el depósito (3), teniendo el presurizador (15) una zona inferior (9) llena con un líquido primario y una zona superior (11) llena con un vapor;
 - una pluralidad de conjuntos combustibles nucleares, que forma un núcleo (7) dispuesto en el depósito (3);
 - una pluralidad de elementos calefactores (13) previstos para calentar el líquido primario que llena la zona inferior (9) del presurizador;
 - al menos una fuente de corriente (15);
 - conductores eléctricos (17) que conectan cada elemento calefactor (13) a la fuente de corriente eléctrica (15);
 - una pluralidad de penetraciones eléctricas (51) que definen pasos estancos a través del depósito (3)
- 15 **caracterizado porque** los elementos calefactores (13) están alojados completamente en el presurizador (5), siendo cada elemento calefactor (13) conectado a uno de los conductores (17) por medio de un punto de conexión eléctrica colocado en el interior del presurizador, y **porque** solo los conductores eléctricos (17) salen del depósito (3) por las penetraciones eléctricas (51).
- 20 2. Reactor según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los elementos calefactores (13) se extienden completamente en la zona inferior (9) del presurizador (5).
3. Reactor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** cada elemento calefactor (13) se extiende en un plano sustancialmente perpendicular al eje central (C).
- 25 4. Reactor según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** los elementos calefactores (13) se extienden en al menos un plano sustancialmente perpendicular al eje central (C).
5. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada elemento calefactor (13) se extiende a lo largo de un arco circular centrado en el eje central (C).
- 30 6. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el depósito (3) comprende una cúpula (33), el reactor nuclear (1) comprende una placa de aislamiento térmico (35) fijada a la cúpula (33), delimitando la cúpula (33) y la placa de aislamiento térmico (35) entre sí el presurizador (5), estando los elementos calefactores (13) fijados a la placa de aislamiento térmico (35).
- 35 7. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el depósito (3) comprende una cúpula (33), atravesando las penetraciones eléctricas (51) una parte de la cúpula (33) que delimita la zona superior (11) del presurizador (5).
- 40 8. Reactor según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado porque** el depósito (3) comprende una parte inferior (23) fija y una parte superior (25) fijada de manera desmontable a la parte inferior (23), comprendiendo la parte superior (25) al menos la cúpula (23).
- 45 9. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el reactor nuclear (1) comprende entre 3 y 15 elementos calefactores (13).
10. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada elemento calefactor (13) incluye una envoltura externa (19), un cuerpo calefactor (21) alojado en la envoltura externa (19), y al menos una aleta (69) que sobresale en una superficie externa de la envoltura externa (19).
- 50 11. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los elementos calefactores (13) no se disponen en un orificio del depósito (3).
- 55 12. Reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada elemento calefactor (13) incluye una envoltura externa (19), un cuerpo calefactor (21) alojado en la envoltura externa (19), estando la envoltura externa (19) situada en su totalidad en el interior del presurizador.
13. Procedimiento de explotación de un reactor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- 60 - producir energía con el reactor nuclear (1);
 - detener la producción de energía;
 - abrir el depósito (3) del reactor (1);
- 65 - llevar a cabo operaciones de mantenimiento en los elementos del presurizador que incluye al menos uno de los

elementos calefactores (13);

- llevar a cabo al mismo tiempo operaciones de mantenimiento programadas en otros componentes del reactor, en particular operaciones de reemplazo de conjuntos combustibles;

- cerrar el depósito (3) del reactor y producir de nuevo energía con el reactor nuclear (1).

5

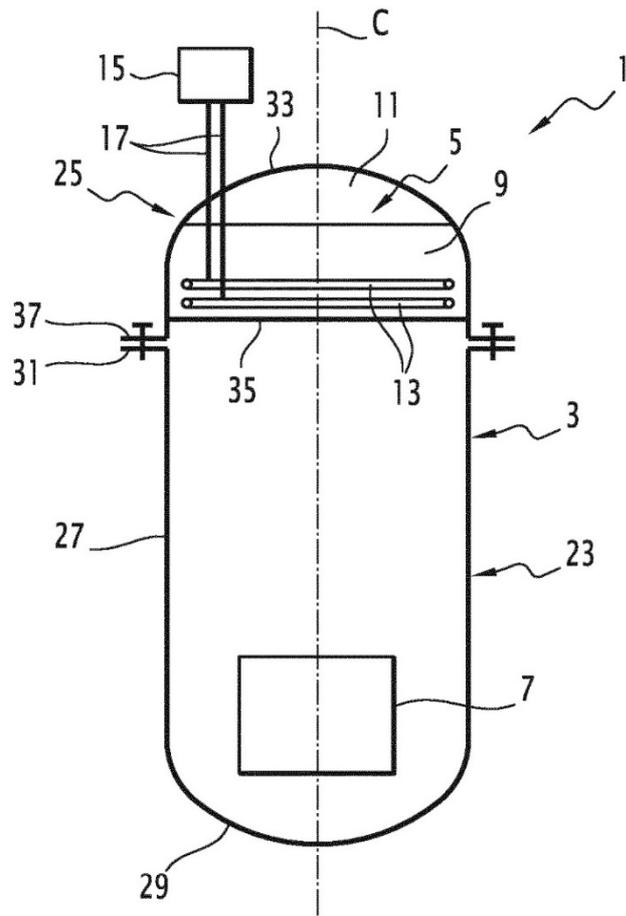


FIG. 1

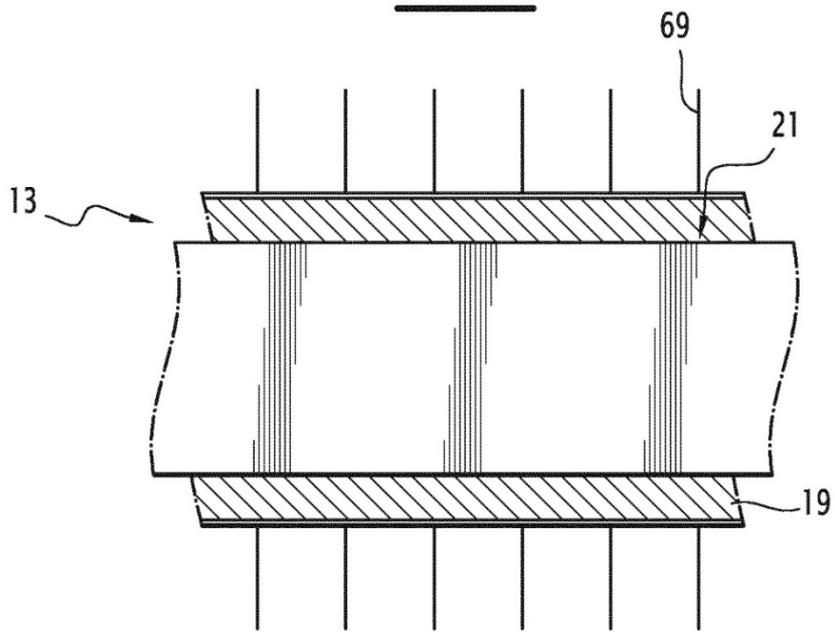


FIG. 3

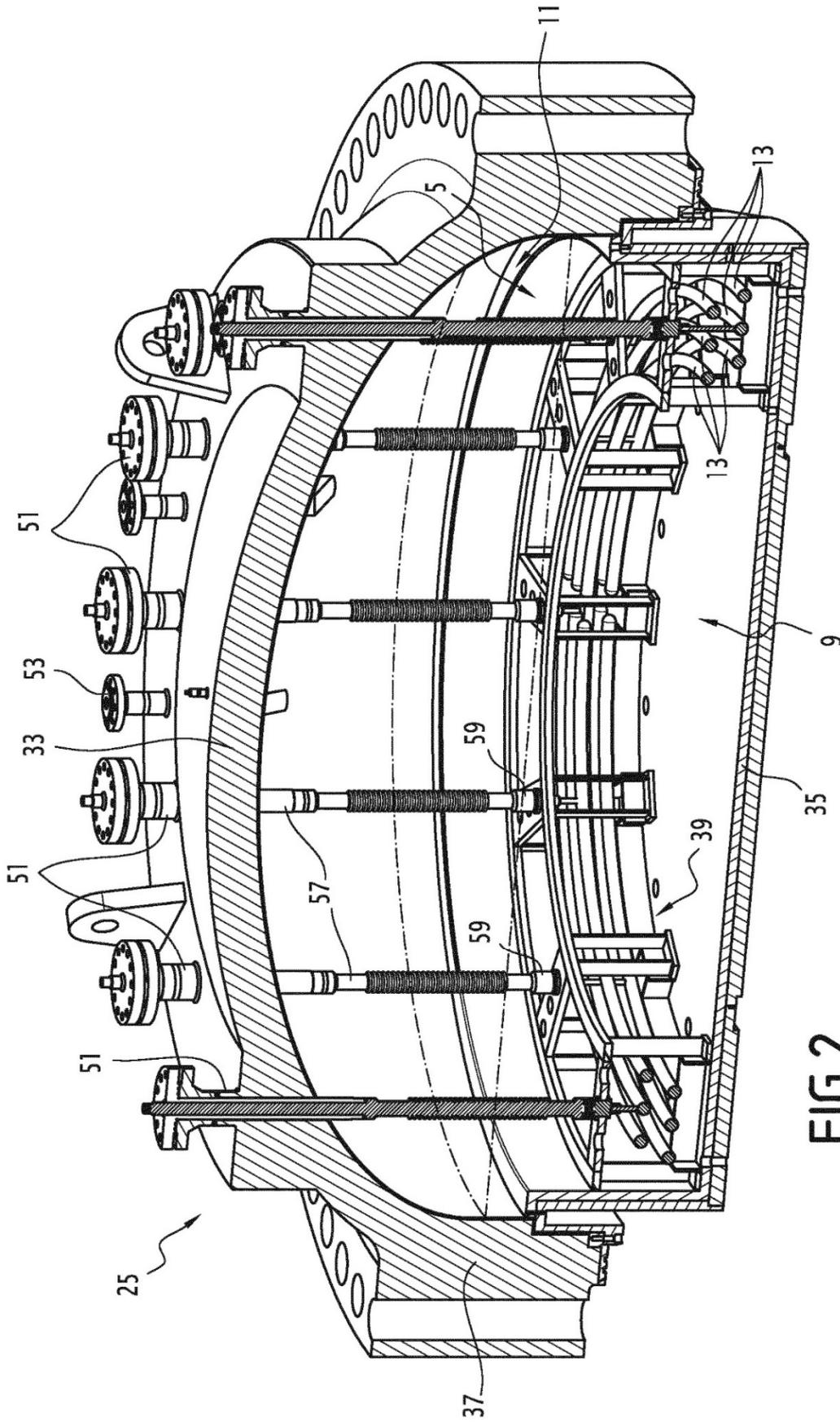


FIG. 2

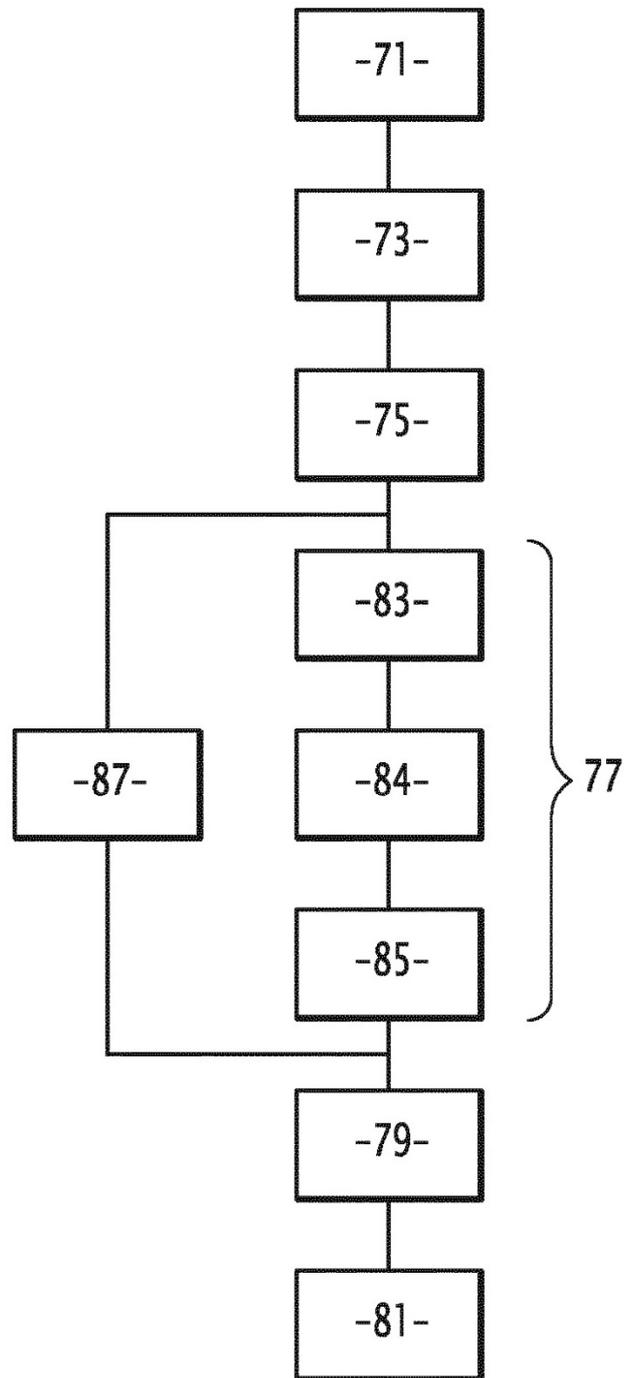


FIG.4