

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 410**

51 Int. Cl.:

G21C 15/18 (2006.01)

G21C 9/033 (2006.01)

G21D 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2012 E 12194606 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015 EP 2600351**

54 Título: **Conjunto y procedimiento de inyección de agua de un elemento absorbente de neutrones para la refrigeración de un núcleo de un reactor nuclear en situación de crisis**

30 Prioridad:

30.11.2011 FR 1160940

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

22.04.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MULLER, THIERRY;
GUILLAUME, EMILIE MAUD;
BOMBAIL, JEAN-PAUL y
GUILLODO, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 534 410 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 y procedimiento de inyección de agua de un elemento absorbente de neutrones para la refrigeración de un núcleo de un reactor nuclear en situación de crisis.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones para la refrigeración de un núcleo de reactor nuclear en situación de crisis, como por ejemplo, en caso de pérdida total de la alimentación eléctrica y de los medios de refrigeración.

10 Los reactores nucleares de agua a presión comprenden una vasija que encierra el núcleo del reactor nuclear y un circuito primario que garantiza la circulación y la refrigeración del agua a presión que entra en contacto, en el interior de la vasija, con el núcleo del reactor nuclear.

15 El circuito primario del reactor nuclear comprende por lo menos un bucle en el que está dispuesto un generador de vapor que está conectado a la vasija, directamente mediante una primera canalización, o rama caliente, que garantiza la alimentación de la parte primaria del generador de vapor con agua a presión calentada por el contacto con los ensamblajes combustibles del núcleo. La parte primaria del generador de vapor también está conectada a la vasija, con la interposición de una bomba primaria, por medio de canalizaciones de unión que comprenden, en particular, una segunda canalización o rama fría del bucle del circuito primario conectado a la vasija.

20 El agua de refrigeración a presión del reactor nuclear garantiza, en el interior de los generadores de vapor, el calentamiento y la vaporización de agua de alimentación, para producir vapor que garantiza el accionamiento de una turbina.

25 La regulación de la reactividad del núcleo del reactor nuclear, es decir, la regulación de la densidad de neutrones producidos en el núcleo del reactor nuclear en funcionamiento, se puede efectuar en particular mediante la inyección en el circuito primario de una disolución acuosa que incluye un elemento absorbente de neutrones tal como boro 10.

30 Se puede utilizar, por ejemplo, una disolución que incluye boro tal como una disolución de ácido bórico que se almacena en los acumuladores de emergencia del sistema de inyección de seguridad o en unos depósitos a presión conectados por lo menos a una de las ramas frías del circuito primario del reactor nuclear mediante una canalización de inyección en la que están dispuestos unos medios de control o de regulación tales como válvulas y un medio de inyección tal como una o varias bombas volumétricas.

35 Cuando un reactor nuclear está parado, tanto si es normal como por un accidente, es necesario evacuar la potencia residual del núcleo para evitar la fusión de los ensamblajes combustibles.

Además es necesaria una boración del circuito primario del reactor en parada para controlar la reactividad del núcleo.

40 Estas funciones deben estar garantizadas incluso en el caso en el que no estén disponibles las alimentaciones eléctricas de la central nuclear.

45 En caso de pérdida total de las alimentaciones eléctricas y de los medios de refrigeración, es necesario poner en práctica lo antes posible un medio de inyección continua de agua que contenga un elemento absorbente de neutrones, por ejemplo con un contenido mínimo de 2500 ppm de boro a la abundancia isotópica natural del boro 10, y un caudal que varía entre 20 y 90 m³ por hora. Esta inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones, y en particular boro 10, debe intervenir muy rápidamente tras la parada del reactor, más allá de la cual habrá comenzado la fusión de los ensamblajes combustibles.

50 En el caso en el que no se pueda evitar la degradación de los ensamblajes combustibles, la inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones sigue siendo necesaria con el objetivo de mantener el núcleo por debajo del umbral crítico y refrigerado. El caudal necesario evoluciona con la potencia residual presente en el núcleo del reactor nuclear.

55 Los escenarios de gestión de las situaciones de accidente previstos actualmente tienen en cuenta la pérdida total de las alimentaciones eléctricas, en los sistemas de refrigeración existentes, o la pérdida total de la fuente de frío debido, por ejemplo, a una brecha en el circuito primario principal.

60 Pero estos escenarios no prevén la acumulación de ambas cosas.

Para remediar una situación de este tipo, es necesario evacuar la potencia residual del núcleo con el fin de evitar la fusión de los ensamblajes combustibles mediante la inyección continua de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones constituido por boro.

65 Una solución consiste en utilizar unos tanques existentes en el emplazamiento que se llenarán de manera continua

en esta situación de accidente con una mezcla de agua y de boro.

Pero la dificultad reside en el transporte de una cantidad importante de agua que contiene boro y preparada fuera de la zona de reactor nuclear en situación de crisis.

5 La invención tiene como objetivo proponer un conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones que permita evitar estos inconvenientes y que pueda funcionar a pesar de la pérdida total de alimentación eléctrica del reactor nuclear.

10 La invención tiene por tanto como objeto un conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones para la refrigeración de un núcleo de reactor nuclear en situación de crisis, caracterizado por que comprende una estructura móvil que porta una tubería principal de la cual un primer extremo está destinado a ser conectado a una alimentación de agua y de la cual un segundo extremo está destinado a ser conectado a un circuito conectado al circuito primario del reactor nuclear y que comprende, entre los primer y segundo extremos con respecto al sentido de circulación del agua:

- 15 - una bomba,
- 20 - unos medios de inyección continua en el agua de la tubería principal del elemento absorbente de neutrones en forma de polvo,
- un primer sistema de mezclado y de disolución del polvo de dicho elemento absorbente de neutrones con el agua, y
- 25 - unos medios de mando y de control del caudal de agua y del caudal del polvo inyectado.

Según otras características de la invención:

- 30 - la tubería principal comprende, entre la bomba y los medios de inyección, un dispositivo de calentamiento del agua, regulado por los medios de mando,
- el conjunto comprende una tubería secundaria de la cual un primer extremo está destinado a ser conectado a una alimentación de agua y de la cual un segundo extremo está conectado a la tubería principal entre el primer sistema de mezclado y el segundo extremo de la tubería principal,
- 35 - comprendiendo dicha tubería secundaria una bomba,
- la tubería principal comprende, entre el segundo extremo de la tubería secundaria y el segundo extremo de la tubería principal, un segundo sistema de mezclado complementario del polvo del elemento absorbente de neutrones y el agua procedente de la tubería secundaria,
- 40 - el primer sistema de mezclado y de disolución está formado por un mezclador mecánico y por inductores de ultrasonidos controlados por los medios de mando,
- 45 - el segundo sistema de mezclado está formado por un mezclador mecánico, y
- el caudal de agua en la tubería principal es inferior al caudal de agua en la tubería secundaria.

50 La invención también tiene como objeto un procedimiento de refrigeración de un núcleo de reactor nuclear en situación de crisis con la ayuda de un conjunto tal como se ha mencionado anteriormente, caracterizado por que:

- se transporta la estructura móvil cerca de la construcción del reactor nuclear siniestrado,
- 55 - se conecta el primer extremo de la tubería principal a una alimentación de agua y el segundo extremo de esta tubería a un circuito conectado al circuito primario del reactor,
- se manda, mediante los medios de mando, la bomba de la tubería principal, los medios de inyección en el agua de la tubería principal del elemento absorbente de neutrones en forma de polvo, el primer sistema de mezclado y de disolución del polvo de dicho elemento absorbente de neutrones con el agua,
- 60 - se alimenta el circuito primario del reactor nuclear con el agua que contiene el elemento absorbente de neutrones para refrigerar progresivamente el núcleo del reactor nuclear, y
- 65 - se regulan mediante los medios de mando los caudales de agua y de polvo y el primer sistema de mezclado y de disolución.

Según otras características de la invención:

- 5 - se calienta el agua de la tubería principal y se regula la temperatura de esta agua mediante los medios de mando,
- el procedimiento consiste en:
 - 10 - conectar el primer extremo de la tubería secundaria a una alimentación de agua,
 - mandar mediante los medios de mando la bomba de esta tubería,
 - inyectar el agua de la tubería secundaria en la tubería principal entre el primer sistema de mezclado y de disolución y el segundo extremo de dicha tubería principal,
 - 15 - mandar, mediante los medios de mando, el segundo sistema de mezclado para efectuar un mezclado complementario del polvo con el agua,
 - alimentar el circuito principal del reactor nuclear con el agua que contiene el elemento absorbente de neutrones, y
 - 20 - regular mediante los medios de mando los caudales de agua de las tuberías principal y secundaria, el caudal de polvo y los primer y segundo sistemas de mezclado y de disolución.

25 Las características y ventajas de la invención resultarán evidentes en el transcurso de la siguiente descripción, facilitada a modo de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es un esquema de un primer modo de realización de un conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones, según la invención, y
- 30 - la figura 2 es un esquema de un segundo modo de realización de un conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones, según la invención.

35 En las figuras se han representado esquemáticamente dos modos de realización de un conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones, como por ejemplo boro 10, para la refrigeración de un núcleo de un reactor nuclear en situación de crisis, es decir, en caso de pérdida total de las alimentaciones eléctricas y de los medios de refrigeración.

Se utiliza una forma soluble de boro, por ejemplo ácido bórico o boratos.

40 En estas figuras, el núcleo del reactor nuclear está esquematizado y se designa mediante la referencia 1 y el conjunto de refrigeración representado a mayor escala se designa mediante la referencia 10.

45 El conjunto de refrigeración 10 comprende una estructura móvil 11 compacta, de peso y de volumen ocupado limitados y compatible con un transporte por vehículo terrestre o marítimo o mediante helicóptero.

Esta estructura 11 está constituida, por ejemplo, por un bastidor que porta todos los elementos que permiten refrigerar el núcleo del reactor nuclear mediante la inyección de agua dulce o de mar que contiene un elemento absorbente de neutrones, como por ejemplo boro 10.

50 Según el primer modo de realización representado en la figura 1, la estructura móvil 11 porta una tubería principal 12 de la cual un primer extremo 12a está destinado a ser conectado, por ejemplo mediante un elemento de unión de tipo conocido, a una alimentación 13 de agua dulce o de agua de mar. Esta tubería principal 12 comprende un segundo extremo 12b destinado a ser conectado a un circuito conectado al circuito primario del reactor nuclear por medio de una derivación 2 existente que permite la inyección del agua que contiene el elemento absorbente de neutrones en este circuito primario.

60 Para ello, la tubería principal 12 comprende entre los extremos primero 12a y segundo 12b, con respecto al sentido de circulación del agua, una bomba 14 y un dispositivo de calentamiento 15 del agua que circula en dicha tubería principal 12. Este dispositivo de calentamiento 15 está formado, por ejemplo, por un sistema clásico de calentamiento eléctrico anular o por cualquier otro sistema de calentamiento apropiado y de tipo conocido.

65 La tubería principal 12 también comprende, aguas abajo del dispositivo de calentamiento 15, unos medios 20 de inyección continua en el agua del elemento absorbente de neutrones en forma de polvo y un primer sistema de mezclado y de disolución 25 de este polvo en el agua.

Los medios 20 de inyección están formados, por ejemplo, por un tornillo sin fin 21 cuya entrada está conectada a

una tolva 22 en la que el polvo del elemento absorbente de neutrones se vierte de manera continua, por ejemplo mediante una desensacadora de tipo conocido, no representada.

5 El primer sistema de mezclado y de disolución 25 está formado por un mezclador mecánico que permite realizar el mezclado entre el agua y el polvo del elemento absorbente de neutrones y esta agitación mecánica se refuerza mediante unos inductores de ultrasonidos, no representados, que aumentan la eficacia de la disolución del polvo en el agua.

10 Los diferentes elementos, es decir, la marcha o la parada de la bomba 14, el dispositivo de calentamiento 15, los caudales de agua y de polvo del elemento absorbente de neutrones, el primer sistema de mezclado y de disolución 25 se regulan mediante un dispositivo de mando, de tipo conocido, no representado.

15 Así, se regulan los caudales de agua y de polvo y se calienta el agua de modo que se evite la cristalización del polvo del elemento absorbente de neutrones.

En la figura 2 se ha representado un segundo modo de realización del que los elementos comunes con el modo de realización anterior se han designado mediante las mismas referencias.

20 El conjunto de inyección 10 según el segundo modo de realización de la figura 2 también comprende una estructura móvil 11 que porta la tubería principal 12 con la bomba 14, el dispositivo de calentamiento 15, los medios 20 de inyección continua en el agua de la tubería principal del polvo del elemento absorbente de neutrones y el primer sistema de mezclado y de disolución 25 de este polvo en el agua en la tubería principal 12.

25 En este segundo modo de realización, la estructura 11 también porta una tubería secundaria 30 de la cual un primer extremo 30a está destinado a ser conectado, mediante un elemento de unión de tipo conocido, a una alimentación de agua dulce o de agua de mar. Esta tubería secundaria 30 también comprende un segundo extremo 30b conectado a la tubería principal 12 entre el primer sistema de mezclado y de disolución 25 y el segundo extremo 12b de dicha tubería principal 12. La tubería secundaria 30 también comprende una bomba 31 mandada por los medios de mando.

30 En este modo de realización de la figura 2, la tubería principal 12 comprende, entre el segundo extremo 30b de la tubería secundaria 30 y el segundo extremo 12b de la tubería principal 12, un segundo sistema de mezclado complementario 26 del polvo del elemento absorbente de neutrones y del agua procedente de dicha tubería secundaria 30.

35 Este segundo sistema de mezclado 26 está formado por un mezclador mecánico mandado también por los medios de mando.

40 De manera general, el caudal de agua de la tubería principal 12 es inferior al caudal de agua en la tubería secundaria 30. A modo de ejemplo, el caudal de agua en la tubería principal 12 está comprendido entre 0,5 y 5 l/s y el caudal de agua en la tubería secundaria está comprendido entre 10 y 50 l/s. El agua en la tubería secundaria 30 está a temperatura ambiente.

45 Haciendo referencia a continuación al modo de realización de la figura 2 se va a describir el funcionamiento del conjunto de inyección 10.

50 En el caso de un reactor nuclear en situación de crisis que haya perdido la alimentación eléctrica y los medios de refrigeración, la estructura 11 se lleva cerca de la construcción del reactor mediante un medio de transporte apropiado.

Cuando la estructura 11 está en su sitio, se conecta a una fuente de alimentación eléctrica exterior y los primeros extremos 12a y 30a, respectivamente, de la canalización principal 12 y de la canalización secundaria 30 se conectan a una alimentación de agua dulce o de agua de mar.

55 Asimismo, el segundo extremo 12b de la tubería principal 12 se conecta a un circuito que desemboca en el circuito primario del reactor nuclear.

60 A continuación, un operario acciona los medios de mando de modo que se controle la puesta en marcha de las bombas 14 y 31, del dispositivo de calentamiento 15, de los medios 20 de inyección continua en el agua de la tubería principal 12 del polvo del elemento absorbente de neutrones, así como el primer sistema de mezclado y de disolución 25 de dicho polvo y el segundo sistema de mezclado complementario 26 de este polvo.

65 El polvo se vierte de manera continua en la tolva 22 y el tornillo sin fin 21 inyecta de manera continua el polvo en el agua calentada previamente en el interior de la tubería principal 12.

La agitación mecánica efectuada por el primer sistema 25 permite realizar un mezclado instantáneo entre el agua y

el polvo y los inductores de ultrasonidos de este primer sistema 25 refuerzan la eficacia de la disolución del polvo del elemento absorbente de neutrones en el agua. El dispositivo de calentamiento 15 en línea permite aumentar la cinética de disolución del polvo del elemento absorbente de neutrones e impedir su cristalización. A modo de ejemplo, el caudal de agua en la tubería principal 12 está comprendido entre 0,5 y 5 l/s.

5 El agua que contiene el elemento absorbente de neutrones disuelto se inyecta en el segundo sistema de mezclado 26 que garantiza la dilución de esta agua que contiene el elemento absorbente de neutrones en un flujo de agua a temperatura ambiente procedente de la tubería secundaria 30 a un caudal más elevado.

10 A modo de ejemplo, el caudal de agua en la tubería secundaria 30 está comprendido entre 10 y 50 l/s.

En el segundo extremo 12b de la tubería principal 12, el agua y el elemento absorbente de neutrones disuelto en esta agua se inyecta en el circuito primario del reactor nuclear en situación de crisis con el fin de o bien impedir la fusión del núcleo mediante la refrigeración por medio del agua que contiene de manera suficiente unos elementos absorbentes de neutrones con un caudal suficiente, o bien ralentizar, incluso detener, la fusión del núcleo, en el caso en el que la puesta en servicio de este conjunto de inyección intervenga demasiado tarde para impedir un accidente grave.

15 En el caso de una estructura 11 que comprende únicamente la tubería principal 12, tal como se muestra en la figura 1, el agua que contiene el elemento absorbente de neutrones disuelto se inyecta directamente en el circuito primario del reactor nuclear a la salida del primer sistema de mezclado y de disolución 25.

Los elementos componentes del conjunto de inyección 10 se regulan mediante el dispositivo de mando con el fin de obtener una mezcla que contiene el elemento absorbente de neutrones que garantiza la captura neutrónica y que garantiza una refrigeración eficaz del núcleo del reactor nuclear.

25 El conjunto de inyección según la invención presenta la ventaja de ser compacto y de peso y de volumen ocupado compatibles con un transporte por vehículo terrestre o marítimo o incluso por helicóptero.

30 Este conjunto puede ser almacenado a distancia y ser transportado rápidamente a los emplazamientos de la central en caso de necesidad.

La utilización de un elemento de refrigeración en forma de polvo en lugar de líquido permite limitar el peso y este conjunto es compatible con una alimentación de agua de mar o de agua dulce que evita la etapa de disolución del polvo en tanques intermedios, demasiado voluminosos y que requieren un dispositivo de mezclado y de calentamiento y también un dispositivo de trasvase de agua de un tanque a otro.

35 El conjunto según la invención permite disolver directamente el elemento absorbente de neutrones en el agua e inyectar de manera continua la mezcla así obtenida al caudal requerido.

40

REIVINDICACIONES

- 5 1. Conjunto de inyección de agua que contiene un elemento absorbente de neutrones para la refrigeración de un núcleo de reactor nuclear en situación de crisis, caracterizado por que comprende una estructura (11) móvil que porta una tubería principal (12) de la cual un primer extremo (12a) está destinado a ser conectado a una alimentación de agua y de la cual un segundo extremo (12b) está destinado a ser conectado a un circuito unido al circuito primario del reactor nuclear y que comprende entre los primer (12a) y segundo (12b) extremos con respecto al sentido de circulación del agua:
- 10 - una bomba (14),
- unos medios (20) de inyección continua en el agua de la tubería principal (12) del elemento absorbente de neutrones en forma de polvo,
- 15 - un primer sistema (25) de mezclado y de disolución del polvo de dicho elemento absorbente de neutrones con el agua, y
- unos medios de mando y de control del caudal de agua y del caudal del polvo inyectado.
- 20 2. Conjunto según la reivindicación 1, caracterizado por que la tubería principal (12) comprende, entre la bomba (14) y los medios (20) de inyección, un dispositivo de calentamiento (15) del agua, regulado por los medios de mando.
- 25 3. Conjunto según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que comprende una tubería secundaria (30) de la cual un primer extremo (30a) está destinado a ser conectado a una alimentación de agua y de la cual un segundo extremo (30b) está conectado a la tubería principal (12) entre el primer sistema (25) de mezclado y el segundo extremo (12b) de la tubería principal (12), comprendiendo dicha tubería secundaria (30) una bomba (31).
- 30 4. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la tubería principal (12) comprende, entre el segundo extremo (30b) de la tubería secundaria (30) y el segundo extremo (12b) de la tubería principal (12), un segundo sistema (26) de mezclado complementario del polvo del elemento absorbente de neutrones y del agua procedente de la tubería secundaria (30).
- 35 5. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el primer sistema (25) de mezclado y de disolución está formado por un mezclador mecánico y por unos inductores de ultrasonidos mandados por los medios de mando.
- 40 6. Conjunto según la reivindicación 4, caracterizado por que el segundo sistema (26) de mezclado está formado por un mezclador mecánico.
7. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el caudal de agua en la tubería principal (12) es inferior al caudal de agua en la tubería secundaria (30).
- 45 8. Procedimiento de refrigeración de un núcleo de reactor nuclear en situación de crisis con la ayuda de un conjunto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que:
- se transporta la estructura móvil (11) cerca de la construcción del reactor nuclear siniestrado,
- 50 - se conecta el primer extremo (12a) de la tubería principal (12) a una alimentación de agua y el segundo extremo (12b) de esta tubería (12) a un circuito unido al circuito primario del reactor,
- se mandan, mediante los medios de mando, la bomba (14) de la tubería principal (12), los medios (20) de inyección en el agua de la tubería principal del elemento absorbente de neutrones en forma de polvo, el primer sistema (25) de mezclado y de disolución del polvo de dicho elemento absorbente de neutrones con el agua,
- 55 - se alimenta el circuito principal del reactor nuclear con el agua que contiene el elemento absorbente de neutrones disuelto para refrigerar progresivamente el núcleo del reactor nuclear, y
- 60 - se regulan mediante los medios de mando los caudales de agua y de polvo y el primer sistema (25) de mezclado y de disolución.
- 65 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que se calienta el agua de la tubería principal (12) y se regula la temperatura de agua mediante los medios de mando.
10. Procedimiento según la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que:

ES 2 534 410 T3

- se conecta el primer extremo (30a) de la tubería secundaria (30) a una alimentación de agua,
- 5 - se manda, mediante los medios de mando, la bomba (31) de esta tubería (30),
- se inyecta el agua de la tubería secundaria (30) en la tubería principal (12) entre el primer sistema (25) de mezclado y de disolución y el segundo extremo (12b) de dicha tubería principal (12),
- 10 - se manda, mediante los medios de mando, el segundo sistema (26) de mezclado para efectuar un mezclado complementario del polvo en el agua,
- se alimenta el circuito principal del reactor nuclear con el agua que contiene el elemento absorbente de neutrones disuelto, y
- 15 - se regulan mediante los medios de mando los caudales de agua de las tuberías principal (12) y secundaria (30), el caudal de polvo y los primer (25) y segundo (26) sistemas de mezclado y de disolución.

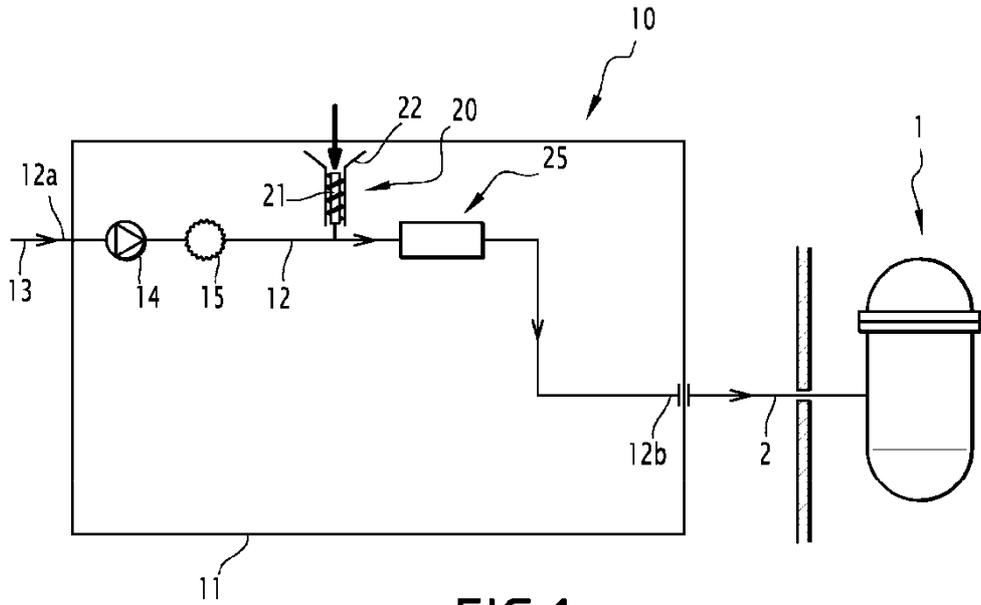


FIG.1

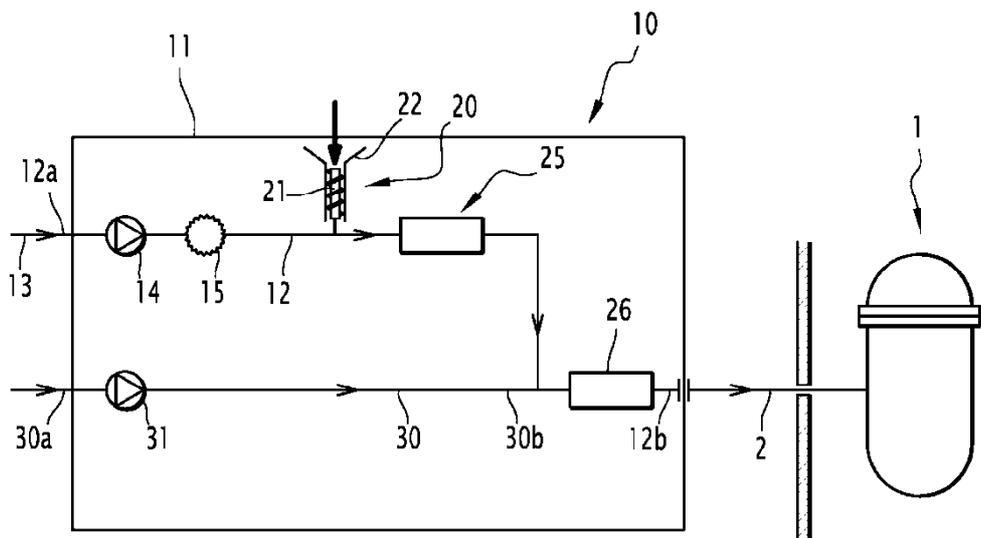


FIG.2