

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 158**

51 Int. Cl.:

G21C 11/04 (2006.01)

E04H 5/02 (2006.01)

G21C 13/024 (2006.01)

G21D 5/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.04.2017 PCT/EP2017/059066**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017 WO17178649**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.04.2017 E 17717443 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3443561**

54 Título: **Conjunto para la construcción de un reactor nuclear y procedimientos correspondientes**

30 Prioridad:

15.04.2016 FR 1653374

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.03.2021

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 2 809 158 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 para la construcción de un reactor nuclear y procedimientos correspondientes

5 **[0001]** La invención se refiere en general a la construcción de reactores nucleares, y más en particular de reactores de tipo SMR (Small and modular reactor, reactor pequeño modular).

[0002] Según un primer aspecto, la invención se refiere a un conjunto para la construcción de un reactor nuclear que forma parte de una isla nuclear en tierra, del tipo que comprende:

10

- una vasija destinada a contener un núcleo de reactor nuclear;
- una estructura prefabricada que tiene una carcasa que permite un uso de la estructura prefabricada como estructura flotante.

15 **[0003]** El principio de un conjunto prefabricado integrable en una central electronuclear en tierra es conocido por el documento EP0061573, que describe que la estructura flotante incluye todo el NSSS (Nuclear Steam Supply System o sistema de suministro de vapor nuclear). La estructura flotante constituye un pontón de tamaño muy grande y de un peso muy importante. Es transportada por flotación hasta el sitio de explotación del reactor nuclear, y se fija sobre estructuras de obra civil.

20

[0004] La estructura flotante de este documento presenta una masa que puede estimarse en al menos 15.000 toneladas. Su tamaño puede estimarse aproximadamente en 180 m de longitud, 32 m de anchura y 32 m de altura.

25 **[0005]** La estructura flotante es fabricada totalmente en un sitio de construcción dedicado y se valida funcionalmente en este mismo sitio. Este sitio de construcción representa una inversión de primer orden, tanto por su tamaño y los equipos necesarios para realizar la estructura flotante como por los medios que permiten la validación funcional de conjunto reivindicada. Dicha estrategia de construcción no se presta bien a una fabricación en serie de una pluralidad de reactores nucleares, al constituir el sitio de construcción un cuello de botella dado que no permite obtener un ritmo de fabricación elevado.

30

[0006] Finalmente, la operación de flotación de la estructura flotante hasta el sitio de explotación es extremadamente delicada debido al tamaño y al peso de la estructura flotante, como ilustran las disposiciones de desmontaje/nuevo montaje definidas en el documento EP0061573. El documento CN104299663 describe una central nuclear flotante.

35

[0007] En este contexto, la invención está dirigida a proponer un conjunto para la construcción de un reactor nuclear que no presente los defectos anteriores.

[0008] Para este fin, la invención se aplica a un conjunto del tipo citado anteriormente. En este conjunto:

40

- la estructura prefabricada comprende al menos:

* una cuba que define al menos una parte de la carcasa de la estructura prefabricada;

45 * una contención estanca, dispuesta en el interior de la cuba, estando la vasija colocada en la contención, estando la cuba prevista para la refrigeración de la contención en situación de accidente y/o estando prevista para ser una fuente fría que alimenta un circuito de enfriamiento de seguridad del reactor nuclear.

[0009] El principio que consiste en sumergir la contención de confinamiento, supuestamente metálica, en una reserva de agua que sirve como fuente fría es conocido. Así, por ejemplo:

50

- el conjunto de los reactores a bordo de submarinos se sirven del casco para asegurar la refrigeración de contención en caso de accidente,

- el documento FR2985842 usa esta reserva de agua en contacto con la contención como fuente fría para un sistema pasivo de evacuación de la potencia residual,

55

- el documento FR2985845 usa el agua de mar que rodea a la reserva interna de seguridad como fuente fría,

- el documento EP2218077 usa una contención sumergida para manejar los accidentes de sobrepresión.

60 **[0010]** La presente invención usa esta disposición de diseño del reactor final, consistente en sumergir la contención de confinamiento en una cuba que sirve como fuente fría, como disposición temporal de construcción, y usa la cuba como elemento de estructuración de la estructura flotante prefabricada.

[0011] En un primer aspecto, la presente invención reside en un conjunto según el objeto de la reivindicación 1.

65 **[0012]** El conjunto puede presentar además una o varias de las características mostradas a continuación,

consideradas individualmente o según todas las combinaciones posibles:

- la cuba incluye un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno metálico estanco que delimita interiormente la cuba, un revestimiento externo metálico que define la carcasa de la estructura flotante y
- 5 fijaciones rígidas del revestimiento interno al revestimiento externo, delimitando los revestimientos interno y externo entre sí un espacio vacío sobre el que posteriormente se verterá hormigón para asegurar la integración de la estructura prefabricada en la obra civil de la isla nuclear;
- la estructura prefabricada comprende una pluralidad de conectores internos fijados al revestimiento interno, una pluralidad de conectores externos fijados al revestimiento externo, estando cada conector interno previsto para
- 10 conectarse a una o varias líneas internas de potencia y/o de control-mando, estando cada conector externo previsto para conectarse a una o varias líneas externas de potencia y/o de control-mando, estando los conectores internos conectados eléctricamente a los conectores externos de manera que varias líneas internas que llegan a un mismo conector interno distribuyen desde conectores externos diferentes y/o que las líneas internas que llegan a conectores internos diferentes distribuyen desde un mismo conector externo;
- 15 - la estructura prefabricada comprende un canal de transferencia de elementos de combustible nuclear que define al menos una parte de la carcasa de la estructura prefabricada, y un canal de conexión para los elementos de combustibles nucleares entre por un lado la contención y por otro lado el canal de transferencia;
- el canal incluye un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno metálico que lleva una camisa que delimita interiormente el canal, un revestimiento externo metálico que define una parte de la carcasa
- 20 de la estructura prefabricada y fijaciones rígidas del revestimiento interno al revestimiento externo, delimitando los revestimientos interno y externo entre sí un espacio vacío;
- la estructura prefabricada incluye un camino de acceso previsto para el acceso del personal al interior de la contención, que desemboca por un lado en el interior de la contención y por otro lado en el exterior de la estructura prefabricada;
- 25 - el conjunto está previsto para la fabricación de un reactor nuclear en el que un fluido primario circula en el núcleo de reactor nuclear, comprendiendo el reactor nuclear una pluralidad de circuitos primarios de alta presión en los que el fluido primario circula a una presión superior a 100 bares, comprendiendo la estructura prefabricada al menos todos los circuitos primarios de alta presión, estando los circuitos primarios de alta presión alojados en el interior de la contención y/o de la vasija;
- 30 - el conjunto está previsto para la fabricación de un reactor nuclear en el que se vaporiza agua en al menos un miembro generador de vapor, comprendiendo el reactor nuclear circuitos secundarios en los que el agua en forma líquida o en vapor circula a una presión superior a 30 bares, estando los circuitos secundarios provistos cada uno de un segmento interno conectado fluidicamente con el miembro generador de vapor, de un segmento externo previsto para conectarse fluidicamente con una máquina de vapor y de al menos un miembro de corte previsto para aislar selectivamente de
- 35 forma fluidica el segmento interno del segmento externo, comprendiendo la estructura prefabricada al menos la integridad de cada segmento interno y cada miembro de corte, estando cada segmento interno y cada miembro de corte alojado en el interior de la contención y/o de la vasija; y
- la contención está exenta de los medios de manipulación necesarios en las operaciones de mantenimiento y de sustitución de los elementos de combustibles nucleares, alojados en el interior de la contención, comprendiendo la
- 40 contención una cubierta extraíble situada encima de la vasija adaptada para permitir dichas operaciones.
- la estructura prefabricada incluye un armazón metálico al que se fija la cuba, comprendiendo el conjunto flotadores fijados de manera reversible a la estructura prefabricada, asegurando el armazón metálico la absorción y la transmisión de al menos una parte de los esfuerzos entre los flotadores y la estructura prefabricada.
- 45 **[0013]** En un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de construcción de un reactor nuclear según el objeto de la reivindicación 11, comprendiendo este procedimiento las etapas siguientes:
 - fabricación de la vasija;
 - fabricación de la estructura prefabricada;
- 50 - introducción de la vasija en el interior de la contención;
- realización de estructuras de obra civil en un sitio de explotación del reactor nuclear;
- transporte por flotación de la estructura prefabricada hasta el sitio de explotación;
- fijación de la estructura prefabricada a las estructuras de obra civil.
- 55 **[0014]** El procedimiento puede presentar además una o varias de las características mostradas a continuación, consideradas individualmente o según todas las combinaciones posibles:
 - el procedimiento comprende una etapa de conexión del canal de transferencia a una piscina de almacenamiento de elementos de combustible nuclear;
 - 60 - la etapa de fabricación de la estructura prefabricada comprende una subetapa de fijación al revestimiento interno de los conectores internos, una subetapa de fijación al revestimiento externo de los conectores externos y una subetapa de realización de los cableados asociados;
 - la estructura prefabricada incluye un armazón metálico y una primera fijación de la contención al armazón, comprendiendo la etapa de fijación de la estructura prefabricada a las estructuras de obra civil la fijación del armazón
 - 65 a las estructuras de obra civil al menos por una segunda fijación desacoplada térmicamente de la primera fijación;

- se fijan flotadores reutilizables a la estructura prefabricada de manera reversible durante la etapa de flotación; y
- la etapa de realización de estructuras de obra civil comprende una subetapa de realización de una forma llena de agua, siendo la estructura prefabricada transportada hasta la forma en el curso de la etapa de flotación en una posición en la que los flotadores ocupan zonas determinadas de la forma, comprendiendo el procedimiento una etapa de construcciones de locales en dichas zonas determinadas de la forma, de manera que dichos locales acogen estructuras y circuitos del reactor nuclear no integrados en la estructura prefabricada;
- 5 - el procedimiento comprende una etapa de colada de hormigón en el espacio vacío del doble revestimiento de la cuba; y
- el procedimiento incluye además una etapa de conexión fluídica del circuito de enfriamiento de seguridad del reactor con la cuba y la vasija.

[0015] Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de construcción de una pluralidad de reactores nucleares implantados en al menos regiones primera y segunda del mundo diferentes entre sí, estando cada reactor nuclear fabricado tal como se ha descrito anteriormente:

- 15 - estando las vasijas de todos los reactores nucleares fabricadas en una misma instalación central;
- estando las estructuras prefabricadas de los reactores nucleares implantados en la primera región del mundo fabricadas en una primera instalación de integración situada en la primera región del mundo, estando las estructuras prefabricadas de los reactores nucleares implantados en la segunda región del mundo fabricadas en una segunda instalación de integración situada en la segunda región del mundo.

[0016] Así, la invención se refiere a la vez a:

- 25 - un conjunto que comprende una estructura prefabricada que permite limitar la inversión que se va a realizar para establecer la estructura industrial adaptada para la construcción del reactor nuclear;
- el procedimiento de transporte de esta estructura prefabricada que, debido a su masa/tamaño contenido, es fácil de transportar por flotación hasta el sitio final sin necesitar medios de manipulación excepcionales (por ejemplo, grúas de capacidad excepcional);
- la lógica general de los trabajos en los diferentes lugares de realización, que permite en particular solo realizar in situ operaciones menos críticas en términos de realización, y muy en particular no cargar sobre la obra civil, realizada in situ, requisitos nucleares importantes.

[0017] En la invención, la estructura prefabricada está delimitada geométricamente por la cuba que asegura la fuente fría del circuito de seguridad y/o de refrigeración de contención. Esta se encuentra bien adaptada por su naturaleza para constituir dicha carcasa, en particular cuando se realiza con tecnología Steel-Plate Reinforced Concrete (o bi-steel). Su tamaño permite constituir una estructura flotante de masa limitada, normalmente inferior a 4.000 toneladas. Las dimensiones de la estructura flotante están también reducidas con respecto al caso del documento EP0061573. La estructura flotante de la invención presenta por ejemplo una longitud de 25 m, una anchura de 20 m y una altura de 18 m, de manera que el transporte por flotación de la estructura flotante se facilita enormemente. Los valores anteriores corresponden al caso de un reactor nuclear de tipo SMR, que tiene una vasija de una altura inferior a 15 m y una potencia térmica inferior a 600 megavatios. A pesar de este requisito de contener la masa/tamaño de esta estructura prefabricada, esta puede integrar los principales equipos de los circuitos primarios y secundario principales (la vasija, los generadores de vapor, los depósitos, acumuladores...), los sensores/accionadores asociados, la contención de confinamiento resistente a las sobrepresiones de los accidentes y, por tanto, una gran parte de los componentes/operaciones críticos.

[0018] Por el contrario, la estructura prefabricada no incluye la turbina arrastrada por el vapor del circuito secundario, ni el alternador arrastrado por la turbina.

50 **[0019]** La estructura prefabricada no incluye ya los elementos de combustible nuclear que forman el núcleo del reactor nuclear. Estos se cargan en la vasija después de que la estructura prefabricada se haya integrado en la obra civil de la isla nuclear.

[0020] Como complemento, la elección de este perímetro para la estructura flotante permite asimismo simplificar considerablemente las interfaces que se realizarán in situ entre la estructura flotante y la obra civil. En particular, la obra civil realizada in situ no tiene ninguna interfaz directa de soporte con los principales componentes nucleares.

60 **[0021]** Normalmente, no tiene que resistir la sobrepresión de accidente, y se define con una estructura rectangular (sin obra civil cilíndrica), regular y bien adaptada a la prefabricación in situ.

[0022] Finalmente, la elección de no realizar en el sitio de integración la integridad del NSSS, y no buscar llegar más allá de los ensayos de fin de montaje (sin carácter funcional) al contrario que en el documento EP0061573, permite limitar la magnitud de las inversiones que se han de realizar para establecer la infraestructura industrial de integración del conjunto prefabricado, de manera que dicha infraestructura industrial se basa en las competencias y

los medios disponibles con bastante suficiencia en un astillero naval.

[0023] 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:

- 5
- la figura 1 es una representación esquemática simplificada de la isla nuclear de un reactor construida según la invención;
 - la figura 2 es una vista en perspectiva de la estructura prefabricada de la invención;
 - la figura 3 es una representación esquemática simplificada, en vista desde arriba, de varias estructuras prefabricadas
- 10 yuxtapuestas;
- la figura 4 es una vista en sección transversal, simplificada, de una parte de la estructura prefabricada, que muestra el camino de acceso a la contención;
 - la figura 5 es una representación esquemática simplificada de los protectores de interfaz que equipan la estructura prefabricada;
- 15 - la figura 6 es una vista desde abajo de la estructura prefabricada de la figura 14;
- la figura 7 es una representación esquemática simplificada del principio de anclaje de la estructura prefabricada en la obra civil;
 - la figura 8 es una representación esquemática general del procedimiento de construcción de la invención; y
 - las figuras 9 a 19 representan de manera esquemática diferentes etapas del procedimiento de construcción de la
- 20 invención.

Definiciones

[0024] Componente/operación crítico: Componente, conjunto de componentes u operación de construcción que presentan una dificultad especial para la realización debido a su importancia para la seguridad y/o del grado de calidad requerido y/o de la dificultad de garantizar los requisitos técnicos de realización y/o de la dificultad de dominar las tecnologías implementadas.

[0025] Steel-Plate-Reinforced Concrete (o bi-steel): tecnología de realización de pantallas de hormigón en la que primero se colocan dos paredes metálicas paralelas, y a continuación se rellena de hormigón el espacio que separa las dos paredes (véase por ejemplo el documento US-DOE MPR-2610 de septiembre de 2004).

[0026] NSSS: (como recordatorio, término usado en el documento EP0061573 pero no usado para describir la invención) Nuclear Steam Supply System, o sistema de suministro de vapor nuclear. Según la definición de la Comisión de Regulación Nuclear de los Estados Unidos (US-Nuclear Regulatory Commission): el reactor y las bombas de enfriamiento del reactor (y los generadores de vapor para los reactores de agua a presión) y las conducciones asociadas, en una central nuclear, usados para generar el vapor necesario para arrastrar un turbogenerador.

[0027] NI (Nuclear Island, o isla nuclear): en el presente documento, edificio que agrupa uno o varios reactores así como una o varias piscinas para el almacenamiento de los elementos de combustible nuclear y para la intervención en equipos irradiados así como una instalación de almacenamiento y/o tratamiento de los efluentes.

[0028] La invención se refiere a un conjunto 1 previsto para la construcción de un reactor nuclear que forma parte de una isla nuclear en tierra, y a un procedimiento de construcción de un reactor nuclear que forma parte de una isla nuclear en tierra con ayuda de este conjunto. Este reactor nuclear es normalmente un SMR (Small and Modular Reactor o reactor pequeño y modular). Este reactor tiene normalmente una potencia inferior a 600 megavatios térmicos.

[0029] Un aspecto importante de la invención consiste en una definición particular de los diferentes componentes del conjunto 1 para permitir la distribución de la fabricación y del elemento de los diferentes componentes entre diferentes sitios, con el fin de alcanzar varios objetivos:

- Llevar a cabo en instalaciones dedicadas, distintas al sitio de explotación del reactor nuclear, la realización, el montaje (integración parcial) y la prevalidación de todos los componentes/operaciones críticos. La distribución de la fabricación/montaje entre uno o varios sitios especializados, propuesta por la innovación, asegura la capitalización de la experiencia adquirida (efecto de aprendizaje) para permitir una disminución de los costes, riesgos y plazos de construcción;
- Limitar los cuellos de botella que representarían las instalaciones industriales dedicadas lo que permite una integración casi total del NSSS (como propone el documento EP0061573 o los proyectos de pontones/barcos listos para conectar la red). La invención permite una fabricación de una pluralidad de reactores nucleares en un ritmo importante, sin multiplicar las inversiones importantes;
- Limitar las restricciones impuestas en la obra civil, por naturaleza realizada in situ, debido al carácter nuclear de la instalación;
- No tener que recurrir a medios de levantamiento excepcionales, a pesar del peso de algunos componentes;
- Permitir la oportunidad de que intervengan, para los componentes y operaciones no críticos, las empresas locales

del país en el que se sitúa el sitio de explotación sin incurrir en riesgos mayores para el proyecto.

[0030] El conjunto 1 ilustrado en la figura 1 incluye una estructura prefabricada 2, ilustrada en la figura 2. Se prevé que esta estructura prefabricada se use como estructura flotante.

5

[0031] La estructura prefabricada 2 reúne, después del ensamblaje, la casi totalidad de los componentes/operaciones críticos.

[0032] La Figura 1 representa el estado nuclear de un reactor construido con ayuda de un conjunto 1 de acuerdo con la invención.

10

[0033] El conjunto 1 incluye especialmente un gran número de componentes nucleares bajo presión que se montan en la estructura prefabricada 2.

15

[0034] Entre estos componentes se encuentra al menos la vasija 3, destinada a contener un núcleo de reactor nuclear. El núcleo no está cargado en la vasija 3.

[0035] También se encuentra preferentemente al menos parte o la totalidad de los componentes de la lista mostrada a continuación, de manera que esta lista no es limitativa:

20

- los elementos internos 4 de la vasija 3,
- el presurizador 5, cuando no está integrado en la vasija 3;
- el o los generadores de vapor 7, cuando no están integrados en la vasija 3,
- 25 • los intercambiadores de los circuitos de seguridad 14 que aseguran la refrigeración de seguridad, pasiva del reactor recurriendo a su fuente fría en la cuba de contención,
- los circuitos primarios de alta presión 8 HP que, incluso en un reactor de tipo integrado, existen para asegurar las funciones de conexión, refrigeración de parada, toma y elevación, aportes y purgas de agua, enlace hacia las líneas de inyección de seguridad a baja presión,
- 30 • los circuitos secundarios 9 (agua de alimentación o vapor) hasta los miembros de aislamiento seguro,
- los acumuladores de seguridad 11 y sus circuitos asociados,
- las vasijas, depósitos y recipientes 12, destinados a recoger el fluido primario (o secundario potencialmente contaminado) en las diferentes situaciones de explotación como accidentes
- los anexos de los circuitos auxiliares (refrigeraciones, refrigeración de los elementos auxiliares, tratamiento físico-químico y filtración, gestión de aportes/purgas de agua,...) en los cuales el proceso se sitúa fuera de la contención y que pueden aislarse de manera segura.
- 35 • los sensores y accionadores (bombas primarias, CRDM,...) asociados a estos componentes y circuitos

[0036] La estructura prefabricada 2 comprende además una cuba 17 y una contención de confinamiento 19.

40

[0037] Está previsto que la cuba 17 sirva de fuente fría para los circuitos de seguridad 14 y/o para la refrigeración de la contención 19 en situación de accidente.

[0038] En el primer caso, la estructura prefabricada 2 comprende dichos circuitos de seguridad 14, que tienen al menos una aspiración en comunicación fluidica con el volumen interno de la cuba 17.

45

[0039] En un segundo caso, la estructura prefabricada 2 comprende una cuba 17 de volumen suficiente para asegurar pasivamente la refrigeración de la contención durante un periodo de gracia importante antes de que se requiera un aporte de agua. Este periodo es normalmente de al menos tres días. El volumen de la cuba es normalmente superior a 5.000 m³.

50

[0040] La contención de confinamiento 19 es una contención metálica estanca, que integra una gran parte de los componentes. Esta contención constituye la tercera barrera de confinamiento reglamentaria cuando el reactor está en funcionamiento. La contención 19 en el ejemplo representado presenta una forma general de cilindro aplanado, con un eje central vertical, paralelo a la vasija. Esta geometría favorece una resistencia a la presión elevada consustancial para un tamaño de contención contenido, con grosores de metal contenidos (tamaño/masa del conjunto).

55

[0041] Los circuitos primarios de alta presión 8 HP son los circuitos en los que el fluido primario circula a una presión superior a 100 bares. Los circuitos primarios de alta presión 8HP están alojados en el interior de la contención 19 y/o de la vasija 3.

60

[0042] El conjunto 1 está previsto para la fabricación de un reactor nuclear en el que el agua se vaporiza en al menos un miembro generador de vapor, que en este caso es un generador de vapor. El agua circula en forma líquida o de vapor en los circuitos secundarios 9, a una presión superior a 30 bares. Los circuitos secundarios 9 están provistos

65

cada uno de un segmento interno 9I conectado flúidicamente al miembro generador de vapor, de un segmento externo 9E previsto para conectarse flúidicamente con una máquina de vapor y de al menos un miembro de corte 9C previsto para aislar selectivamente de forma flúidica el segmento interno 9I del segmento externo 9E. La estructura prefabricada 2 comprende al menos la integridad de cada segmento interno 9I y cada miembro de corte 9C. Cada segmento interno 5 9I y cada miembro de corte 9C están alojados en el interior de la contención 19 y/o de la vasija 3.

[0043] Además, el conjunto 1 incluye también diferentes conjuntos funcionales del reactor nuclear. Estos conjuntos funcionales son circuitos de fluido a baja presión, o elementos del sistema de control-mando central del reactor, o cuadros de alimentación eléctrica centrales del reactor. Así el reactor incluye al menos uno o varios de los 10 circuitos de fluido siguientes: el circuito de depuración del fluido primario, permitiendo al circuito realizar un aporte de agua en el circuito primario o en el circuito secundario, el circuito de gestión de los efluentes, el laboratorio químico, el circuito de control de volumen previsto para controlar el volumen de líquido primario y el volumen de líquido secundario que circula en el reactor nuclear, el circuito de control de la composición química del fluido primario, ... pero también los cuadros eléctricos y las cajas de control-mando y las consolas de mando. Cada conjunto funcional así definido se 15 monta en uno o varios bastidores móviles 13, con el cuadro de alimentación eléctrica y de control-mando local correspondiente. En este caso, se entiende que un bastidor móvil es un armazón transportable, en el que se montan todos los equipos que constituyen el circuito. Cada bastidor móvil constituye así un módulo autónomo, validado funcionalmente en fábrica. Debe observarse que los bastidores móviles anteriores solo incluyen líneas primarias de baja presión, de pequeño diámetro. Cada bastidor móvil tiene un tamaño adaptado para ser transportado en un 20 contenedor marítimo de 6 o 12 m (20 pies o 40 pies). No se prevé que se ensamblen con la estructura prefabricada 2 antes de la flotación de la misma hasta el sitio de explotación.

[0044] Según un aspecto esencial de la invención, la estructura prefabricada 2, después del montaje de los diferentes componentes enumerados anteriormente, está adaptada para su uso como una estructura flotante, y para 25 ser transportada por flotación hasta el sitio de explotación del reactor nuclear. La masa de esta estructura está contenida normalmente en aproximadamente 4.000 t y su tamaño es de aproximadamente (L x l x h) 25 m x 20 m x 18 m para constituir una estructura fácil de realizar en un dique seco habitual y fácil de transportar por flotación.

[0045] En este documento se entiende por flotación el hecho de transportar la estructura 2 haciéndola flotar en 30 una vía de agua. La vía de agua es por ejemplo un río, un mar o un océano.

[0046] La estructura prefabricada 2 está representada especialmente en la figura 2.

[0047] La estructura prefabricada, esencialmente metálica, es una estructura de tipo mecanosoldado. 35

[0048] La estructura prefabricada 2 incluye una carcasa, que desempeña el papel del casco de un barco. Esta carcasa, durante el transporte por flotación, se sumerge parcialmente en el agua. Es estanca.

[0049] Como puede verse en la figura 2, la cuba 17 define al menos una parte de la carcasa de la estructura 40 prefabricada. La contención estanca 19 está dispuesta en el interior de la cuba 17.

[0050] La cuba 17 incluye un fondo 21 y paredes laterales 23 solidarias con el fondo 21. Está abierta hacia arriba. La cuba 17 se realiza según una técnica conocida por el nombre de bi-steel. Más en concreto, la cuba 17 incluye un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno 25 metálico que delimita interiormente 45 la cuba 17, un revestimiento externo 27 metálico que define la carcasa de la estructura flotante y fijaciones rígidas no representadas del revestimiento interno 25 al revestimiento externo 27. Los revestimientos interno y externo 25, 27 delimitan entre sí un espacio vacío 29 en el que posteriormente se verterá hormigón para asegurar la integración de esta estructura prefabricada 2 en la obra civil de la NI. Las fijaciones rígidas entre los dos revestimientos se definen de acuerdo con las reglas de obra civil propias de la tecnología bi-steel y no tienen un papel funcional. 50

[0051] La cuba 17, y más en concreto su estructura con un doble revestimiento, está abierta hacia arriba.

[0052] La cuba 17 define al menos el 50%, preferentemente al menos el 75% de la superficie externa de la 55 carcasa antes de la fijación de los flotadores (véase más adelante).

[0053] Ventajosamente, la estructura prefabricada 2 incluye además una parte del canal 31 de transferencia de los elementos de combustibles nucleares, y el canal de conexión 32 entre la contención 19 y el canal de 60 transferencia 31 (figura 3). El canal 31 está previsto para la descarga bajo el agua de los elementos de combustibles nucleares fuera de la vasija 3 del reactor nuclear, y la transferencia bajo el agua de estos elementos hasta una piscina 33 representada en la figura 3. Normalmente, el canal 31 linda con la cuba 17 y es solidario con ella.

[0054] Los canales 31 y 32 se preparan según la técnica llamada de bi-steel. Incluyen así un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno 34 metálico que lleva una camisa inoxidable no representada que delimita interiormente el canal 31, un revestimiento externo 35 metálico que define una parte de 65 la carcasa de la estructura prefabricada 2 y fijaciones rígidas no representadas del revestimiento interno al

revestimiento externo. Los revestimientos interno y externo 34, 35 delimitan entre sí un espacio vacío 37 que posteriormente se rellenará con hormigón para integrarlo en la obra civil de la NI.

- [0055]** Para la cuba y para el canal, el doble revestimiento sirve de armado y de encofrado para verter el hormigón en el espacio vacío entre los dos revestimientos, una vez que la estructura flotante está en su lugar en el sitio de explotación del reactor. Así, el doble revestimiento servirá como estructura de obra civil para el reactor nuclear en sí. Esta estructura de obra civil solo necesitara un colado en el sitio de explotación, de manera que no sería necesaria ninguna operación de encofrado o de colocación de ferralla para crear estas estructuras de obra civil.
- 10 **[0056]** Ventajosamente, la estructura prefabricada 2 incluye un camino de acceso 39 previsto para el acceso del personal al interior de la contención 19 (figura 4). Este camino de acceso desemboca por un lado en el interior de la contención 19 y por otro lado en el exterior de la estructura prefabricada 2.
- 15 **[0057]** Normalmente, el camino de acceso 39 incluye una cámara 41 y una galería 43. Por ejemplo la galería se extiende bajo el canal de transferencia 31. La cámara 49 es una estructura metálica estanca, fijada rígidamente a la vez a la contención 19 y a la cuba 17. Atraviesa la pared lateral 23 de la cuba 17. Esta cámara 49 desemboca por un lado en el interior de la contención 19, y por otro lado en la galería 43. La cámara 41 y la galería 43 están hechas con tecnología bi-steel para integrarlas posteriormente en la obra civil de la NI.
- 20 **[0058]** Según otra característica ventajosa de la invención, la estructura prefabricada 2 integra las adaptaciones de cableados (conexión y tecnología) entre el cableado interno de la contención y el cableado externo. De hecho, los cables se agrupan (conectan) en el lado interno de la cuba según una lógica que corresponde a la agrupación de cables en el interior de la contención y en el nivel de los recorridos de cable de la contención 19 en sí. Por el contrario, en el exterior de la cuba, los cables se agrupan (conectan) de manera que se comunican con los bastidores móviles 25 13 según una lógica que puede ser diferente. Además, los cables que provienen de la contención 19 pueden ser de un tipo diferente al de los cables conectados a los bastidores móviles, ya que responden a requisitos técnicos diferentes. Por ejemplo, los cables y conectores internos son estancos, y están previstos para sumergirse en el agua de la cuba y cualificados para soportar las condiciones de accidente reglamentarias que deben tenerse en cuenta en el lado interno de la cuba 17. Se aplican requisitos diferentes a los cables y la conexión externa de la cuba.
- 30 **[0059]** Como puede verse en la figura 5, la estructura prefabricada 2 comprende por una parte una pluralidad de conectores internos 51 fijados al revestimiento interno 25 de la cuba 17, previstos para conectarse a líneas eléctricas de potencia y/o líneas de control-mando. Estas líneas internas se denotan por la referencia 52 en las figuras 3 y 5. Las líneas internas 52 están previstas para conectar los conectores internos 51 con sensores, o con accionadores 35 situados en el interior de la contención 19. Por otra parte la estructura prefabricada 2 comprende una pluralidad de conectores o de cajas de conexión externas 53 fijados al revestimiento externo 27 de la cuba 17, y previstos para conectarse a otras líneas eléctricas de potencia y/u otras líneas de control-mando. Estas líneas externas 58 están previstas normalmente para conectarse a los bastidores móviles 13.
- 40 **[0060]** Como puede verse en la figura 5, los conectores internos 51 están conectados eléctricamente a los conectores externos 53, asegurando en la medida de lo necesario las adaptaciones de conexión y/o de tecnologías. Estas uniones se llevan a cabo y se prueban en fábrica.
- 45 **[0061]** Más en concreto, los conectores internos 51 están conectados eléctricamente con los conectores externos 53 de manera que varias líneas internas 52 que llegan a un mismo conector interno 51 proceden de conectores externos 53 diferentes y/o que líneas internas 52 que llegan a conectores internos 51 diferentes proceden de un mismo conector externo 53.
- 50 **[0062]** Dicha disposición permite en primer lugar simplificar las operaciones de cableado que se realizarán en el sitio de explotación ya que: (i) por una parte los conectores externos 53 son directamente compatibles en términos de conexión y tecnología con la definición de los bastidores móviles 13 y (ii) por otra parte la conexión in fine desde los conectores externos 53 hacia los sensores/accionadores situados en la contención se habrá probado al final del montaje (prueba sin carácter funcional) de principio a fin antes de la expedición de la estructura prefabricada 2 in situ.
- 55 **[0063]** Preferentemente, todos los conectores internos 51 se reúnen en al menos un protector interno 55. Cada protector interno 55 está soldado en una abertura que queda en espera en el revestimiento interno 27 de la cuba.
- 60 **[0064]** Asimismo, las cajas de conexión externas 53 se reúnen en al menos un protector externo 57. Cada protector externo 57 está fijado rígidamente, por lo común por soldadura, en aberturas en espera en el revestimiento externo 29 de la cuba.
- 65 **[0065]** Según otra característica ventajosa de la invención, que puede verse en la figura 3, la estructura prefabricada 2 comprende una pluralidad de conexión para las líneas primarias a baja presión 8BP, los segmentos externos de los circuitos de vapor 9E y otras líneas de fluido 59, que salen de la contención 19 y están previstas para conectarse a los bastidores móviles 13 de circuito de fluido o a otros equipos colocados en el exterior de la estructura

flotante 15. Está previsto que estas líneas se conecten a recorridos 61 dispuestos a través del doble revestimiento de la cuba 17, normalmente en las paredes laterales 23.

5 **[0066]** Así, en el sitio de explotación, las operaciones de conexión de las líneas a los bastidores móviles de circuito 13 o a otros equipos se limitan a tomar líneas de fluido a baja presión desde los emplazamientos previstos en los edificios para los bastidores móviles hasta los recorridos 61.

10 **[0067]** Es importante subrayar que la obra civil, realizada in situ, no tiene interfaz de explotación con las líneas a alta presión y de alta energía y/o con los componentes nucleares principales pesados, líneas y componentes que deben resistir seísmos. Estas interfaces son interfaces críticas en general delicadas de realizar, y son fuente de numerosos retrasos. Las estructuras de obra civil más próximas al reactor son en este caso las paredes laterales de la cuba 17 y/o del canal 31. El hecho de realizar las interfaces a través del doble revestimiento de la cuba, incorporando en el doble revestimiento los protectores y/o los recorridos desde la fabricación de la estructura flotante, simplifica considerablemente la construcción del reactor.

15 **[0068]** Según otra característica ventajosa de la invención, como se ilustra en las figuras 2 y 6, la estructura prefabricada 2 incluye normalmente un armazón metálico 63 al que se fija la cuba 17.

20 **[0069]** El conjunto 1 incluye asimismo flotadores 65 fijados de manera reversible a la estructura prefabricada 2.

25 **[0070]** El armazón 63 es una estructura mecanosoldada, que comprende vigas y/o cajones de cimentación ensamblados rígidamente entre sí. En el ejemplo representado, el armazón 63 es una estructura horizontal, de baja altura. El armazón 63 está colocado bajo la cuba 17. Normalmente, el fondo 21 de la cuba, y en su caso el fondo del canal de transferencia 31 y/o de la galería 43, se apoyan en el armazón 63 y están fijados rígidamente al mismo.

30 **[0071]** Además, la contención 19 está fijada rígidamente al armazón 63 por una primera fijación 67 visible en las figuras 2 y 7. De hecho, la contención 19, y todos los equipos alojados en el interior de esta contención 19, forman un componente particularmente masivo. El armazón 63, debido a su rigidez, está adaptado especialmente bien para la fijación de este componente masivo. Si fuera necesario, el armazón 63 incluye refuerzos tales como la estructura anular 69 visible en la figura 15, para la fijación de la contención 19.

[0072] Los flotadores 65 están fijados al armazón 63.

35 **[0073]** Están adosados y fijados a la estructura prefabricada 2.

[0074] El armazón 63 tiene un doble papel.

40 **[0075]** Durante la etapa de transporte por flotación de la estructura prefabricada 2, el armazón 63 asegura la distribución del empuje hidrostático, y en particular la absorción y la transmisión de los esfuerzos entre los flotadores 65, por una parte, y esta estructura prefabricada 2, por otra parte.

45 **[0076]** Una vez en su lugar la estructura prefabricada 2 en el sitio de explotación, el armazón 63 sirve como interfaz entre la contención 19 y las estructuras de obra civil. Sirve igualmente de interfaz entre la cuba 17, en su caso el canal 31, y las estructuras de obra civil. Así, no existe interfaz directa entre la contención 19 y dichas estructuras de obra civil, y más en general entre todos los componentes sometidos a restricciones termomecánicas elevadas en situación de accidente y la obra civil.

50 **[0077]** Más en concreto, después de la colocación de la estructura prefabricada 2 en el sitio de explotación, el armazón 63 se fija rígidamente a las estructuras de obra civil 71 a través de segundas fijaciones 73, como se ilustra en la figura 7. Las fijaciones 73 están situadas a distancia de las fijaciones 67 lo que permite formar parte solidaria entre la contención 19 y el armazón 63. Así, en situación de accidente, las fijaciones 67 están sometidas a una carga termomecánica, pero las fijaciones 73 están sometidas solo a una carga mecánica. Dicho de otro modo, las fijaciones 73 están dimensionadas solo para una carga mecánica, mientras que las fijaciones 67 deben dimensionarse para una carga a la vez térmica y mecánica. Así se facilita enormemente el diseño de las fijaciones 67 y 73. De hecho, la fijación 67 es una fijación metal-metal, que solidariza una estructura metálica (la contención 19) a otra estructura metálica (el armazón 63). El dimensionamiento de dichas fijaciones metal-metal para una carga termomecánica es una operación clásica.

60 **[0078]** Por el contrario, las fijaciones 73 solidarizan una estructura metálica (el armazón 63) con una estructura de obra civil de hormigón (estructura 71). El dimensionamiento de dicha fijación para una carga mecánica es una operación clásica. Por el contrario, el dimensionamiento de un enlace entre una estructura metálica y una estructura de obra civil para una carga termomecánica es una operación delicada. Esto se evita en la invención.

65 **[0079]** Según otra característica ventajosa de la invención, la sala de intervención 74 del reactor nuclear (figura

1), que se extiende por encima de la contención 19 e incluye en particular el puente principal 75, solo está en comunicación con el volumen interno de la contención de confinamiento 19 durante los periodos de mantenimiento, con el reactor en parada. Esta disposición:

- 5 - Por una parte, permite que la sala 74 no tenga nunca la función de confinamiento a la presión de accidente y los requisitos que esto impone en el diseño y la realización de la obra civil. Su única función relacionada con el confinamiento es asegurar una cierta limitación de fuga, estando el confinamiento asegurado de manera dinámica por la ventilación.
- 10 - Por otra parte, permite que el puente principal 75 sea un puente sobre raíles lineal (como la estructura del edificio) que es una solución menos costosa que un puente polar
- Finalmente permite que este puente y los dispositivos asociados sean compartidos entre los reactores de una misma NI.

15 **[0080]** Además, la contención 19 está exenta de los medios de manipulación necesarios para las operaciones de mantenimiento y de sustitución de los elementos de combustibles nucleares, alojados en el interior de la contención 19. Por el contrario, la contención 19 incluye una cubierta extraíble situada encima de la vasija 3, adaptada para permitir dichas operaciones. Está cubierta se retira durante las operaciones de mantenimiento y de sustitución de los elementos de combustibles nucleares, de manera que el puente principal 75 se usa para realizar las manipulaciones.

20 **[0081]** A continuación, se detallará el procedimiento de construcción del reactor nuclear con ayuda del conjunto 1 descrito anteriormente.

25 **[0082]** Este procedimiento está especialmente bien adaptado a la fabricación de una gran serie de reactores nucleares, todos idénticos, del tipo descrito más arriba.

[0083] Como se indica anteriormente, el procedimiento está dirigido a permitir la fabricación de reactores nucleares con un rimo elevado, evitando en particular los cuellos de botella, y sin obligar a inversiones demasiado elevadas para infraestructuras de fabricación.

30 **[0084]** Para ello, el principio general consiste en preparar talleres dedicados al montaje y la prevalidación del montaje (y no el aspecto funcional) de los componentes/operaciones críticos. Localmente se realizan solo, en el sitio de explotación, las operaciones sencillas, que no exigen competencias nucleares particulares, con la excepción de algunas operaciones que se describirán más adelante.

35 **[0085]** La competitividad económica de los SMR se basa en el factor de aprendizaje que caracteriza el hecho de poder realizar de manera reproducible, en un mismo sitio y con la misma estructura industrial, un máximo de componentes y operaciones críticos para la realización debido a su importancia para la seguridad y/o el nivel de calidad requerido y/o la dificultad de garantizar los requisitos técnicos de realización y/o la dificultad de dominar las tecnologías implementadas (designado en lo sucesivo «*componente/operación crítico*»). Se ofrece una ilustración del reto del factor de aprendizaje en la competitividad de los SMR en «SMR economy - Tony Roulstone - July 2015 Nuclear Engineering International».

45 **[0086]** El procedimiento comprende una primera etapa de fabricación de componentes nucleares con protección de calderería, como la vasija 3 y por ejemplo uno o varios de los componentes siguientes: el presurizador 5, los generadores de vapor 7, los equipos internos 4 de la vasija, los acumuladores de seguridad 11, todas las vasijas, depósitos y recipientes de almacenamiento 12 destinados a contener del líquido primario a alta presión.

50 **[0087]** Esta operación se realiza en una instalación central 76, representada esquemáticamente en la figura 8.

[0088] En la presente solicitud, una instalación se dice central cuando fabrica un componente dado para todos los reactores nucleares de la serie, con independencia de la región del mundo en que se implanten. Los diferentes componentes se fabrican en la misma instalación central que las vasijas 3, o en instalaciones centrales diferentes.

55 **[0089]** Los componentes con protección de calderería se prueban en la instalación central que los fabrica. Se someten a todos los controles reglamentarios en la instalación central, especialmente el control de las soldaduras. Están acondicionados de manera que puedan ser entregados en un sitio de integración en un gálibo aceptable para medios de manipulación pesada no excepcional, es decir, con una masa inferior a 300 toneladas.

60 **[0090]** Los accionadores críticos (bombas, CRDM,...) son fabricados y validados funcionalmente (en particular, en presión y en temperatura) en un bucle de ensayo dedicado, en la instalación central correspondiente.

65 **[0091]** Los bastidores móviles 13 de circuito de fluido descritos anteriormente se fabrican normalmente y se validan funcionalmente en instalaciones centrales. Preferentemente, al menos uno o varios de los bastidores móviles de circuito de fluido siguientes se fabrican en instalaciones centrales: el circuito de depuración del fluido primario, el

circuito que permite realizar un aporte de agua en el circuito primario o en el circuito secundario, el circuito de gestión de los efluentes, el laboratorio químico, el circuito de control de volumen previsto para controlar el volumen de líquido primario y el volumen de líquido secundario que circulan en el reactor nuclear, el circuito de control de la composición química del fluido primario, etc.

5

[0092] Cada bastidor móvil incluye un cuadro de control-mando local y un cuadro eléctrico local, que permite realizar en la instalación central pruebas de presión y de temperatura. Las soldaduras se controlan en la instalación central, y se efectúan todos los ensayos reglamentarios, en la medida de lo posible, en la instalación centralizada.

10 **[0093]** Asimismo, los bastidores móviles 13 de control-mando central del reactor y los bastidores móviles 13 de los cuadros eléctricos centrales se fabrican a su vez en una instalación central, y se prueban en esta instalación central, en la medida de lo posible.

[0094] El puente principal 75 es fabricado también en una instalación central.

15

[0095] El procedimiento de construcción incluye además una etapa de fabricación de la estructura prefabricada 2. Esta etapa no se realiza en una instalación central, sino en una instalación de integración 77. Como se ilustra en la figura 8, existen varias instalaciones de integración 77 distribuidas en diferentes regiones del mundo. La instalación de integración 77 se elige según la localización del sitio de explotación del reactor. Normalmente, se elige la instalación de integración más cercana al sitio de explotación.

20

[0096] Con el fin de limitar las inversiones en material necesario para la fabricación de la estructura prefabricada 2, la instalación de integración es normalmente un astillero naval. No se trata así de una instalación dedicada únicamente a la construcción de la estructura prefabricada 2, sino al contrario una instalación que tiene, además de su actividad de construcción de la estructura flotante, una actividad de construcción de barcos y/o de plataformas petrolíferas, o cualquier otra estructura marítima.

25

[0097] Estos astilleros navales están equipados con dársenas, es decir, diques secos, medios de manipulación pesados y medios de calderería adaptados para la fabricación de barcos o estructuras flotantes. Estos medios, bajo reserva de una adaptación técnica de amplitud limitada, pueden usarse para la construcción de la estructura prefabricada 2 de la invención. Esto permite reducir el importe de las inversiones necesarias.

30

[0098] Además, el hecho de usar varias instalaciones de integración distribuidas en diferentes regiones del mundo permite evitar los cuellos de botella para la fabricación de los reactores nucleares.

35

[0099] En la instalación de integración 77 se realizan las operaciones siguientes:

- fabricación de la cuba 17;
- fabricación de los canales 31 y 32, en su caso;
- 40 - fabricación de la contención 19;
- fabricación del almacén 63 e integración de la cuba 17, el canal 31 y la contención 19 en el almacén 63, especialmente fijación de la contención 19 al almacén 63;
- fabricación del camino de paso 39, montaje y conexión a la cuba 17 y a la contención 19.
- introducción de la vasija 3 en el interior de la contención 19 y fijación de la vasija 3 a la contención 19;

45

[0100] Estas operaciones de calderería y de manipulación pesada no necesitan precauciones de limpieza particulares. Normalmente se realizan en una dársena para facilitar las manipulaciones. Una vez conseguidas estas operaciones, la realización de las operaciones siguientes puede llevarse a cabo en otro lugar, mejor adaptado, de la instalación de integración 77.

50

[0101] Estas operaciones son las siguientes:

- introducción en la contención 19 y fijación a esta contención 19 de los acumuladores de seguridad 11, las vasijas de almacenamiento 12 y más en general todas las capacidades destinadas a recibir fluido primario a alta presión de la o
- 55 las instalaciones centrales;
- realización de todos los montajes/cableados en la contención 19 entre ellos de manera no limitativa: introducción y fijación en la contención 19 y conexión de las líneas primarias de alta presión y los segmentos internos de las líneas de vapor
- introducción en la vasija 3 de los equipos internos 4, las bombas, los mecanismos y cualquier otro sensor/accionador,
- 60 - montaje de los recorridos 61;
- realización del conjunto de ensayos de fin de montaje, de carácter no funcional, como probetas hidráulicas, control de las soldaduras, verificación de principio a fin de las conexiones eléctricas,...

[0102] Esta lista de tareas no es exhaustiva.

65

[0103] La etapa de montaje del circuito de enfriamiento de seguridad 14, especialmente de los intercambiadores de calor, en la estructura prefabricada 2 se realiza en la instalación de integración. En el curso de esta etapa, el circuito de enfriamiento de seguridad 14 se conecta fluidicamente a la cuba 17 y a la vasija 3.

5 **[0104]** La etapa de fabricación de la estructura prefabricada 2 comprende una subetapa de fijación al revestimiento interno 25 de la cuba 17 de los conectores internos 51, una subetapa de fijación al revestimiento externo 27 de la cuba 17 de los conectores externos 53 y una subetapa de realización de los cableados asociados. Normalmente, los protectores internos y externos 55, 57, con los conectores y conexiones asociados, son prefabricados y validados en taller.

10

[0105] Como muestra la figura 9, la instalación de integración 77 incluye una dársena 79, es decir, un dique seco separado del mar, o de cualquier otra vía de agua, por una ataguía 81. La cuba 17, en su caso el canal 31, y el almacén 63 se fabrican y se ensamblan entre sí en esta dársena 79.

15 **[0106]** La instalación de integración 77 incluye además un taller 83 equipado con medios de calderería, en el que se fabrica la contención 19. En su caso, en el taller 83 se fabrican otras vasijas o contenciones, que no son suficientemente críticas como para que sea necesario fabricarlas en una instalación central, como recipientes de reserva de agua limpia no a presión (por ejemplo, recipientes de inyección de seguridad BP).

20 **[0107]** La instalación de integración 77 incluye además herramientas 85 adaptadas para reparar la contención 19 encima de la cuba 17, y para bajar de manera controlada la contención 19 en la cuba 17. Esta operación se representa en la figura 10. La cuba 17, durante esta operación, se coloca sobre la estructura 63, colocada a su vez en el fondo del dique seco 79. En este caso se entiende por ripado una operación consistente en desplazar la contención 19 en traslación, a ras de suelo, sin levantarla o levantándola a muy poca altura. Los astilleros navales están equipados
25 generalmente con herramientas adaptadas para reparar estructuras de masas equivalentes a la de la contención 19.

[0108] La introducción de la vasija 3 en la contención 19 se realiza asimismo mediante ripado de la vasija 3 encima de la contención 19, y haciendo descender la vasija 3 al interior de la contención 19. Las herramientas usadas para este fin son normalmente las mismas que las usadas para desplazar la contención 19. Todos los demás equipos
30 de masa más limitada no deberían necesitar estas disposiciones, aunque sigue siendo posible hacerlo en caso de necesidad.

[0109] Así, no es necesario que la instalación de integración 77 esté equipada con medios de levantamiento de capacidad excepcional, que son caros, y que deben reservarse con mucho tiempo de antelación. El uso de medios
35 de levantamiento de capacidad excepcional, en el lugar, no es compatible con una fabricación en ritmo alto de reactores nucleares, debido a las restricciones generadas por la localización de la herramienta.

[0110] Ventajosamente, los flotadores reutilizables 65 permanecen fijados a la estructura prefabricada 2 de manera reversible durante toda la etapa de transporte por flotación de la estructura prefabricada 2 hasta el sitio de
40 explotación.

[0111] Estos flotadores 65 se fijan rígidamente al almacén 63. Se colocan mientras la estructura flotante 15 se deposita sobre el fondo de la dársena 79. El uso de flotadores 65 resulta especialmente ventajoso ya que la estructura prefabricada 2 es normalmente muy densa, y su centro de gravedad no está dispuesto de manera favorable para
45 garantizar un transporte por flotación sencillo. El uso de flotadores 65, colocados de manera adecuada, permite corregir estos problemas.

[0112] Además, el uso de flotadores 65 permite obtener un calado de 3 m o menos para la estructura prefabricada 2, lo que permite transportar esta estructura por flotación hasta numerosos sitios de explotación.
50

[0113] Esto impone que el sitio de explotación esté situado cerca de una vía de agua que tenga un calado típico de 3 m-3,5 m, con un nivel 0 del suelo antes de los trabajos de excavación situado entre 0 y +20 m aproximadamente. Estos criterios no son excesivamente restrictivos.

55 **[0114]** Como puede verse en las figuras 2 y 6, los flotadores 65 están dispuestos a lo largo de dos lados opuestos de la estructura prefabricada 2, por ejemplo, en dos filas paralelas entre sí.

[0115] Después de la colocación de los flotadores 65, se realiza un cierto número de operaciones de ensamblaje con la estructura prefabricada 2 ya no dispuesta en el fondo de una dársena sino flotante a lo largo de un muelle 87, como se ilustra en la figura 11. La estructura prefabricada 2 es recubierta entonces por un taller 89 de
60 calidad nuclear, equipado con medios de manipulación tales como un puente 91. Este puente tiene normalmente una capacidad estándar, por ejemplo 40 toneladas. En el curso de esta fase, se efectúa el montaje en la estructura prefabricada 2 de los equipos ligeros (pequeñas instalaciones, tuberías, cableados). Los componentes pesados se han montado antes en la dársena 79.

65

[0116] Normalmente en el curso de esta etapa los circuitos, los sensores y los accionadores en la contención se montan y se conectan, en particular el presurizador 5, los generadores de vapor 7, las bombas primarias y todos los demás equipos internos de la vasija recibidos de la o las instalaciones centrales.

5 **[0117]** El procedimiento incluye además una etapa de realización de estructuras de obra civil en el sitio de explotación del reactor nuclear.

[0118] Como puede verse en la figura 12, primero se desencaja el suelo del sitio de explotación, de manera que se cree una forma 93. El fondo de la forma es recubierto por una solera 95. Las paredes de la forma y el suelo del sitio de explotación alrededor de la forma también se revisten con estructuras de obra civil, de hormigón.

[0119] Como puede verse en la figura 13, la forma 93 se llena a continuación de agua, de manera que constituya un dique provisional para la recepción de la estructura prefabricada 2.

15 **[0120]** La forma 93 se pone en comunicación con la vía de agua M situada cerca del sitio de explotación, de manera que permita la flotación de la estructura prefabricada 2 hasta la forma 93. Así se ilustra en la figura 14.

[0121] La etapa de realización de las estructuras de obra civil se efectúa por ejemplo de manera simultánea con la fabricación de la estructura prefabricada y de la vasija o de los demás equipos principales del reactor nuclear.

20 **[0122]** El procedimiento incluye además una etapa de transporte por flotación de la estructura prefabricada 2 desde la instalación de integración 77 hasta el sitio de explotación (figura 15). La estructura prefabricada 2 sigue vías de agua.

25 **[0123]** A continuación, se empuja la estructura prefabricada 2 en la forma 93 llena de agua (figura 16).

[0124] De manera ventajosa, la estructura prefabricada 2 está dispuesta en la forma en una posición en la que los flotadores ocupan zonas determinadas de la forma. En un estadio posterior del procedimiento de construcción, se construirán locales de las alas del edificio destinados a acoger los bastidores móviles en dichas zonas determinadas de la forma 93.

[0125] La forma 93 está prevista ventajosamente para recibir varias estructuras prefabricadas 2, como se ilustra en la figura 16. Normalmente, estas estructuras prefabricadas 2 son idénticas. Así sucede normalmente cuando el sitio de explotación está destinado a recibir varios reactores nucleares, por ejemplo 2, 3 o 4 reactores nucleares.

35 **[0126]** Ventajosamente, una de las estructuras prefabricadas es de un tipo diferente a las demás, y está destinada a constituir una piscina de almacenamiento de los elementos de combustibles. Esta situación se representa en la figura 3. En esta figura se observan cuatro estructuras prefabricadas. La estructura prefabricada situada a la derecha de la figura 3 está destinada a constituir la piscina de almacenamiento 33. La figura 3 muestra otras diversas estructuras prefabricadas 2, dispuestas de forma colindante. Los canales 31 de estas diferentes estructuras prefabricadas 2 están dispuestos unos como prolongación de los otros. En este caso, el procedimiento de fabricación incluye una etapa de puesta en comunicación de los canales 31 entre sí y de puesta en comunicación con la piscina de almacenamiento 33.

45 **[0127]** Una vez dispuestas la o las estructuras prefabricadas 2 en su lugar en la forma 93, cada estructura prefabricada se deposita sobre la solera 95. Esta operación se realiza por ejemplo por balastado de los flotadores 65 y sumergiendo parcialmente la cuba 17 con un agua de calidad controlada.

[0128] A continuación, se separan los flotadores 65 de la estructura prefabricada, y se evacúan de la forma 93. Esta etapa se ilustra en la figura 17. Los flotadores 65 son llevados normalmente por flotación hasta la instalación de integración 77.

[0129] Como puede verse en la figura 18, el procedimiento de fabricación incluye a continuación una etapa que consiste en aislar la forma 93 de la vía de agua M. Seguidamente se seca la forma 93 y se procede en la medida de lo necesario a la realización de las etapas ulteriores a la limpieza de la estructura 15 (por ejemplo, en el caso de una transferencia en agua salada).

60 **[0130]** El procedimiento incluye a continuación una etapa de fijación de la estructura prefabricada 2 en las estructuras de obra civil, especialmente en la solera 95. Esta fijación se efectúa tal como se describe anteriormente en referencia a la figura 7.

[0131] Después de fijación de la estructura flotante, el procedimiento incluye una etapa de realización in situ de estructuras de obra civil de calidad nuclear, correspondiente a la figura 19.

65 **[0132]** Estas estructuras se representan mediante sombreados de tipo particular en las figuras 1 y 19. Están

en un número pequeño.

[0133] Esta etapa incluye las tareas siguientes:

- 5 - verter hormigón entre los revestimientos interno y externo de la cuba 17 y del canal 31 de transferencia de los elementos de combustibles nucleares, de manera que se creen pantallas 107 alrededor de la contención 19;
- montar las pantallas 109 de la sala principal 74 situada encima de la cuba 17.

[0134] El procedimiento incluye además una etapa de colocación y de conexión entre sí de diferentes componentes o bastidores móviles, que provienen directamente de las instalaciones centrales o han sido ya instalados en la estructura flotante. Los bastidores móviles 13 de circuitos de fluido, de control-mando central y de cuadros eléctricos centrales se colocan en los locales de las alas 111 y conectados entre sí o con los componentes de la estructura prefabricada 2. El puente rodante principal 75 se coloca en la sala principal 74.

15 **[0135]** Las líneas fluidas BP (baja presión) se colocan y se conectan, especialmente se conectan a los recorridos 61.

[0136] La etapa de realización in situ de estructuras de obra civil de calidad nuclear y la etapa de colocación y de conexión de los componentes o bastidores móviles se realizan por medio de equipos formados con tecnologías del campo nuclear.

[0137] Pueden realizarse otras operaciones en el sitio de explotación mediante personal que tenga pocas o ninguna competencia en materia de tecnología nuclear.

25 **[0138]** Estas operaciones consisten especialmente en la realización de estructuras de obra civil de los locales de las alas 111. Estos locales se construyen a medida que se colocan los bastidores móviles 13, como se ilustra en la figura 19. Para este fin se usan preferentemente estructuras 113 de obra civil prefabricadas. Los equipos locales realizan asimismo diversas estructuras de obra civil coladas, por ejemplo, soleras o paredes de protección sísmica.

30 **[0139]** Los equipos de construcción locales realizan asimismo la segunda obra 115 estándar en los locales de las alas 111, por ejemplo, los circuitos de abastecimiento (aire comprimido, ventilación del edificio, agua corriente, etc.) y los circuitos eléctricos o de control-mando estándar.

[0140] Asimismo, realizan la protección del reactor con merlones, es decir, la construcción de un talud 117 alrededor de la sala principal 74 (figura 1). Así, la protección del reactor frente a las agresiones externas (caída de un avión) se garantiza por el hecho de que el reactor está enterrado y protegido con merlones.

[0141] Finalmente, el procedimiento comprende fases de ensayos y de arranque del reactor nuclear, que son realizadas conjuntamente por el explotador del reactor nuclear con la asistencia técnica del personal del fabricante del reactor nuclear.

[0142] Así, el procedimiento de construcción descrito anteriormente está especialmente bien adaptado a la construcción de una pluralidad de reactores nucleares implantados al menos en regiones primera y segunda del mundo diferentes entre sí. Algunos componentes que necesitan fábricas específicas son fabricados en una misma instalación central.

[0143] Por el contrario, las estructuras prefabricadas de reactores nucleares implantados en la primera región del mundo son fabricadas en una primera instalación de integración situada en la primera región del mundo. Las estructuras prefabricadas de reactores nucleares implantados en la segunda región del mundo son fabricadas en una segunda instalación de integración situada en la segunda región del mundo.

[0144] Así, una de las ventajas de la invención es permitir distribuir la industrialización entre tres niveles: una o varias instalaciones centrales, que sirven a todos los sitios de explotación, una instalación de integración y el sitio de explotación en sí. Esto permite capitalizar, en la o las instalaciones centrales y en menor medida en las instalaciones de integración, la experiencia para todas las operaciones que exigen una capacidad técnica avanzada. Las operaciones que exigen una capacidad técnica menor pueden ser realizadas por empresas del país que acoge el sitio de explotación.

[0145] Además, las restricciones impuestas a las estructuras de obra civil realizadas en el sitio de explotación están considerablemente reducidas. Las estructuras de obra civil no tienen función de confinamiento que resista a la presión, en especial en caso de accidente regulado. Estas estructuras deben presentar tan solo una estanqueidad dimensionada para la depresión de la ventilación. Además, las estructuras de obra civil realizadas en el sitio de explotación no tienen ninguna función de soporte de los componentes nucleares principales: bloque de caldera, tuberías principales...

65

[0146] Las estructuras de obra civil aportan una contribución limitada a la resistencia o a las agresiones internas (movimientos excéntricos, ruptura), que está asegurada esencialmente por la distribución de los locales. La protección frente a agresiones externas, como se indica anteriormente, está asegurada por el hecho de que el reactor esté enterrado y protegido por merlones.

5

[0147] Debe observarse que algunos circuitos de fluido, o elementos de sistema del control-mando, o incluso cuadros de alimentación eléctrica considerados como no críticos, pueden montarse sobre uno o varios bastidores móviles y no ser producidos en una instalación centralizada sino por subcontratistas locales que disponen de los medios y de la competencia necesaria. Estos bastidores móviles son llevados entonces hasta el sitio de explotación y se montan al mismo tiempo que los bastidores móviles 13 que provienen de las instalaciones centralizadas.

10

[0148] Así, la invención según un primer aspecto se refiere a disposiciones de construcción de diseño que permiten la prefabricación de manera repetitiva de una estructura prefabricada, de masa y tamaño contenidos, que agrupa la casi totalidad de los componentes/operaciones críticos, siendo el resto de los componentes/operaciones críticos prefabricados esencialmente sobre bastidores móviles según un principio conocido. Estas disposiciones de construcción se refieren a la definición de esta estructura prefabricada pero también a la definición del resto de la NI (Nuclear Island o isla nuclear) de manera que la estructura prefabricada se integre fácilmente en la lógica de construcción.

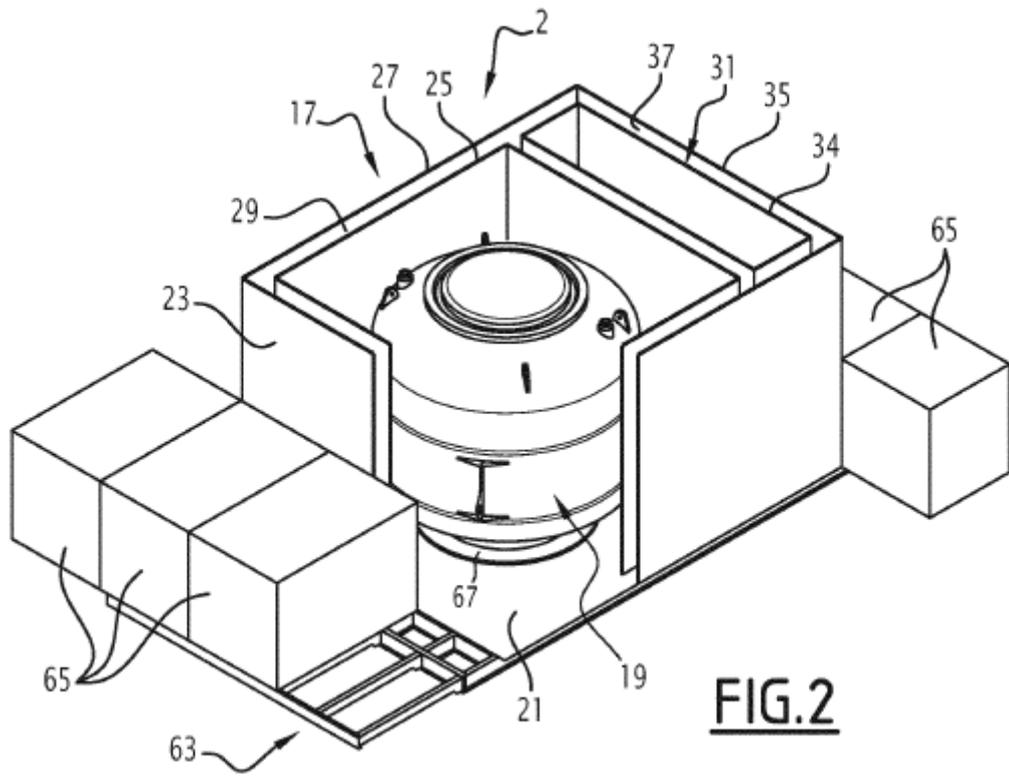
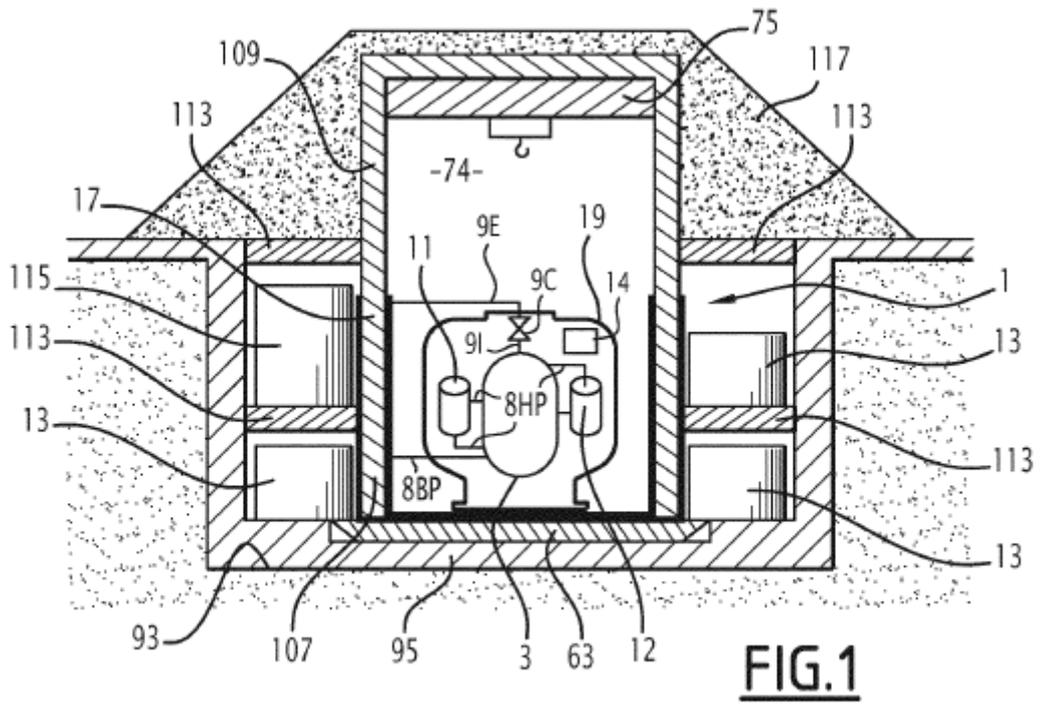
15

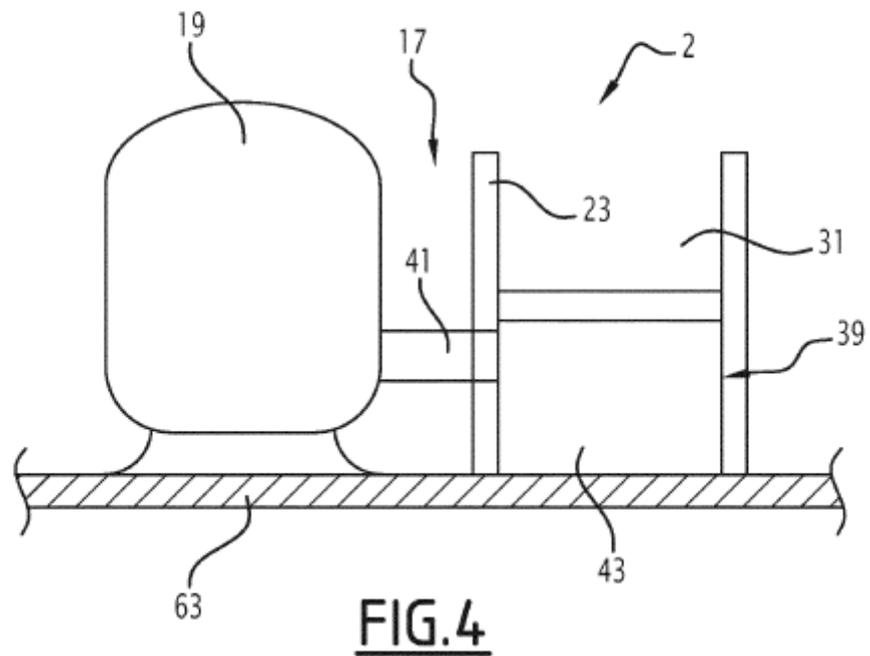
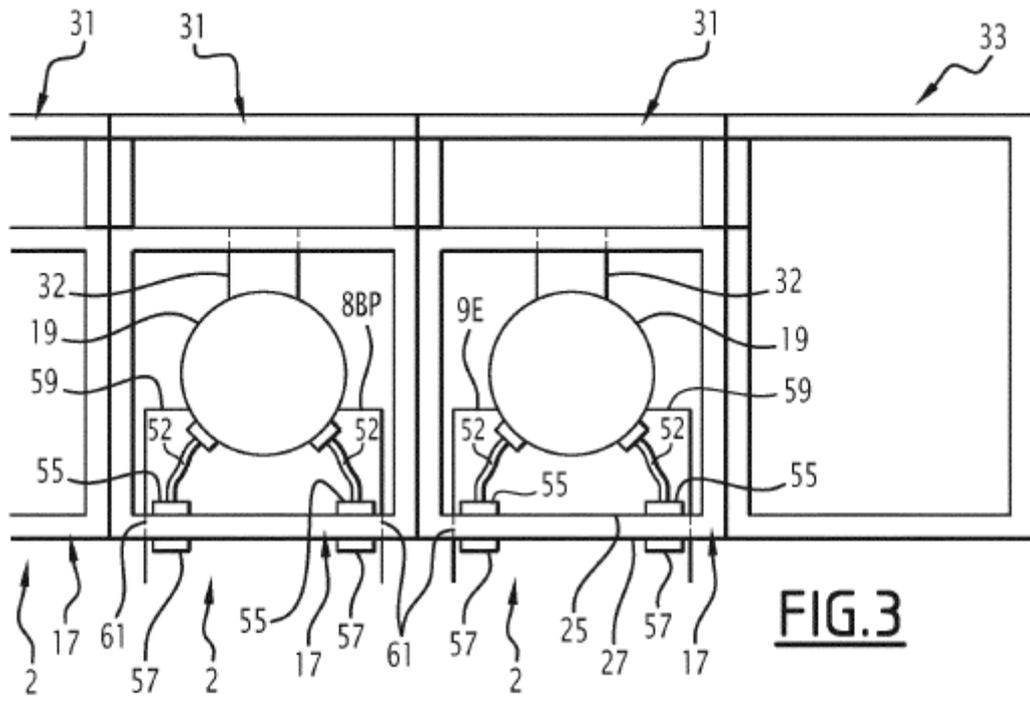
REIVINDICACIONES

1. Conjunto (1) para la construcción de un reactor nuclear que forma parte de una isla nuclear en tierra, comprendiendo el conjunto (1):
- 5
- una vasija (3) adaptada para contener un núcleo de dicho reactor nuclear para construir, estando la vasija (3) adaptada para disponerse en dicho reactor nuclear en tierra;
 - una estructura prefabricada (2) que tiene una carcasa que permite un uso de la estructura prefabricada (2) como estructura flotante;
- 10 - comprendiendo la estructura prefabricada (2) al menos:
- * una cuba (17) que define al menos una parte de la carcasa de la estructura prefabricada (2);
 - * una contención estanca (19), dispuesta en el interior de la cuba (17), estando la contención estanca (19) adaptada para constituir la contención de confinamiento de dicho reactor nuclear en tierra, estando la vasija (3) colocada en la contención (19), estando la cuba (17) adaptada para la refrigeración de la contención (19) en situación de accidente del reactor nuclear en tierra y/o estando adaptada para ser una fuente fría que alimenta un circuito (14) de enfriamiento de seguridad del reactor nuclear en tierra.
- 15
2. Conjunto según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la cuba (17) incluye un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno (25) metálico estanco que delimita interiormente la cuba (17), un revestimiento externo (27) metálico que define la carcasa de la estructura flotante y fijaciones rígidas del revestimiento interno (25) al revestimiento externo (27), delimitando los revestimientos interno y externo (25, 27) entre sí un espacio vacío (29) sobre el cual posteriormente se verterá hormigón para asegurar la integración de la estructura prefabricada en la obra civil de la isla nuclear.
- 20
- 25
3. Conjunto según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la estructura prefabricada (2) comprende una pluralidad de conectores internos (51) fijados al revestimiento interno (25), una pluralidad de conectores externos (53) fijados al revestimiento externo (27), estando cada conector interno (51) adaptado para conectarse a una o varias líneas internas (52) de potencia y/o de control-mando, estando cada conector externo (58) adaptado para conectarse a una o varias líneas externas (58) de potencia y/o de control-mando, estando los conectores internos (51) conectados eléctricamente a los conectores externos (53) de manera que varias líneas internas (52) que llegan a un mismo conector interno (51) distribuyen desde conectores externos (53) diferentes y/o que las líneas internas (52) que llegan a conectores internos (51) diferentes distribuyen desde un mismo conector externo (53).
- 30
- 35
4. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estructura prefabricada (2) comprende un canal de transferencia (31) de elementos de combustible nuclear que definen al menos una parte de la carcasa de la estructura prefabricada (2), y un canal de conexión (32) para los elementos de combustibles nucleares entre por un lado la contención (19) y por otro lado el canal de transferencia (31).
- 40
- 45
5. Conjunto según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el canal (31) incluye un doble revestimiento, teniendo el doble revestimiento un revestimiento interno (34) metálico que lleva una camisa que delimita interiormente el canal (31), un revestimiento externo (35) metálico que define una parte de la carcasa de la estructura prefabricada (2) y fijaciones rígidas del revestimiento interno (33) al revestimiento externo (35), delimitando los revestimientos interno y externo (33, 35) entre sí un espacio vacío (37).
- 50
6. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estructura prefabricada (2) incluye un camino de acceso (39) adaptado para el acceso del personal al interior de la contención (19), que desemboca por un lado en el interior de la contención (19) y por otro lado en el exterior de la estructura prefabricada (2).
- 55
7. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el conjunto (1) está adaptado para la fabricación de un reactor nuclear en el que circula un fluido primario en el núcleo de reactor nuclear, comprendiendo el reactor nuclear una pluralidad de circuitos primarios de alta presión (8HP) en los que el fluido primario circula a una presión superior a 100 bares, comprendiendo la estructura prefabricada (2) al menos todos los circuitos primarios de alta presión (8HP), estando los circuitos primarios de alta presión (8HP) alojados en el interior de la contención (19) y/o de la vasija (3).
- 60
- 65
8. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el conjunto está adaptado para la fabricación de un reactor nuclear en el que el agua se vaporiza en al menos un miembro generador de vapor, comprendiendo el reactor nuclear circuitos secundarios (9) en los que el agua en forma líquida o de vapor circula a una presión superior a 30 bares, estando los circuitos secundarios (9) provistos cada uno de un segmento interno (9I) conectado fluidicamente con el miembro generador de vapor, un segmento externo (9E) adaptado para conectarse fluidicamente con una máquina de vapor y al menos un miembro de corte (9C) adaptado para aislar selectivamente de forma fluidica el segmento interno (9I) del segmento externo (9E), comprendiendo la estructura prefabricada (2) al menos la integridad de cada segmento interno (9I) y cada miembro de corte (9C), estando cada

segmento interno (9I) y cada miembro de corte (9C) alojado en el interior de la contención (19) y/o de la vasija (3).

9. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la contención (19) está exenta de medios de manipulación necesarios para las operaciones de mantenimiento y de sustitución de los elementos de combustibles nucleares, alojados en el interior de la contención (19), de manera que la contención (19) comprende una cubierta extraíble situada encima de la vasija (3) adaptada para permitir dichas operaciones.
10. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la estructura prefabricada (2) incluye un armazón metálico (63) al que se fija la cuba (17), comprendiendo el conjunto (1) flotadores (65) fijados de manera reversible a la estructura prefabricada (2), de manera que el armazón metálico (63) asegura la absorción y la transmisión de al menos una parte de los esfuerzos entre los flotadores (65) y la estructura prefabricada (2).
11. Procedimiento de construcción de un reactor nuclear en tierra con ayuda de un conjunto (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- fabricación de la vasija (3);
 - fabricación de la estructura prefabricada (2);
 - introducción de la vasija (3) en el interior de la contención (19);
 - realización de estructuras de obra civil en un sitio de explotación del reactor nuclear;
 - transporte por flotación de la estructura prefabricada (2) hasta el sitio de explotación;
 - fijación de la estructura prefabricada (22) a las estructuras de obra civil.
12. Procedimiento de construcción según la reivindicación 11 con ayuda de un conjunto según la reivindicación 4 o 5, **caracterizado porque** el procedimiento comprende una etapa de conexión del canal de transferencia (31) a una piscina (33) de almacenamiento de elementos de combustible nuclear.
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12 con ayuda de un conjunto según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la etapa de fabricación de la estructura prefabricada (2) comprende una subetapa de fijación al revestimiento interno (25) de los conectores internos (51), una subetapa de fijación al revestimiento externo (27) de los conectores externos (53) y una subetapa de realización de los cableados asociados.
14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** la estructura prefabricada (2) incluye un armazón metálico (63), y una primera fijación (67) de la contención al armazón (63), comprendiendo la etapa de fijación de la estructura prefabricada (15) a las estructuras de obra civil la fijación del armazón (63) a las estructuras de obra civil al menos por una segunda fijación (73) desacoplada térmicamente de la primera fijación (67).
15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado porque** se fijan flotadores (65) reutilizables a la estructura prefabricada (2) de manera reversible durante la etapa de flotación.
16. Procedimiento según la reivindicación 15, **caracterizado porque** la etapa de realización de las estructuras de obra civil comprende una subetapa de realización de una forma (93) llena de agua, siendo la estructura prefabricada (2) transportada a la forma (93) en el curso de la etapa de flotación en una posición en la que los flotadores (65) ocupan zonas determinadas de la forma (93), comprendiendo el procedimiento una etapa de construcciones de locales (111) en dichas zonas determinadas de la forma (93), de manera que dichos locales (111) acogen estructuras y circuitos del reactor nuclear no integrados en la estructura prefabricada (2).
17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16 con ayuda de un conjunto según la reivindicación 2, **caracterizado porque** comprende una etapa de colada de hormigón en el espacio vacío (29) del doble revestimiento de la cuba (17).
18. Procedimiento de construcción de una pluralidad de reactores nucleares implantados en al menos regiones primera y segunda del mundo diferentes entre sí, estando cada reactor nuclear fabricado según el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17:
- estando las vasijas (3) de todos los reactores nucleares fabricadas en una misma instalación central (76);
 - estando las estructuras prefabricadas (2) de los reactores nucleares implantados en la primera región del mundo fabricadas en una primera instalación de integración (77) situada en la primera región del mundo, estando las estructuras prefabricadas (2) de los reactores nucleares implantados en la segunda región del mundo fabricadas en una segunda instalación de integración (77) situada en la segunda región del mundo.





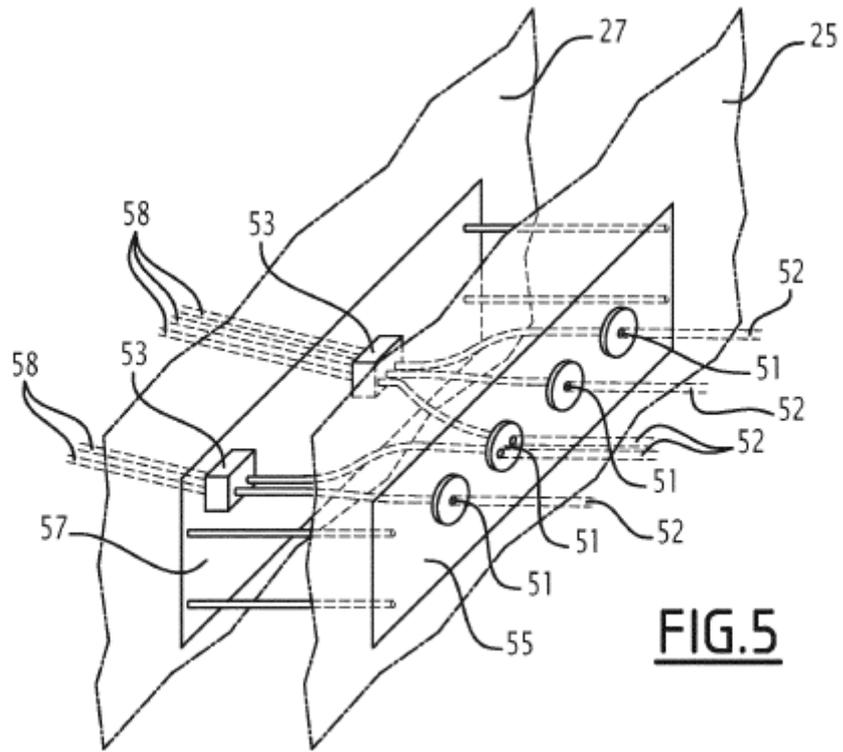


FIG. 5

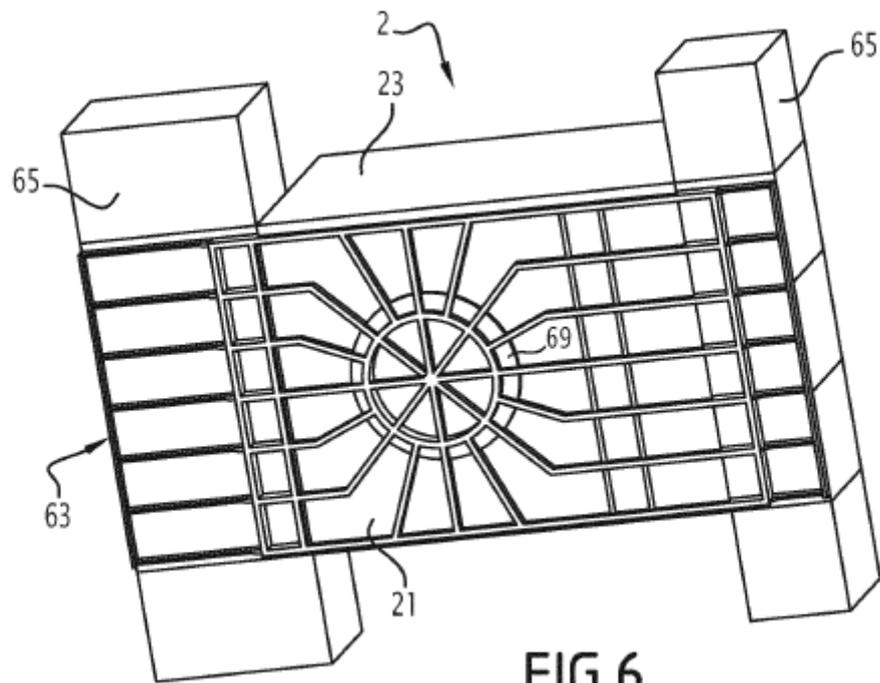


FIG. 6

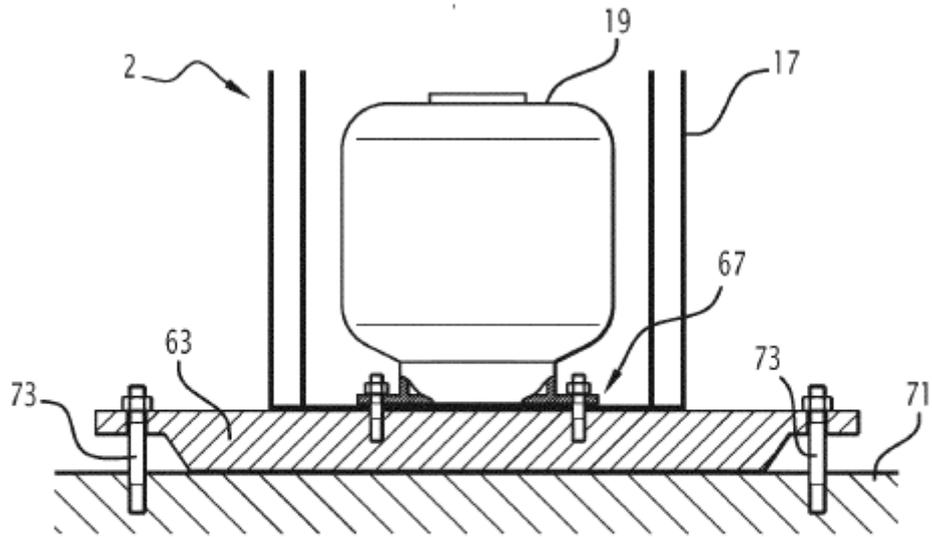


FIG. 7

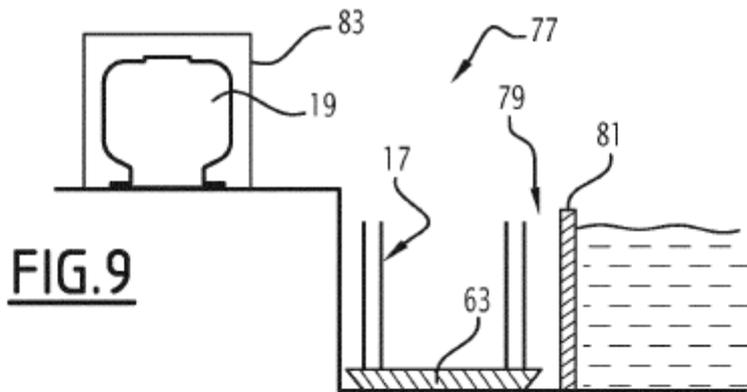


FIG. 9

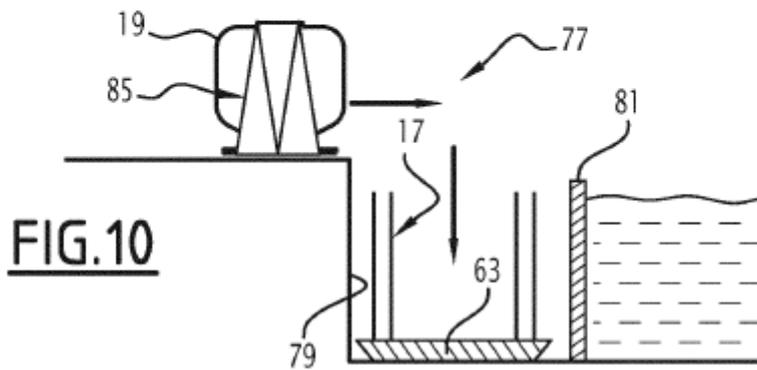


FIG. 10

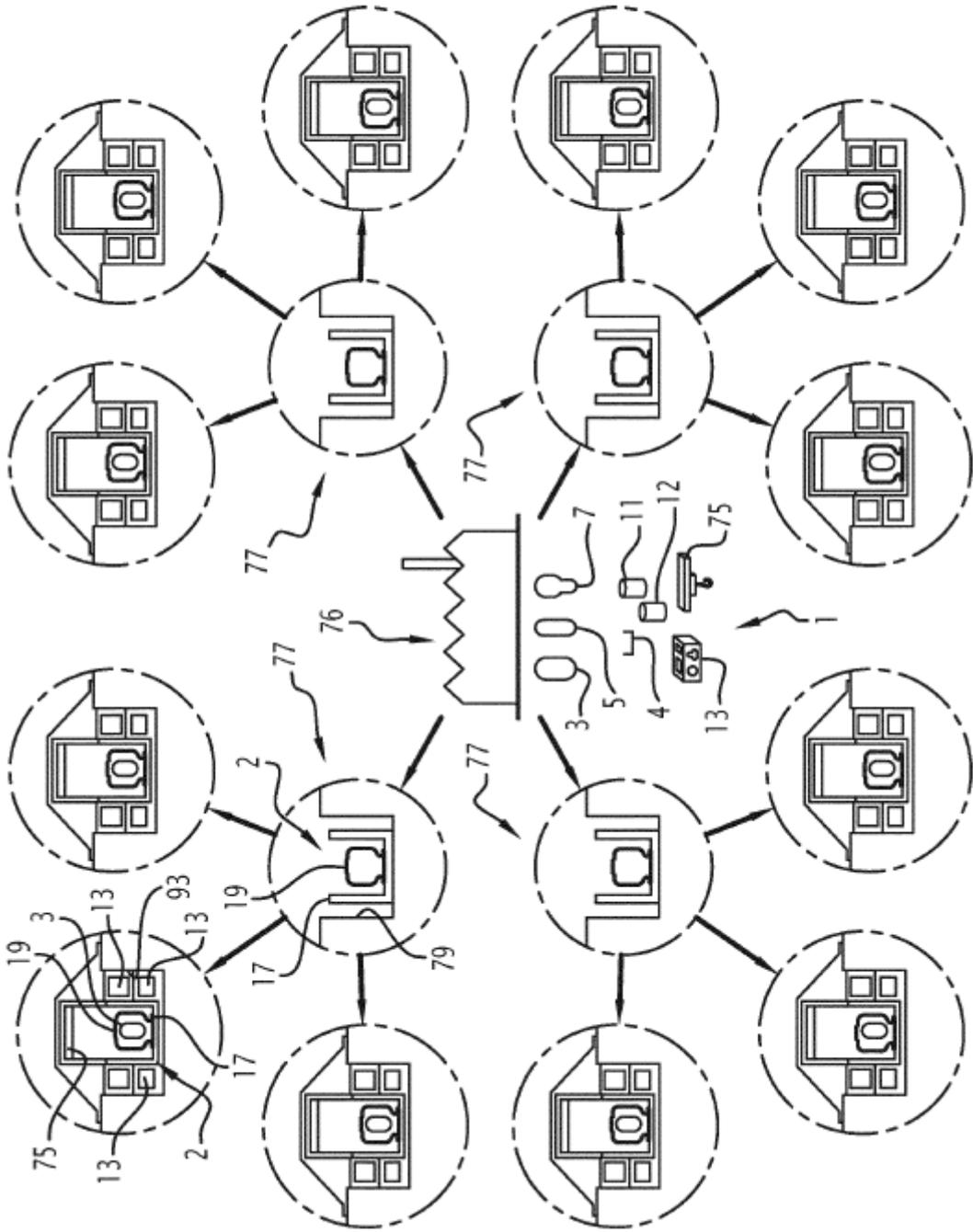


FIG.8

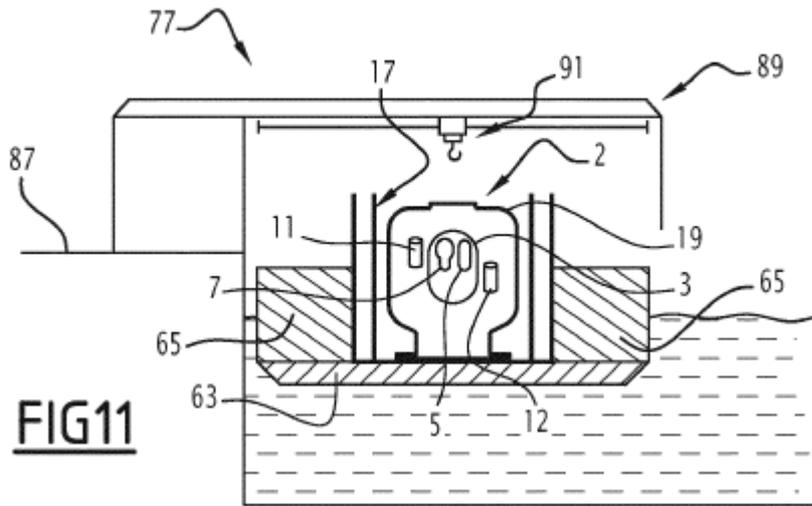


FIG. 11

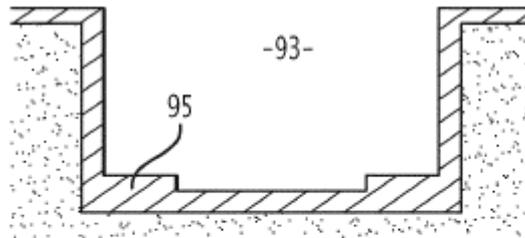


FIG. 12

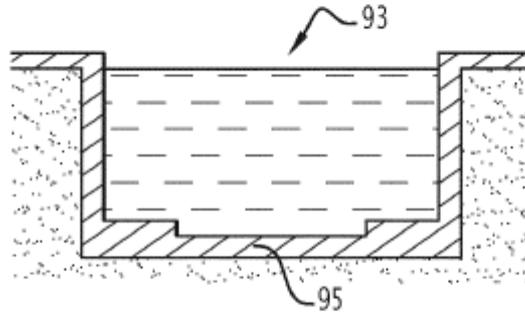


FIG. 13

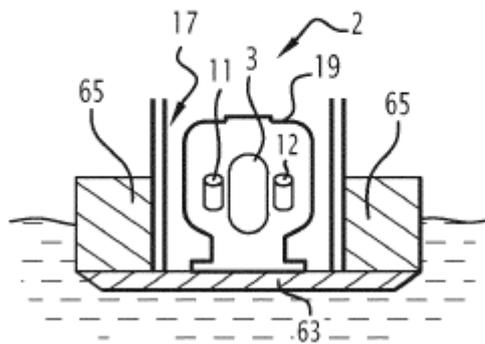


FIG. 15

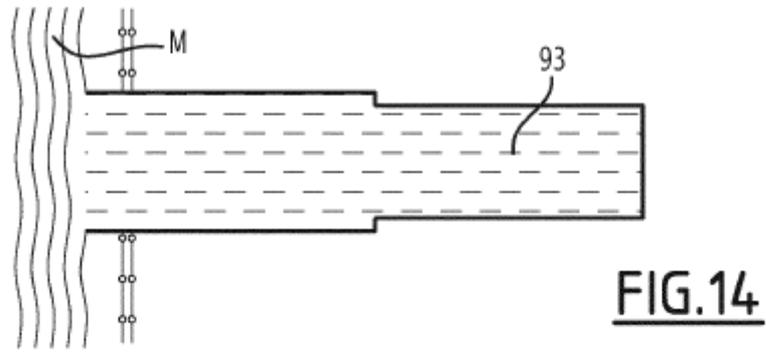


FIG. 14

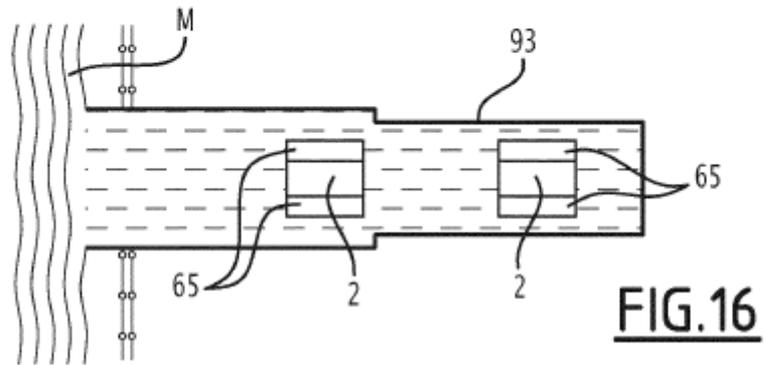


FIG. 16

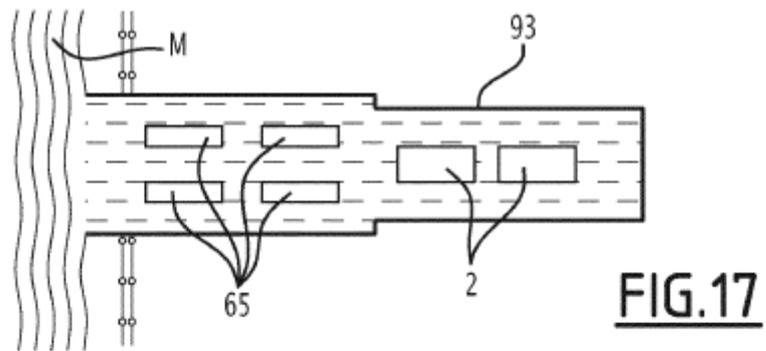


FIG. 17

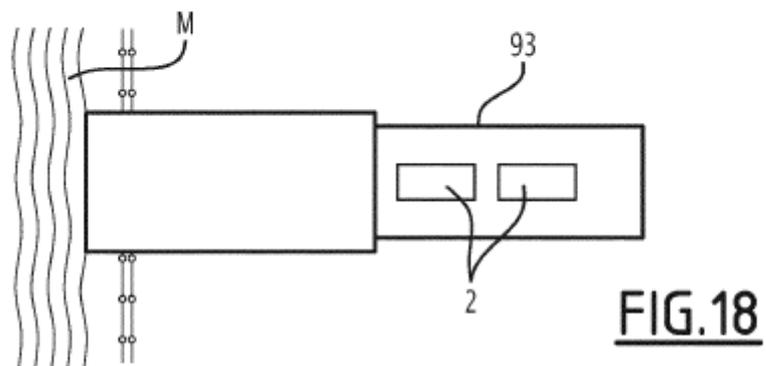


FIG. 18

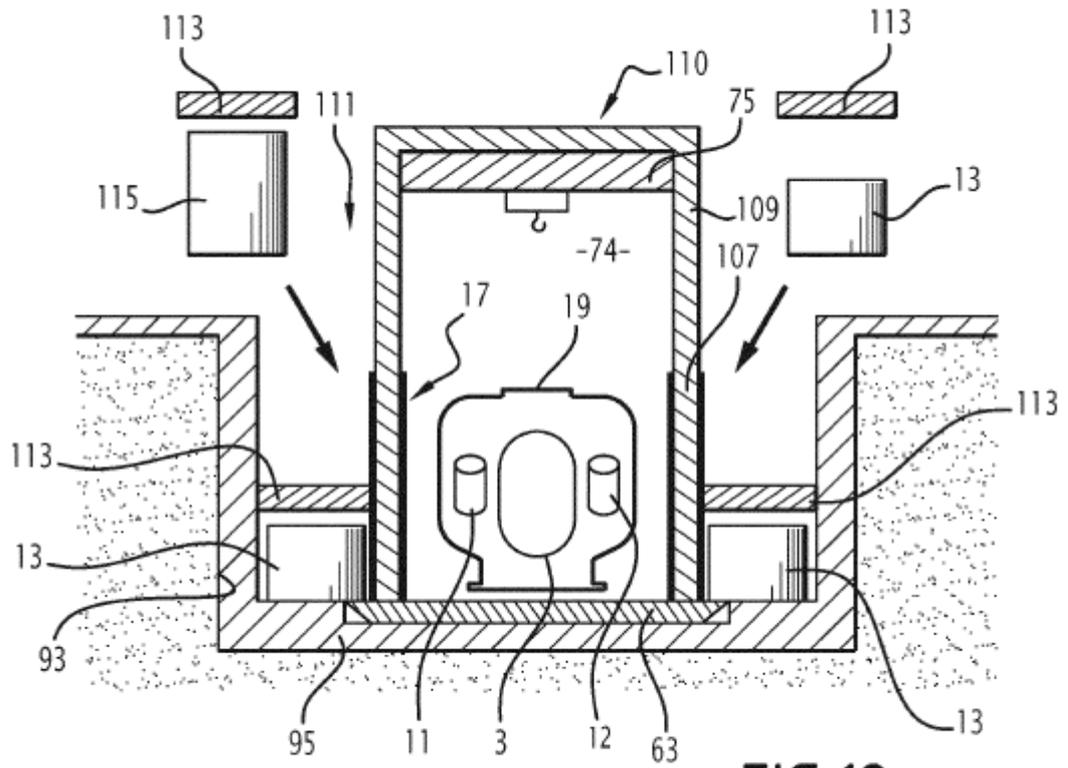


FIG.19