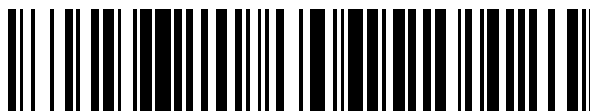


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 863 850**

51 Int. Cl.:

G21C 17/003 (2006.01)

G21C 17/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.06.2017** **PCT/EP2017/065209**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2017** **WO17220641**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2017** **E 17730514 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.03.2021** **EP 3475952**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de inspección de una pieza de reactor nuclear**

30 Prioridad:

22.06.2016 FR 1655820

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

11.10.2021

73 Titular/es:

FRAMATOME (100.0%)
1 Place Jean Millier, Tour Areva
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

CAULIER, YANNICK

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 863 850 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

Procedimiento y dispositivo de inspección de una pieza de reactor nuclear

- 5 **[0001]** La invención se refiere en general a la inspección de las piezas de un reactor nuclear.
- [0002]** Durante determinadas operaciones de mantenimiento del reactor nuclear, se solicita inspeccionar visualmente zonas específicas de piezas situadas en el interior de la vasija a presión del reactor nuclear.
- 10 **[0003]** Estas piezas son por ejemplo las penetraciones de fondo de la vasija, o los elementos de los dispositivos de mantenimiento en posición de los equipos internos inferiores.
- [0004]** Para ello es posible usar un transportador que coloca en posición una cámara frente a la pieza para inspección.
- 15 **[0005]** El dispositivo de control del transportador permite la colocación de la cámara con un error en la posición que es frecuentemente de varios centímetros. Para poder inspeccionar un lugar preciso de la pieza, es necesario establecer la posición de la cámara. Para este fin se usa por ejemplo un calzo de la pieza, cuando esta cuenta con uno. La posición de la cámara se ajusta sucesivamente con respecto a cada una de las tres superficies que confluyen en el calzo.
- 20 **[0006]** El documento JP H10 221256 A describe un dispositivo de control capaz de adquirir al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia, tomándose la o cada primera imagen con un primer aumento.
- 25 **[0007]** Dicha operación es larga. Además, implica múltiples desplazamientos del transportador, ordenados a distancia, lo que crea un riesgo de colisión con otros equipos internos de la vasija.
- [0008]** En este contexto, la invención pretende proponer un procedimiento de inspección que no presente los defectos señalados anteriormente.
- 30 **[0009]** Para este fin, la invención se refiere según un primer aspecto a un procedimiento de inspección de una zona de una pieza de un reactor nuclear, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- colocación de un detector óptico enfrente de la pieza para inspección con ayuda de un transportador;
 - 35 - adquisición de al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza con ayuda del detector óptico, tomándose la o cada primera imagen con un primer aumento;
 - reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida;
 - cálculo de la posición de una zona para inspección con respecto al detector óptico usando el modelo en tres
 - 40 dimensiones;
 - adquisición de al menos una segunda imagen de la zona para inspección con ayuda del detector óptico, tomándose la o cada segunda imagen de la zona para inspección con un segundo aumento más elevado que el primer aumento.
- [0010]** Así, se usa el mismo detector óptico a la vez para establecer la posición del detector frente a la pieza y
- 45 a la zona para inspección, y para realizar la inspección de la zona.
- [0011]** La colocación se efectúa únicamente mediante cálculo, y no necesita múltiples desplazamientos del transportador.
- 50 **[0012]** Por tanto, el procedimiento de inspección se acelera, y se reducen los riesgos de interferencia con otros equipos del reactor.
- [0013]** El procedimiento puede presentar además una o varias de las características mostradas a continuación, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:
- 55 - el detector óptico comprende una cámara, siendo la o cada primera imagen y la o cada segunda imagen adquirida con ayuda de la cámara;
- la cámara comprende un objetivo de foco variable y un motor de modificación del foco del objetivo, usado para modificar el aumento entre la etapa de adquisición de al menos una primera imagen y la etapa de adquisición de al
 - 60 menos una segunda imagen;
 - el detector óptico comprende una fuente luminosa, siendo dicha parte de referencia de la pieza iluminada por una luz estructurada durante la etapa de adquisición de al menos una primera imagen;
 - el procedimiento comprende una etapa de reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha zona para inspección usando la o cada segunda imagen adquirida, preferentemente por el procedimiento del desenfoque óptico;
 - 65 y

- el reactor nuclear comprende una vasija, equipos internos y una pluralidad de elementos de combustible nuclear, estando los equipos internos y los elementos de combustible nuclear dispuestos en la vasija durante una fase de funcionamiento normal del reactor nuclear, de manera que el procedimiento se implementa durante una fase de parada del reactor nuclear, estando la pieza situada en el interior de la vasija y siendo por ejemplo una penetración del fondo de la vasija o un elemento de un dispositivo de mantenimiento de los equipos internos circunferencialmente en posición alrededor de un eje central de la vasija.

[0014] Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un dispositivo de inspección de una zona de una pieza de un reactor nuclear, comprendiendo el dispositivo un detector óptico y un transportador configurado para colocar el detector óptico enfrente de la pieza para inspección, estando el detector óptico configurado para:

- adquirir al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza, tomándose la o cada primera imagen con un primer aumento;
- reconstituir un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida;
- calcular la posición de una zona para inspección con respecto al detector óptico usando el modelo en tres dimensiones;
- adquirir al menos una segunda imagen de la zona para inspección, tomándose la o cada segunda imagen de la zona para inspección con un segundo aumento más elevado que el primer aumento.

[0015] El dispositivo está adaptado especialmente para la implementación del procedimiento de inspección que tiene las características descritas anteriormente. Además, el procedimiento de inspección está también adaptado especialmente para ser implementado por el dispositivo de inspección de la invención.

[0016] El dispositivo puede representar además una o varias de las características mostradas a continuación, consideradas individualmente o según todas las combinaciones técnicamente posibles:

- el detector óptico comprende una única cámara configurada para adquirir la o cada primera imagen y la o cada segunda imagen;
- la cámara comprende un objetivo de foco variable y un motor de modificación del foco del objetivo;
- el detector óptico comprende una fuente luminosa configurada para iluminar dicha parte de referencia de la pieza con una luz estructurada durante la etapa de adquisición de al menos una primera imagen; y
- el detector óptico comprende un módulo de reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha zona para inspección usando la o cada segunda imagen adquirida, preferentemente por el procedimiento del desenfoque óptico.

[0017] 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:

- la figura 1 es una representación simplificada, en sección axial, de la vasija de un reactor nuclear;
- la figura 2 es una vista similar a la de la figura 1, en la que se han desmontado la tapa de vasija y los equipos internos, y se ha implementado el dispositivo de inspección de la invención; y
- la figura 3 es un diagrama de las etapas del procedimiento de inspección de la invención.

[0018] El procedimiento y el dispositivo de la invención están destinados a la inspección de una zona de una pieza de un reactor nuclear. Este reactor nuclear es por ejemplo un reactor de agua a presión, del blindaje de 900 MW, como se representa en la figura 1.

[0019] El procedimiento y el dispositivo de la invención están adaptados asimismo a cualquier otro tipo de reactor, por ejemplo, BWR, y a todos los blindajes y los tipos de reactor PWR.

[0020] El reactor 1 comprende una vasija 2, en la que se dispone un núcleo 3. El núcleo 3 incluye una pluralidad de elementos de combustible nuclear, de forma general prismática. La vasija presenta un eje central X, sustancialmente vertical. La vasija comprende una virola 4 sustancialmente cilíndrica, un fondo inferior hemisférico 6, que cierra un extremo inferior de la virola 4 y una tapa extraíble 8, que cierra un extremo superior de la virola 4.

[0021] El reactor nuclear 1 incluye además equipos internos inferiores 10 (EI) y equipos internos superiores 12, dispuestos en el interior de la vasija 2. Los equipos internos inferiores 10 incluyen una envoltura de núcleo 14 de forma general cilíndrica y una placa de soporte de núcleo 16, solidaria con un extremo inferior de la envoltura de núcleo 14. La envoltura de núcleo 14 está en una disposición coaxial con respecto a la vasija. Los elementos de combustible están dispuestos en el interior de la envoltura de núcleo, y descansan sobre la placa de soporte de núcleo 16. La envoltura de núcleo 14 contiene un tabique 18, que se extiende a la periferia del núcleo 3 y destinado a mantener los elementos de combustible nuclear en su posición.

[0022] Los equipos internos superiores 12 comprenden una placa superior de núcleo 20, que descansa en la parte superior de los elementos del núcleo 3 por medio de resortes. Los equipos internos inferiores y superiores 10,

12 están suspendidos en el interior de la vasija 2 por una parte superior 22 que se fija a un borde superior de la virola 4, ligeramente por debajo del plano de unión de la tapa 8 sobre la virola 4.

[0023] En el ejemplo representado, hay cuatro dispositivos 24 de guiado distribuidor alrededor de la placa de soporte de núcleo 16, de manera que mantienen los equipos internos inferiores 10 en su posición circunferencialmente alrededor del eje X, y radialmente con respecto al eje X. No obstante, los dispositivos de guiado 24 facilitan desplazamientos axiales de los equipos internos inferiores 10 con respecto a la vasija, por ejemplo, bajo el efecto de dilataciones diferenciales.

10 **[0024]** Cada dispositivo de guiado 24 incluye, en el ejemplo representado, una chaveta 26, fijada en un borde periférico externo de la placa de soporte de núcleo 16, y una parte hembra 28 fijada rígidamente en una superficie interior de la virola 4 de la vista, con respecto a la chaveta 26.

15 **[0025]** Como se ilustra en la figura 1, la parte hembra 28 incluye normalmente una corredera 30 y un soporte masivo 32, denominado soporte en M, fijado rígidamente a la virola 4 de la vasija. La corredera 30 presenta, perpendicularmente al eje X, una sección en U abierta radialmente hacia el interior de la vasija. Circunferencialmente, la separación entre las caras internas de las dos ramas del U es ligeramente superior a la separación entre las dos caras laterales 34 de la chaveta.

20 **[0026]** Como puede verse en la figura 1, el reactor nuclear incluye además penetraciones del fondo de la vasija 34 que atraviesan el fondo inferior 6. Las penetraciones de fondo de la vasija (PFC) están destinadas por ejemplo a insertar en el núcleo del reactor sondas de medida neutrónica móviles.

25 **[0027]** El núcleo 3 y los equipos internos 10, 12 están dispuestos en la vasija durante una fase de funcionamiento normal del reactor nuclear. En este caso se entiende por fase de funcionamiento normal las fases en que el reactor nuclear produce vapor, estando la vasija sometida a presión.

30 **[0028]** El procedimiento y el dispositivo de inspección de la invención están destinados a ser implementados durante una fase de parada del reactor nuclear. La inspección interviene después de la apertura de la vasija 2 y la evacuación del núcleo 3, así como de los equipos internos inferior y superior 10, 12, fuera de la vasija, como se ilustra en la figura 2.

35 **[0029]** El procedimiento y el dispositivo de la invención están bien adaptados para la inspección de las penetraciones de fondo de la vasija 34, y para la inspección de diferentes elementos de los dispositivos de guiado 24, principalmente la parte hembra 28, y más en concreto la corredera 30 y el soporte en M 32.

[0030] Sin embargo, el procedimiento y el dispositivo de la invención pueden usarse también para la inspección de otros elementos, situados en el interior de la vasija 1 o en el exterior de la vasija 1.

40 **[0031]** El dispositivo de inspección 36 incluye, como puede verse en la figura 2, un detector óptico 38 y un transportador 40 configurado para colocar el detector óptico 38 enfrente de la pieza para inspección.

45 **[0032]** El transportador es de cualquier tipo adaptado. El transportador 40 es por ejemplo un mástil, o un brazo robotizado. Normalmente, el transportador 40 se opera a distancia desde un puesto de conducción 42 situado a cierta distancia de la vasija.

[0033] El detector óptico 38 está configurado para:

- adquirir al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza para inspección;
- 50 - reconstituir un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia usando la o cada primera imagen adquirida;
- calcular la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico 38 usando el modelo en tres dimensiones;
- adquirir al menos una segunda imagen de la zona para inspección.

55 **[0034]** Para ello, el detector óptico 38 comprende una única cámara 43, configurada para adquirir la o cada primera imagen y la o cada segunda imagen.

[0035] La o cada primera imagen se toma con un primer aumento, tomándose la o cada segunda imagen con un segundo aumento más elevado que el primer aumento.

60 **[0036]** En otros términos, la primera imagen destinada a permitir la colocación del detector óptico 38 con respecto a la zona para inspección se toma con un campo relativamente mayor, y opcionalmente en una posición del dispositivo diferente de la adoptada para adquirir la segunda imagen. Por ejemplo, cada imagen adquirida cubre una superficie de la pieza comprendida entre $20 \times 20 \text{ mm}^2$ y $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$, preferentemente comprendida entre $100 \times 100 \text{ mm}^2$ y $500 \times 500 \text{ mm}^2$, e igual por ejemplo a $300 \times 300 \text{ mm}^2$ aproximadamente.

[0037] La o las segundas imágenes, previstas para la detección de anomalías en la zona para inspección, son adquiridas en campo cercano, de manera que se permite una detección fina. Cada imagen adquirida como una superficie de la zona para inspección está comprendida entre $1 \times 1 \text{ mm}^2$ y $10 \times 10 \text{ mm}^2$, igual por ejemplo a $5 \times 5 \text{ mm}^2$.

[0038] Para realizar a la vez la toma de las imágenes primera y segunda con la misma cámara, esta cámara 43 comprende de manera ventajosa un objetivo 44 de foco variable y un motor 46 de modificación del foco del objetivo 44. El motor 46 está configurado para permitir modificar el aumento para las tomas de vista, y también para realizar la puesta a punto.

[0039] De manera ventajosa, el detector óptico 38 comprende una orden a distancia 48 del motor 46. Esta orden a distancia 48 está configurada para permitir ajustar el foco del objetivo 44, por ejemplo, desde el puesto de mando 42.

[0040] El detector óptico 38 comprende ventajosamente una fuente luminosa 50 configurada para iluminar la parte de referencia con una luz estructurada durante la adquisición de la o cada primera imagen.

[0041] La fuente luminosa 50 se dispone así para proyectar un motivo luminoso en la parte de referencia de la pieza, siendo este motivo luminoso de cualquier tipo adaptado. Incluye por ejemplo líneas paralelas entre sí (sinusoidales o rectangulares, de diferentes periodos y fases) y/o un ajedrezado y/o un moteado.

[0042] Ventajosamente, el detector óptico 38 incluye un módulo 52 de control a distancia de la fuente luminosa 50, por ejemplo, desde el puesto de mando 42.

[0043] El detector óptico 38 comprende normalmente una unidad de tratamiento de informaciones 54 formada por un procesador y una memoria asociada al procesador. Las primeras imágenes adquiridas por la cámara 43 son transmitidas a la unidad de tratamiento de informaciones 54 y almacenadas en la memoria.

[0044] El detector óptico 38 comprende un módulo 56 de reconstitución del modelo en tres dimensiones de la parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida. Este módulo 56 es normalmente un programa de software almacenado en la memoria y que puede ser ejecutado por el procesador.

[0045] Estos programas de software son conocidos, y suministrados por ejemplo por las empresas GOM y Steinbichler Optotechnik.

[0046] El principio es que, cuando el motivo luminoso se proyecta sobre una superficie tridimensional, este motivo aparece deformado cuando se observa según una dirección distinta de la de la proyección. Este motivo deformado es visible en la o las primeras imágenes, y se usa para reconstruir la forma geométrica en tres dimensiones de la parte de la referencia.

[0047] El detector óptico 38 comprende además otro módulo 58 programado para efectuar el cálculo de la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico. Este módulo 58 es normalmente un programa de software almacenado en la memoria de la unidad 54 y que puede ser ejecutado por el procesador.

[0048] El módulo 58 incluye en memoria un modelo digital teórico en tres dimensiones de la pieza, que cubre la parte de referencia de la pieza y la zona para caracterización.

[0049] El módulo 58 está programado para comparar el modelo en tres dimensiones reconstituido por el modelo 56 y el modelo teórico en tres dimensiones para la parte de la referencia, y deducir de ello mediante cálculo la posición del detector óptico 38 con respecto a la parte de referencia.

[0050] El módulo 58 está programado también para calcular la posición y la orientación de la zona para inspección con respecto al detector óptico, usando la posición del detector óptico 38 con respecto a la parte de referencia calculada previamente, y la posición de la zona para inspección con respecto a la parte de referencia suministrada por el modelo en tres dimensiones teórico.

[0051] Además, el detector óptico 38 incluye un módulo 60 de reconstitución del modelo en tres dimensiones de la zona para inspección usando las segundas imágenes adquiridas. Este módulo 60 es, normalmente, un programa de software, almacenado en la memoria de la unidad 54 y que puede ser ejecutado por el procesador.

[0052] La o las segundas imágenes adquiridas son transmitidas a la unidad de tratamiento de informaciones 54 y almacenadas en la memoria.

[0053] Preferentemente, el detector óptico 38 está configurado para reconstruir un modelo en tres dimensiones de la zona inspeccionada usando la técnica del desenfoque óptico.

[0054] La técnica del desenfoque óptico es conocida.

[0055] Así, el detector óptico 38 comprende módulos de cálculo 56 y/o 58 y/o 60, configurados para implementar respectivamente la reconstitución del modelo en tres dimensiones de la parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida, el cálculo de la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico usando el modelo en tres dimensiones y la reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha zona para inspección usando la o cada segunda imagen adquirida.

[0056] Según una primera variante se aplica el procedimiento de reconstrucción tridimensional denominado DFF (Depth From Focus en inglés). El detector óptico 38 está configurado para presentar un eje de toma de imagen constante durante la adquisición de las segundas imágenes. Está configurado para adquirir varias segundas imágenes, desfasando cada vez el plano de nitidez máxima a lo largo del eje de toma de vista entre las imágenes, sin desplazarse. El módulo 60 está programado para combinar a continuación las regiones nítidas de las diferentes imágenes capturadas y reconstruir plano por plano el relieve tridimensional de la zona para inspección.

[0057] Según otra variante se aplica el procedimiento de reconstrucción tridimensional DFD (Depth From Defocus). Se analiza al menos una segunda imagen. El relieve de la zona inspeccionada se reconstruye mediante el análisis del nivel de desenfoque óptico en la o cada segunda imagen. En la o cada segunda imagen, cuanto más presenta una zona un nivel de borrosidad elevado, mayor es su desfase en profundidad con respecto a la zona de nitidez. Conociendo los parámetros ópticos del detector óptico 38 es posible determinar la profundidad del punto de la zona para inspección asociada a cada píxel de la segunda imagen.

[0058] El nivel de desenfoque óptico en una imagen se mide por ejemplo midiendo el contraste en la imagen. Un contraste bajo indica una región borrosa de la imagen mientras que un contraste elevado indica una región nítida de la imagen.

[0059] Ventajosamente se proyecta un motivo luminoso texturizado sobre la zona para inspección, de manera que aumenta el contraste y mejora la precisión del análisis del desenfoque óptico. Este motivo luminoso, como antes, comprende por ejemplo líneas paralelas, franjas o un ajedrezado.

[0060] Según otra variante, el modelo en tres dimensiones de la zona para inspección se reconstruye usando el procedimiento descrito en la solicitud publicada con el número FR 2 995 438.

[0061] Como variante, los módulos 56, 58 y 60 están preparados en forma de componentes lógicos programables tales como FPGA (del inglés Field Programmable Gate Area), o en forma de circuitos integrados dedicados, tales como ASIC (del inglés Application-Specific Integrated Circuit).

[0062] Debe observarse que el transportador 40 y el detector óptico 38 están adaptados para ser usados bajo el agua.

[0063] A continuación, se detallará el procedimiento de inspección de la invención.

[0064] Como puede verse en la figura 3, este procedimiento comprende al menos las etapas siguientes:

- S10: colocación de un detector óptico 38 enfrente de la pieza para inspección con ayuda de un transportador 40;
- S12: adquisición de al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza con ayuda del detector óptico 38, tomándose la primera imagen con un primer aumento;
- S14: reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida;
- S16: cálculo de la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico 38 usando el modelo en tres dimensiones;
- S18: adquisición de al menos una segunda imagen de la zona para inspección con ayuda del detector óptico 38, tomándose la segunda imagen de la zona para inspección con un segundo aumento más elevado que el primer aumento, opcionalmente después de un desplazamiento del detector óptico 38.

[0065] El transportador 40 es normalmente del tipo descrito anteriormente. Permite disponer el detector óptico 38 con un error en la posición de varios centímetros con respecto a la pieza para inspección. Preferentemente, el detector óptico 38 se coloca enfrente de una parte saliente de la pieza, por ejemplo, una arista o un calzo.

[0066] El detector óptico 38 es normalmente del tipo descrito anteriormente.

[0067] A la etapa S12, el aumento que se usará para la adquisición de la o cada primera imagen es controlado a distancia, desde el puesto de conducción 42. El primer aumento depende del tamaño de la parte de referencia. La parte de referencia de la pieza está iluminada normalmente por una luz estructurada durante la adquisición de la o

cada primera imagen, como se describe anteriormente. La luz estructurada incluye motivos tales como líneas paralelas, un ajedrezado, franjas, etc.

- 5 **[0068]** Los motivos se eligen en función de la forma de la parte de referencia de la pieza para iluminar.
- [0069]** La o las primeras imágenes se adquieren en campo medio, cubriendo la o cada primera imagen una superficie de la parte de referencia comprendida entre $20 \times 20 \text{ mm}^2$ y $1000 \times 1000 \text{ mm}^2$, preferentemente comprendida entre $100 \times 100 \text{ mm}^2$ y $500 \times 500 \text{ mm}^2$, e igual aproximadamente a $300 \times 300 \text{ mm}^2$.
- 10 **[0070]** Normalmente, la adquisición de la o cada primera imagen es activada desde el puesto de mando 42.
- [0071]** La o las primeras imágenes son transmitidas hasta la unidad de tratamiento de informaciones 54 y almacenadas en la memoria de esta unidad.
- 15 **[0072]** El modelo en tres dimensiones de la parte de referencia de la pieza se reconstituye mediante cálculo. Como se indica anteriormente, el motivo luminoso proyectado sobre la parte de referencia aparece deformado cuando se observa según una dirección distinta de la de la proyección. Este motivo deformado puede verse en la o cada primera imagen. Esta o estas imágenes se usan para reconstruir la forma geométrica de la parte de referencia de la pieza.
- 20 **[0073]** Como variante se usan otras técnicas de reconstitución tridimensionales, como por ejemplo una técnica basada en el cálculo del tiempo de vuelo de la luz (TOF: Time Of Flight), o una técnica de triangulación que usa una línea luminosa proyectada y explorada en la superficie para reconstruir.
- 25 **[0074]** Para calcular la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico 38 se usa un modelo en tres dimensiones teórico de la pieza, que cubre al menos la parte de referencia y la zona para inspección.
- [0075]** En primer lugar, se evalúa la posición del detector óptico con respecto a la parte de referencia usando el modelo en tres dimensiones reconstituido anteriormente y el modelo en tres dimensiones teórico de la pieza. A
- 30 continuación, se calcula la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico, usando la posición de la parte de referencia con respecto al detector óptico calculado previamente y la posición de la zona para inspección con respecto a la parte de referencia dada para el modelo en tres dimensiones teórico.
- [0076]** Antes de iniciar la etapa S18 de adquisición de la o las segundas imágenes, se modifica el aumento de
- 35 las imágenes adquiridas por el detector óptico, desde el puesto de mando 42. Más en concreto, el foco del objetivo 44 se modifica accionando el motor 46, desde el puesto de mando 42, de tal manera que la o cada segunda imagen se tome con el segundo aumento. El segundo aumento depende del tamaño de la zona para inspección.
- [0077]** En el curso de la etapa de adquisición S18 se adquiere una o varias segundas imágenes, en función del
- 40 tipo de explotación de las imágenes implementadas. Estas imágenes son transmitidas a la unidad de tratamiento de información 54 y almacenadas en la memoria de esta unidad.
- [0078]** Ventajosamente, el procedimiento incluye una etapa S20 de reconstrucción tridimensional de la zona para inspección que usa la o las segundas imágenes adquiridas.
- 45 **[0079]** Este procedimiento de reconstrucciones tridimensional usa normalmente el procedimiento del desenfoque óptico. Dicho procedimiento permite caracterizar las anomalías de superficie de tamaño inferior a una decena de milímetros en campo cercano. Se entiende por campo cercano aquel en que cada segunda imagen adquirida cubre una superficie de la zona para inspección comprendida entre $1 \times 1 \text{ mm}^2$ y $10 \times 10 \text{ mm}^2$.
- 50 **[0080]** El modelo en tres dimensiones de la zona para inspección se reconstituye mediante cálculo, usando la o cada segunda imagen. La reconstitución se efectúa según el procedimiento de reconstrucción tridimensional denominado DFF (Depth From Focus en inglés), o según el procedimiento de reconstrucción tridimensional denominado DFD (Depth From Defocus en inglés) o según el procedimiento de reconstrucción tridimensional publicado
- 55 con el número FR 2 995 438.
- [0081]** La invención como variante se implementa con una cámara para la adquisición de la o las primeras imágenes, y otra cámara, diferente de la primera, para la adquisición de la o cada segunda imagen. Ventajosamente, cada cámara tiene su propio dispositivo de fuente luminosa. Como variante, el detector óptico tiene dos cámaras y un
- 60 dispositivo de fuente luminosa única.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de inspección de una zona de una pieza de un reactor nuclear, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- 5
- colocación de un detector óptico (38) enfrente de la pieza para inspección con ayuda de un transportador (40); - adquisición de al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza con ayuda del detector óptico (38), tomándose la o cada primera imagen con un primer aumento;
 - 10 - adquisición de al menos una segunda imagen de una zona para inspección con ayuda del detector óptico (38), tomándose la o cada segunda imagen de la zona para inspección con un segundo aumento más elevado que el primer aumento;

caracterizado porque el procedimiento comprende además las etapas siguientes:

- 15
- reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida;
 - cálculo de la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico (38) usando el modelo en tres dimensiones.

20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el detector óptico (38) comprende una cámara (43), siendo la o cada primera imagen y la o cada segunda imagen adquirida con ayuda de la cámara (43).

3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la cámara (43) comprende un objetivo de foco variable (44) y un motor (46) de modificación del foco del objetivo (44), usado para modificar el aumento entre
25 la etapa de adquisición de al menos una primera imagen y la etapa de adquisición de al menos una segunda imagen.

4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado porque** el detector óptico (38) comprende una fuente luminosa (50), siendo dicha parte de referencia de la pieza iluminada por una luz estructurada durante la etapa de adquisición de al menos una primera imagen.

30 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento comprende una etapa de reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha zona para inspección usando la o cada segunda imagen adquirida, preferentemente por el procedimiento del desenfoque óptico.

35 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el reactor nuclear (1) comprende una vasija (2), equipos internos (10, 12) y una pluralidad de elementos de combustible nuclear, estando los equipos internos (10, 12) y los elementos de combustible nuclear dispuestos en la vasija (2) durante una fase de funcionamiento normal del reactor nuclear (1), de manera que el procedimiento se implementa durante una fase de parada del reactor nuclear (1), estando la pieza situada en el interior de la vasija (2) y siendo por ejemplo una
40 penetración (34) de fondo de vasija o un elemento de un dispositivo (24) de mantenimiento de los equipos internos (10, 12) circunferencialmente en posición alrededor de un eje central de la vasija (3).

7. Dispositivo de inspección de una zona de una pieza de un reactor nuclear (1), comprendiendo el dispositivo (36) un detector óptico (38) y un transportador (40) configurado para colocar el detector óptico (38) enfrente
45 de la pieza para inspección, estando el detector óptico (38) configurado para:

- adquirir al menos una primera imagen de al menos una parte de referencia de la pieza, tomándose la o cada primera imagen con un primer aumento;
- 50 - adquirir al menos una segunda imagen de una zona para inspección, tomándose la o cada segunda imagen de la zona para inspección con un segundo aumento más elevado que el primer aumento;

caracterizado porque el detector óptico (38) está configurado también para:

- 55
- reconstituir un modelo en tres dimensiones de dicha parte de referencia de la pieza usando la o cada primera imagen adquirida;
 - calcular la posición de la zona para inspección con respecto al detector óptico (38) usando el modelo en tres dimensiones.

8. Dispositivo según la reivindicación 7, **caracterizado porque** el detector óptico (38) comprende una única
60 cámara (48) configurada para adquirir la o cada primera imagen y la o cada segunda imagen.

9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado porque** la cámara (43) comprende un objetivo (44) de foco variable y un motor (46) de modificación del foco del objetivo (44).

65 10. Dispositivo según la reivindicación 8 o 9, **caracterizado porque** el detector óptico (38) comprende una

fuelle luminosa (50) configurada para iluminar dicha parte de referencia de la pieza con una luz estructurada durante la etapa de adquisición de al menos una primera imagen.

11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, **caracterizado porque** el detector óptico
5 (38) comprende un módulo de reconstitución de un modelo en tres dimensiones de dicha zona para inspección usando la o cada segunda imagen adquirida, preferentemente por el procedimiento del desenfoque óptico.

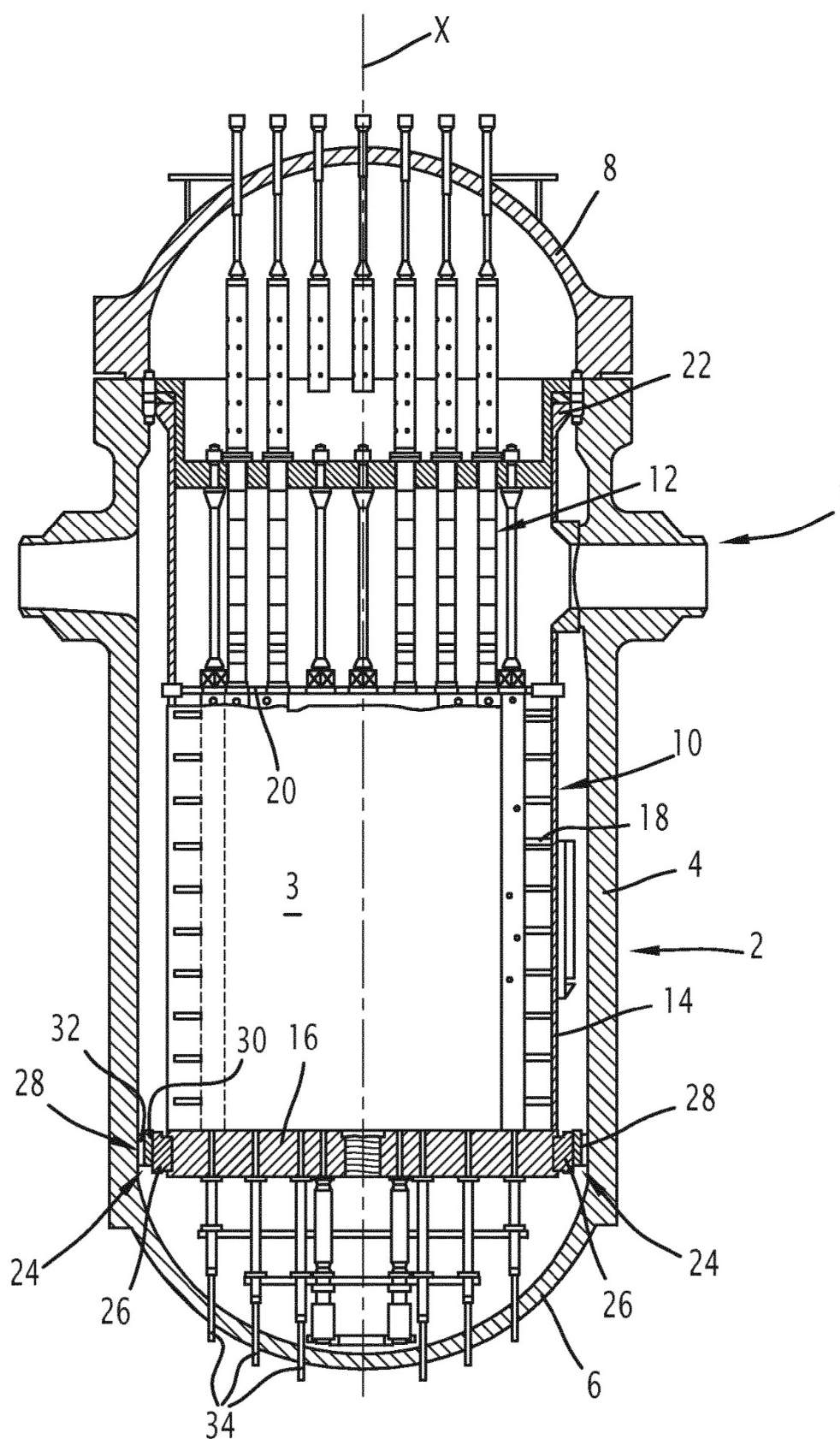


FIG.1

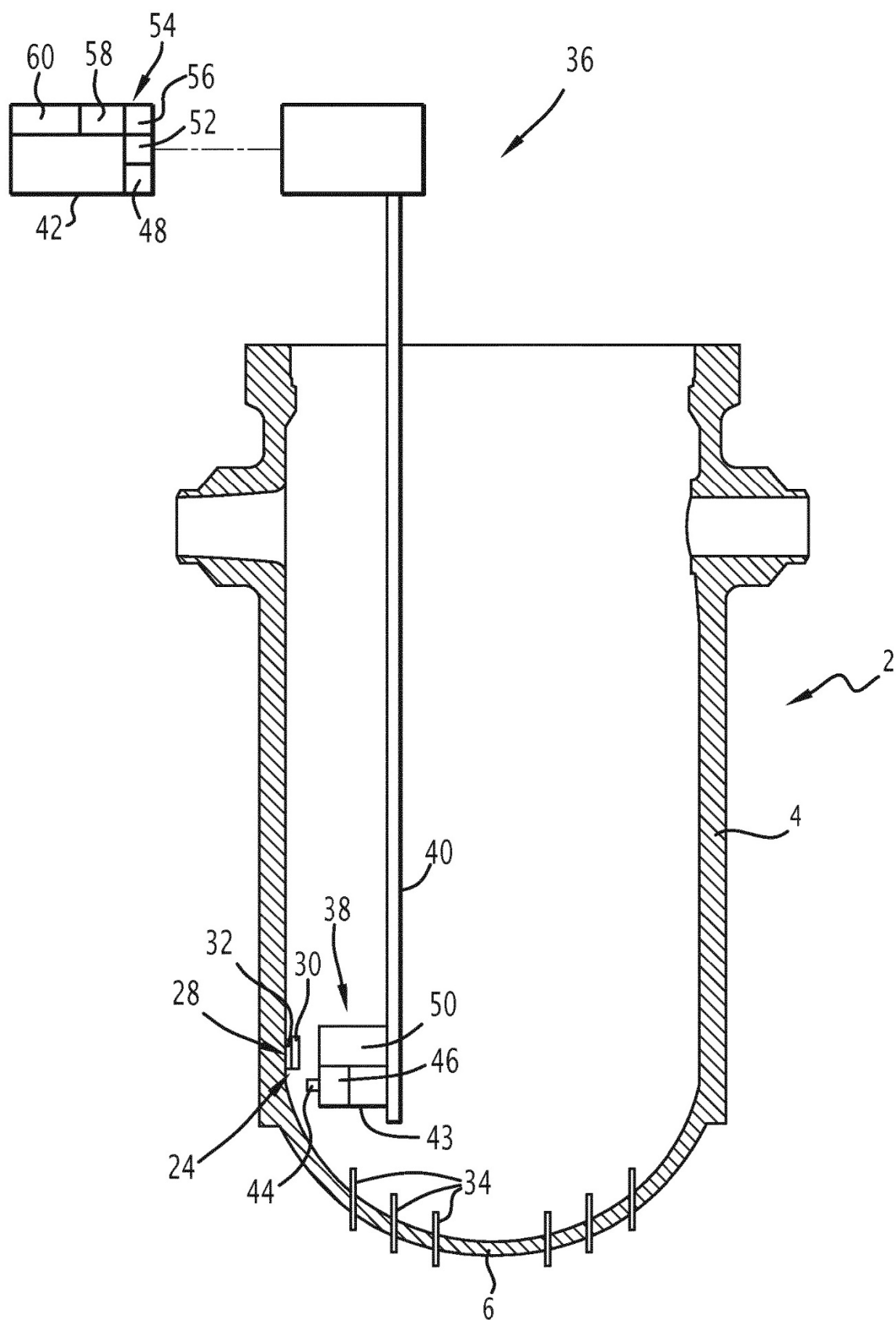


FIG. 2

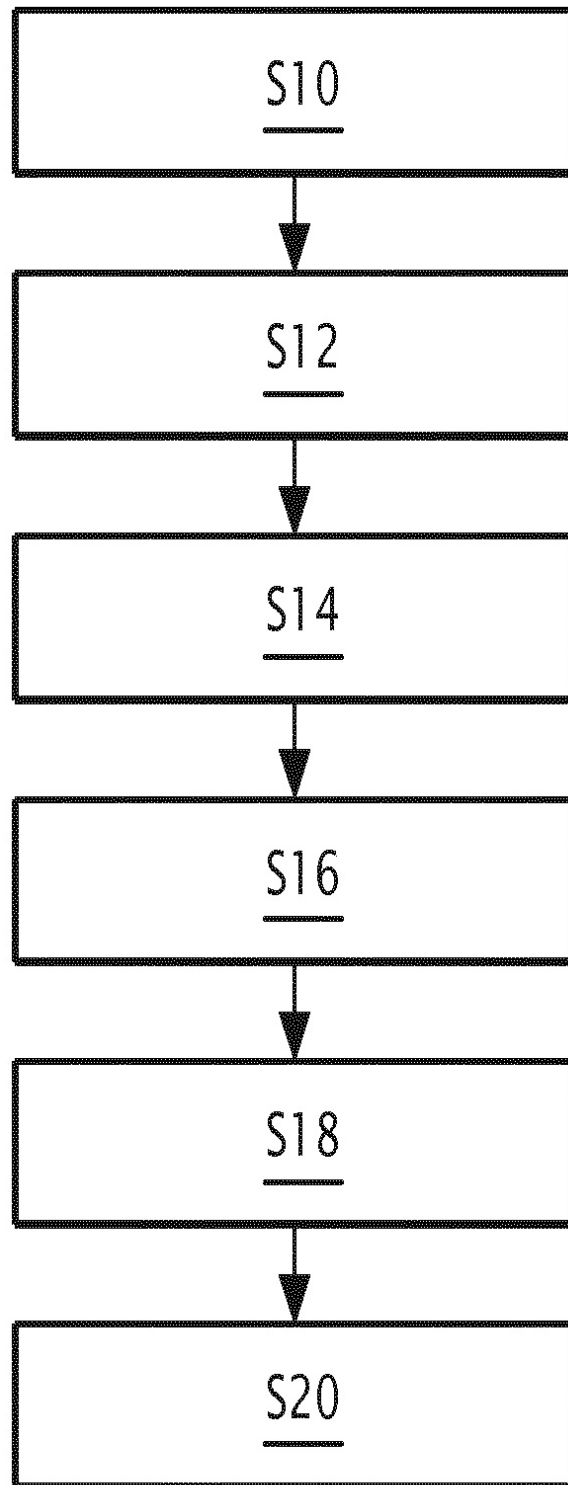


FIG.3