

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 574 980**

51 Int. Cl.:

G01B 7/16 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 21/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2007 E 07872026 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.03.2016 EP 2102582**

54 Título: **Procedimiento y sistema de identificación de riesgo de avería de una estructura de contención**

30 Prioridad:

22.12.2006 FR 0611330

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

23.06.2016

73 Titular/es:

**OXAND (100.0%)
49 AVENUE FRANKLIN ROOSEVELT
77210 AVON, FR**

72 Inventor/es:

**CROUIGNEAU, SOPHIE;
AUGE, LAURENT;
GERARD, BRUNO y
LASNE, MARC**

74 Agente/Representante:

DÍAZ NUÑEZ, Joaquín

ES 2 574 980 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 sistema de identificación de riesgo de avería de una estructura de contención

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de identificación de riesgo de avería de una estructura de contención o de almacenamiento de hormigón. Se refiere también a un sistema que implementa este procedimiento.

[0002] Esta invención se refiere más particularmente a un procedimiento y un sistema de identificación de riesgo de avería de las funciones de contención de una estructura de contención de hormigón, prevista, por ejemplo, para almacenar o depositar residuos de baja y media radiactividad, o gases licuados.

10 **[0003]** Una gran preocupación de los operarios de estructuras de contención, tales como estructuras de almacenamiento de residuos de baja y media radiactividad o de gases licuados, es el control de los riesgos de degradación, por un lado de las propiedades mecánicas de la estructura evitando la avería de los componentes a corto y a largo plazo, y por otro lado de las propiedades de contención evitando el deterioro de los componentes durante largos periodos que pueden ser de hasta cientos de años.

[0004] Los sistemas de monitorización de estructuras existentes permiten evaluar:

- 20 - las deformaciones teóricas esperadas obtenidas por cálculos de estimación realizados en función de los datos relativos a la estructura de contención; y
 - las deformaciones de la estructura de contención observadas durante la fase funcional de contención. Estas deformaciones se miden durante la fase de almacenamiento por medios de medición que comprenden unos sensores adecuados.

25 Por fase funcional de almacenamiento de la estructura, se entiende la fase de almacenamiento propiamente dicha de la estructura, es decir la fase durante la cual la estructura almacena un volumen finito del producto que hay que almacenar. Esta fase corresponde a la función principal de la estructura de contención, que es el almacenamiento de un producto, y puede esperarse que dure varios cientos de años.

30 **[0005]** Por lo tanto, es posible definir, con respecto a la fase funcional de almacenamiento, la fase de llenado de la estructura con el producto que hay que almacenar y una fase de evacuación (de vaciado o vaciado parcial) de la estructura. La fase de llenado corresponde a la fase durante la cual la estructura de contención recibe el producto destinado a ser almacenado por esta estructura y la fase de evacuación corresponde a la fase durante la cual la estructura se vacía, al menos parcialmente, del producto almacenado. Por supuesto, la fase de llenado precede a la fase funcional de almacenamiento y la fase de evacuación viene después de la fase funcional. Puede haber varias fases de llenado durante la vida de una estructura de contención, particularmente para las estructuras de almacenamiento de gases licuados.

35 **[0006]** El documento WO 2006/071227 A1 divulga un procedimiento y un sistema de inspección de contenedores metálicos que sirven para transportar productos.

40 **[0007]** El documento US 3 916 673 A divulga un sistema para ensayar de manera no destructiva canalizaciones deformables.

45 **[0008]** Un fin de la invención es proponer un procedimiento y un sistema de identificación de riesgos de avería de una estructura de contención más eficientes y más extensos que los procedimientos y sistemas existentes.

50 **[0009]** La presente invención permite conseguir este fin a través de un procedimiento de identificación de riesgos de avería de una estructura de contención, particularmente de una estructura de contención básicamente de hormigón, destinada a almacenar un producto, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- 55 - determinación, en función de los datos relativos a dicha estructura y/o dicho producto, de un comportamiento teórico esperado de dicha estructura durante las fases de llenado de dicha estructura con dicho producto a almacenar;
 - determinación de un comportamiento real de dicha estructura durante dicha fase de llenado de dicha estructura con dicho producto; y
 - determinación, por comparación de dichos comportamientos teóricos y reales, de los riesgos de avería de dicha estructura.

- 5 **[0010]** A diferencia de los procedimientos y los sistemas actuales, el procedimiento según la invención permite la identificación de los riesgos de avería de una estructura de contención, particularmente una estructura de contención de hormigón, mediante la comparación del comportamiento teórico y real de esta estructura durante la fase de llenado de la estructura con el producto a almacenar. En efecto, estas estructuras, que comprenden generalmente un conjunto de "cimentación/muro/tapa" de hormigón, pueden ser particularmente vulnerables durante su fase de llenado, durante la cual su estado de tensión evoluciona progresivamente. Este estado puede resultar ser el más severo en el ciclo de vida de dicha estructura.
- 10 **[0011]** Basándose esencialmente en la fase de llenado de una estructura de contención, el procedimiento según la invención permite vigilar y proporcionar indicadores de ayuda a la decisión que concierne a la fase de llenado de estructuras de almacenamiento con el fin de preservar sus funciones de contención a corto y largo plazo. En efecto, por la medida del comportamiento de la estructura en fase de llenado, el procedimiento de acuerdo con la invención permite:
- 15 - anticipar las posibles averías, seguir los riesgos ligados al mantenimiento de la estructura, y entonces controlar la explotación de las estructuras de contención para la gestión de los riesgos de avería a corto plazo;
 - confirmar las hipótesis de dimensionamiento de las estructuras a seguir;
 - trazar el comportamiento de la estructura durante esta fase de llenado, y así proporcionar un expediente completo que puede consultarse durante toda la vida útil de las estructuras para la gestión de los riesgos de avería a largo plazo;
- 20 **[0012]** Así, el procedimiento según la invención hace posible el control de los riesgos y de los impactos a corto y largo plazo de esta fase de llenado, controlando el comportamiento de los componentes bajo carga progresiva.
- 25 **[0013]** Ventajosamente, la determinación del comportamiento teórico de la estructura puede comprender al menos una simulación de dicho comportamiento teórico realizada por medios de simulación, tales como resolución analítica o modelización por elementos finitos. La simulación tiene en cuenta datos relativos a la estructura, dimensiones, componentes, materiales y datos relativos al producto a almacenar, así como datos relativos al procedimiento de llenado de la estructura por el producto. El comportamiento teórico de la estructura corresponde al comportamiento de la estructura que se prevé durante una fase de llenado de la estructura con el producto a almacenar.
- 30 **[0014]** La determinación del comportamiento real de la estructura puede comprender al menos una medida de dicho comportamiento real realizada en la estructura durante el llenado de dicha estructura con el producto que se va a almacenar. El comportamiento real de la estructura corresponde al comportamiento de la estructura mientras se llena con el producto que se va a almacenar.
- 35 **[0015]** Ventajosamente, la determinación del comportamiento teórico y/o real de la estructura puede comprender una determinación de al menos una deformación de al menos un componente de dicha estructura durante la fase de llenado. Para la determinación del comportamiento teórico, la deformación se determina de manera teórica, por ejemplo por simulación en base a datos relativos a la estructura o datos relativos a una deformación observada en una estructura similar durante su fase de llenado. Las incertidumbres sobre los parámetros de entrada tales como la resistencia de los materiales, pueden tenerse en cuenta a través de una aproximación fiable. Para la determinación del comportamiento real, la deformación se determina por mediciones realizadas en la estructura durante la fase de llenado.
- 40 **[0016]** La deformación en cuestión puede comprender al menos una deformación elástica de al menos un componente de la estructura. En ese caso, la etapa de determinación del comportamiento real de la estructura durante la fase de llenado puede comprender una medida de esta deformación elástica por sensores adecuadamente colocados sobre dicha estructura.
- 45 **[0017]** La deformación en cuestión también puede comprender una deformación por microdegradación de al menos un componente de dicha estructura. En ese caso la etapa de determinación del comportamiento real de la estructura puede comprender al menos una medición acústica de una deformación por microdegradación. Estas mediciones se conocen bien por un experto en la técnica.
- 50 **[0018]** Por microdegradación se entiende una microgrieta o una microfractura que puede producirse en un componente de la estructura de contención, ya sea en la parte interna del material, o en la parte visible externa.
- 55 **[0019]** Ventajosamente, el procedimiento según la invención puede además comprender una etapa de proposición de una solución de protección de dicha estructura en función de los riesgos determinados de avería. Entre las soluciones de protección se pueden mencionar:
- 60

- reforzar la estructura en emplazamientos particulares;
- detener el llenado de la estructura a un nivel determinado en función de los riesgos de avería;
- aumentar la vigilancia de la estructura en emplazamientos particulares; o
- detener, parcial o completamente, el funcionamiento.

5

[0020] Los datos relativos a la estructura de contención pueden comprender:

- datos experimentales relativos a la fase de llenado de una estructura similar;
- datos de prueba o de simulaciones;
- datos relativos a la composición de la estructura;
- datos relativos a cada uno de los componentes de la estructura;

10

[0021] Por otra parte, el procedimiento según la invención puede comprender almacenar, en una base de datos, información relativa al comportamiento real de la estructura durante la fase de llenado. Estos datos pueden usarse posteriormente para determinar el comportamiento teórico de una estructura de contención similar durante la fase de llenado en el momento de la determinación de riesgos de avería de esta estructura.

15

[0022] En un modo de utilización particular, el procedimiento según la invención puede implementarse para la identificación de riesgos de avería de una estructura de contención de residuos radiactivos, o de una estructura de almacenamiento de gases licuados. Estas estructuras de confinamiento son, la mayoría de las veces, estructuras de hormigón que se presentan en forma de un conjunto de "cimentación/muro/tapa".

20

[0023] El procedimiento según la invención puede comprender ventajosamente la determinación de al menos una zona crítica de la estructura de contención. La determinación de tal zona puede hacerse por un análisis de riesgos que consiste en una determinación de al menos un modo de avería de la estructura por análisis de un expediente de diseño y construcción de la estructura, de la modelización de elementos finidos de la estructura en función de los datos relativos a la estructura de contención, y/o teniendo en cuenta los datos relativos a un experimento en una estructura similar o idéntica, es decir datos obtenidos en una estructura de contención similar o idéntica utilizada durante un experimento pasado. La determinación de las zonas críticas permite concentrar y limitar el estudio de la estructura de contención a las zonas críticas. La determinación del comportamiento teórico y real de la estructura durante la fase de llenado puede realizarse, por lo tanto, para una o más zonas críticas de la estructura previamente determinadas, lo que reduce las mediciones que hay que realizar para la determinación del comportamiento real y los cálculos que hay que hacer para determinar el comportamiento teórico.

25

30

[0024] Por "zonas críticas" designamos las zonas de la estructura de contención, que presentan una probabilidad mayor de avería con relación a otras zonas de la estructura, y/o cuya avería produciría consecuencias más graves desde el punto de vista de la seguridad, del medio ambiente o de las pérdidas de explotación.

35

[0025] Por supuesto, el procedimiento según la invención puede implementarse para la identificación de riesgos de avería de una estructura de contención durante una pluralidad de fases de llenado de dicha estructura.

40

[0026] El procedimiento según la invención puede además comprender una determinación de riesgos de avería de la estructura de contención durante una fase de evacuación, de la estructura de contención. En este caso, los comportamientos teóricos y reales de la estructura de contención se calcularán para la fase de evacuación de la estructura de contención. Las zonas críticas de la estructura también se calcularán para la fase de evacuación de la estructura de contención. Las diferentes etapas y las operaciones del procedimiento según la invención, descritas anteriormente para la fase de llenado de la estructura de contención, se aplicarán entonces de manera sustancialmente similar a la fase de evacuación de la estructura de contención. Los datos y características tenidos en cuenta en los cálculos del comportamiento teórico se referirán a la fase de evacuación y las deformaciones reales para la determinación del comportamiento real se medirán durante la fase de evacuación.

45

50

[0027] En el caso de un ejemplo no limitante de aplicación, puede aplicarse un procedimiento según la invención a estructuras de contención, utilizadas a medio plazo, tales como los depósitos de almacenamiento de gas natural licuado (GNL). Los depósitos de GNL se utilizan como estructuras tampón que permiten regular el almacenamiento de GNL entre su aprovisionamiento por metaneros y su distribución progresiva a los consumidores. Por lo tanto, se llenan o se vacían a menudo sin que haya necesariamente una alternancia entre las fases de llenado y las fases de evacuación. El procedimiento según la invención permite determinar los riesgos de avería de dicha estructura de contención realizando una supervisión de esta estructura en relación a las fases de llenado y evacuación.

55

[0028] Según otro aspecto de la invención se propone un sistema de identificación de riesgos de avería de una estructura de contención, particularmente de una estructura de contención básicamente de hormigón, destinada a almacenar un producto, comprendiendo dicho sistema:

- medios para determinar, en función de los datos relativos a dicha estructura y/o a dicho producto, un comportamiento teórico esperado de dicha estructura durante una fase de llenado de dicha estructura con dicho producto a almacenar;
- medios para determinar un comportamiento real de dicha estructura durante dicha fase de llenado de dicha estructura con dicho producto; y
- medios de cálculo para determinar, por comparación de los dichos comportamientos teóricos y reales, riesgos de avería de dicha estructura.

[0029] Los medios para determinar el comportamiento real de la estructura comprenden sensores proporcionados para medir una deformación elástica de al menos un componente de dicha estructura. Estos sensores pueden ser moldearse en el hormigón de los componentes de una estructura de hormigón (montaje soportado en los refuerzos si es hormigón armado), o montarse en las superficies externas de los componentes de la estructura de manera accesible para garantizar su mantenimiento a lo largo de la duración de las estructuras. Esta elección de sensores puede depender, por ejemplo, de la presencia o ausencia de materia orgánica en los sensores. En una realización particular, estos sensores pueden comprender sensores del tipo fibra óptica, indicadores de desplazamiento o inclinómetros.

[0030] Los medios para determinar el comportamiento real de la estructura pueden también comprender sensores proporcionados para medir una deformación por microdegradación de al menos un componente de dicha estructura. En una realización particular estos medios pueden comprender, por ejemplo, sensores acústicos colocados adecuadamente para determinar una deformación por microdegradación de un componente de la estructura. En efecto, una microdegradación puede, por encima de un cierto nivel, producir una señal acústica que puede medirse por sensores acústicos. Utilizando varios sensores acústicos es posible determinar el emplazamiento de la microdegradación por triangulación, por ejemplo.

[0031] Otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a partir del examen de la descripción detallada de una realización que no es limitativa de ningún modo, y los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una representación esquemática de una estructura de contención;
- la figura 2 es un diagrama de flujo que muestra el principio de determinación de los riesgos de avería de una estructura de contención de acuerdo con el procedimiento según la invención;
- la figura 3 es una representación de las deformaciones de una estructura de contención durante la fase de llenado de esta estructura;
- la figura 4 es una representación esquemática de un sistema de determinación de los riesgos de avería de una estructura de contención por medio del procedimiento de acuerdo con la invención;
- la figura 5 es una representación del diagrama de flujo de la figura 2, en la que la determinación de los riesgos de avería se limita a zonas críticas; y
- la figura 6 es una representación esquemática de un depósito de almacenamiento de gas natural licuado (GNL).

[0032] La figura 1 es una representación de una estructura de contención 10 para residuos de baja o media radiactividad. La estructura de contención 10 está en forma de un depósito paralelepípedo de hormigón armado que comprende una cimentación 11 y muros 12.

[0033] Esta estructura de almacenamiento de residuos radiactivos 10 está dotada de sensores 13 que están moldeados en el hormigón de los componentes, particularmente de los muros 12 por un montaje soportado sobre los refuerzos, o montados sobre las superficies externas de los muros 12 con vistas a un desmontaje una vez se ha terminado el llenado. Esta elección depende de la presencia o ausencia de materia orgánica en los sensores. En el presente ejemplo, los sensores 13 consisten en sensores de tipo fibra óptica o inclinómetros proporcionados para medir las deformaciones de los muros durante el llenado del depósito 10, así como de sensores acústicos proporcionados para medir las deformaciones por microdegradaciones: microgrietas o microfracturas. El depósito 10 se llena en el sentido de las flechas 14 mostradas en la figura 1.

[0034] La figura 2 muestra un diagrama de flujo del principio de determinación de los riesgos de avería de la estructura de contención 10 según el procedimiento de acuerdo con la invención. En función de los datos de entrada relativos al depósito 10, al producto que hay que almacenar, así como al procedimiento de llenado del depósito 10 e hipótesis de dimensionamiento, una herramienta predictiva 21 permite modelar de manera analítica el comportamiento teórico del depósito 10 y proporcionar indicadores relativos a este comportamiento durante la fase de llenado. Entre estos

indicadores, encontramos indicadores relativos a las deformaciones teóricas esperadas D_{th} sobre el depósito 10. Estos indicadores se comunican a un módulo 22 para el análisis y determinación de los riesgos de avería.

- 5 **[0035]** Este depósito se llena con un fluido heterogéneo y radiactivo, de densidad variable, en varias etapas. Durante la fase de llenado, un bloque monitorización 23, proporciona las deformaciones reales D_{mon} medidas por medio de los sensores 13 situados en el depósito 10. Estas deformaciones D_{mon} , por una parte, se registran para su uso posterior durante el modelado de las deformaciones teóricas de otra estructura de contención similar al depósito 10, y por otra parte, se envían al módulo 22 para el análisis y determinación de los riesgos de avería.
- 10 **[0036]** El bloque 22 determina entonces, por comparación de las deformaciones teóricas D_{th} calculadas por la herramienta predictiva 21 y deformaciones medidas D_{mon} durante la monitorización de la fase de llenado por el módulo 23, los riesgos de avería del depósito 10. En función de estos riesgos, un bloque 24 propone soluciones de protección del depósito 10 en función de los riesgos determinados de avería.
- 15 **[0037]** Se pone interés en este ejemplo en la deformación sufrida por un muro 12 del depósito 10, en su eje central representado por la flecha 31 sobre la figura 3, a lo largo de la fase de llenado. La figura 3 es una representación del modelado de la deformación de los muros 12 de este depósito 10 conforme a las hipótesis reglamentarias de dimensionamiento. Este modelado, realizado por la herramienta predictiva 21, permite obtener las deformaciones teóricas D_{th} previsibles de cada uno de los muros 12 para una altura del llenado establecida. Las deformaciones teóricas de los muros 12 se determinan con relación a un eje 32 representado en esta figura 3. En el instante t_i , la altura de llenado h_i se ha ajustado: a esta altura h_i le corresponde un estado de deformación muy específica de los muros 12, predeterminado por los resultados del modelado. Se realizan varios modelos, para un número pertinente de h_i , en función de la altura total de los muros 12. Por lo tanto, en el instante t_i , se obtiene el conjunto de los desplazamientos teóricos $D_{th(h_i,z)}$ del muro 12 a lo largo del eje z. La tabla que se muestra a continuación proporciona las deformaciones teóricas $D_{th(h_i,z)}$ previstas para los muros 12 del depósito 10 en función de la altura de llenado:
- 20
- 25

Desplazamientos teóricos reglamentarios $D_{th}(h_i, z)$ previstos a lo largo del muro en el instante t_i (resultados de los modelos, a lo largo de Ox)		h_i : altura del llenado en el instante t_i [m]						
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	...
ordenada del muro z [m]	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	...
	0,4	0,2	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	...
	0,6	0,1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	...
	0,8	0,0	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	...
	1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,9	...
	1,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	1,0	...
	1,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,8	...
	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	...
	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	...
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	...

Estas deformaciones teóricas $D_{th(h_i, z)}$, obtenidas por la herramienta predictiva 21 por simulación analítica se proporcionan al módulo 22 para el análisis y determinación de los riesgos de avería.

[0038] Por otra parte, en cada instante t_i correspondiente al ajuste de una altura de llenado t_i , los datos de los sensores 13 se introducen y se guardan por el módulo de monitorización 23. Por lo tanto, se obtienen los desplazamientos reales $D_{mon(hi, z)}$ a lo largo del eje central 31 de los muros 12. Estas deformaciones $D_{mon(hi, z)}$ se proporcionan al módulo 22 para el análisis y determinación de los riesgos de avería.

[0039] Así, el módulo 22 para el análisis y determinación de los riesgos de avería recibe:

- las deformaciones teóricas $D_{th(hi, z)}$, obtenidas por la herramienta predictiva 21 por simulación analítica; y
- las deformaciones reales $D_{mon(hi, z)}$, obtenidas por el módulo de monitorización 23 por medio de los sensores 13.

En cada instante t_i se comparan las deformaciones teóricas $D_{th(hi, z)}$ y reales $D_{mon(hi, z)}$. Se compara así el estado de deformación teórica del muro con su estado de deformación real: concretamente, para cada ordenada z , se comparan $D_{th(hi, z)}$ y $D_{mon(hi, z)}$.

[0040] Los riesgos de avería de los muros 12, calculados por el módulo 22, están directamente ligados a las desviaciones entre $D_{th(hi, z)}$ y $D_{mon(hi, z)}$. A modo de ejemplo, es posible definir 3 niveles de riesgo, ligados a tres niveles de desviación, y las soluciones de protección recomendadas para cada nivel de riesgo:

Desviación $[D_{mon(hi, z)}]/[D_{th(hi, z)}]=Y$	Nivel de riesgo	Decisión recomendada al encargado
si $Y \geq 0,6$	Riesgo escaso	RAS: el relleno puede ser proseguido normalmente
si $0,6 < Y \leq 0,8$	Riesgo medio	Alerta menor: el seguimiento de las deformaciones debe ser acentuado
si $Y > 0,8$	Riesgo importante	Alerta mayor: el relleno debe ser interrumpido; una demostración debe justificar la reanudación del relleno (ej: explotación de la capacidad de adaptación plástica de hierros pasivos, o proposición de un acomodo de la estructura)

[0041] Como se muestra en la figura 4, el operador 41, usando este enfoque, dispone así de indicadores de ayuda a la decisión que permite el control de los riesgos de llenado de una estructura de contención 10 y de los riesgos de averías de la estructura ligados al comportamiento de la estructura durante la fase de llenado. Dispone de medios de cálculo 42 proporcionados para determinar por simulación el comportamiento teórico de la estructura durante una fase de llenado, medios de monitorización proporcionados para determinar el comportamiento real de la estructura 10 durante la fase de llenado y medios de cálculo 43 proporcionados para determinar los riesgos de averías, así como medios de proposición de una solución de protección para cada nivel de riesgo detectado.

[0042] La figura 5 es una representación del diagrama de flujo de la figura 2, en el que la determinación de los riesgos avería de la estructura de contención se concentra en zonas críticas previamente determinadas. Como se indica, las deformaciones esperadas se calculan por la herramienta predictiva 21 solamente para las zonas críticas, y las deformaciones reales se miden a nivel de las zonas críticas por el módulo de monitorización 23 por medio de los sensores 13.

[0043] La determinación de las zonas críticas de la estructura se realiza a través de un análisis de los riesgos de los diferentes componentes de la estructura. Este análisis de riesgos determina y localiza los modos más críticos de avería de la estructura: puede basarse en un estudio del expediente de diseño de la estructura, por ejemplo un estudio de los márgenes de seguridad que están previstos en el diseño, y/o sobre un estudio del expediente de construcción de la estructura que revela defectos iniciales, defectos de fabricación, desviaciones de construcción con respecto al diseño de la estructura, y/o teniendo en cuenta los datos relativos a un experimento sobre una estructura similar o idéntica, es decir datos obtenidos sobre una estructura de contención similar o idéntica utilizada en el momento de un experimento pasado, y/o por una modelización de elementos finitos de la estructura.

[0044] La determinación de las zonas críticas puede realizarse paralelamente a la determinación del comportamiento teórico de la estructura, o previamente.

- 5 [0045] El procedimiento según la invención puede aplicarse a cualquier estructura de contención de hormigón y, particularmente, a depósitos de almacenamiento de gas natural licuado (GNL). La figura 6 es una representación esquemática de un depósito de almacenamiento de GNL de integridad total 60. Dicho depósito 60 está constituido de una estructura de contención de hormigón 61 y una cuba interna 62 para retener el GNL. La estructura de contención de hormigón 61 tiene las funciones de evitar:
- el vertido de GNL líquido en el entorno en caso de rotura de la cuba interna, y
 - las fugas de GNL vapor en la atmósfera.
- 10 [0046] Dicha estructura de contención 61 es una estructura "tampón", es decir que permite regular el almacenamiento de GNL entre su suministro por metaneros y su distribución progresiva a los consumidores. Su duración de explotación es generalmente varias décadas (aproximadamente 40- 60 años).
- 15 [0047] La cuba interna 62 del depósito 60 sufre fases irregulares de llenado y de vaciado o de descarga en función del ritmo de suministro y de la demanda de distribución. En función del llenado de la cuba interna, la carga sobre los diferentes componentes del recinto externo varía: indirectamente a través de la cimentación para las estructuras autoportantes, directamente sobre los muros y la cimentación para las estructuras de membrana.
- 20 [0048] El procedimiento según la invención permite determinar los riesgos de avería de dicho depósito de GNL supervisando la estructura en el momento de cada fase de llenado del depósito y, eventualmente, durante cada fase de evacuación del depósito.
- 25 [0049] Por supuesto, la invención no se limita al ejemplo que se acaba de describir y pueden hacerse numerosos ajustes a este ejemplo sin apartarse del alcance de la invención reivindicada.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Procedimiento de identificación de riesgos de avería de una estructura de contención (10), particularmente de una estructura de contención básicamente de hormigón, destinada a almacenar o depositar un producto, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas:
- determinación, en función de datos relativos a dicha estructura (10) y/o a dicho producto, de un comportamiento teórico previsto de dicha estructura (10) durante una fase de llenado de dicha estructura (10) con dicho producto que se va a almacenar;
 - 10 - determinación de un comportamiento real de dicha estructura (10) durante dicha fase de llenado de dicha estructura (10) con dicho producto; y
 - determinación, por comparación de los dichos comportamientos teóricos y reales, de los riesgos de avería de dicha estructura (10).
- 15 **2.** Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende la determinación de al menos una zona crítica de la estructura por estudio de un expediente de diseño y/o de construcción de la estructura, y/o sobre datos relativos a un experimento sobre una estructura similar o idéntica.
- 20 **3.** Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por que** la determinación del comportamiento teórico y real de la estructura (10) durante la fase de llenado se realiza para una o más zonas críticas de la estructura previamente determinadas.
- 25 **4.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la determinación del comportamiento teórico de la estructura (10) comprende al menos una simulación de dicho comportamiento teórico realizada en medios de simulación (21).
- 30 **5.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la determinación del comportamiento real de la estructura (10) comprende al menos una medida de dicho comportamiento real realizada sobre dicha estructura (10) durante el llenado de dicha estructura (10) con el producto a almacenar.
- 35 **6.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la determinación del comportamiento teórico y/o real de la estructura (10) comprende una determinación de al menos una deformación (D_{th} , D_{mon}) de al menos un componente (12) de dicha estructura (10) durante la fase de llenado.
- 40 **7.** Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado por que** la deformación comprende al menos una deformación elástica de al menos un componente (12) de la estructura (10).
- 8.** Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado por que** la etapa de determinación del comportamiento real de la estructura (10) comprende una medida de una deformación elástica por sensores (13) adecuadamente colocados sobre dicha estructura (10).
- 45 **9.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizado por que** la deformación comprende una deformación por microdegradación de al menos un componente (12) de dicha estructura (10).
- 50 **10.** Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado por que** la etapa de determinación del comportamiento real de la estructura (10) comprende al menos una medida acústica de una deformación por microdegradación.
- 11.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende además una etapa de proposición de una solución de protección de dicha estructura (10) en función de los riesgos determinados de avería.
- 55 **12.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los datos relativos a dicha estructura (10) comprenden datos experimentales relativos a la fase de llenado de una estructura similar.
- 13.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende almacenar, en una base de datos, información relativa al comportamiento real de la estructura (10) durante la fase de llenado.

14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se implementa para determinar los riesgos de averías de una estructura de contención durante una pluralidad de fases de llenado de dicha estructura.
- 5 15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se implementa para identificar los riesgos de avería de una estructura de confinamiento de residuos radiactivos (10).
- 10 16. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se implementa para identificar los riesgos de avería de un depósito de almacenamiento de gas natural licuado (GNL) de integridad total (60).
- 15 17. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende además una determinación de los riesgos de avería durante una fase de evacuación de la estructura de contención, reiterándose las diferentes operaciones y etapas de dicho procedimiento durante dicha fase de evacuación.
- 20 18. Sistema de identificación de riesgos de avería de una estructura de contención, particularmente de una estructura de contención (10) básicamente de hormigón, destinada a almacenar un producto, comprendiendo dicho sistema:
- medios (21) configurados para determinar, en función de datos relativos a dicha estructura (10) y/o a dicho producto, un comportamiento teórico de dicha estructura (10) durante una fase de llenado de dicha estructura (10) con dicho producto a almacenar;
 - medios (23) configurados para determinar un comportamiento real de dicha estructura (10) durante dicha fase de llenado de dicha estructura (10) con dicho producto; y
 - medios de cálculo (22) configurados para determinar, por comparación de los dichos comportamientos teórico y real, los riesgos de avería de dicha estructura (10).
- 25 19. Sistema según la reivindicación 18, **caracterizado por que** los medios (23) para determinar el comportamiento real de la estructura (10) incluyen sensores (13) proporcionados para medir una deformación elástica de al menos un componente (12) de dicha estructura (10).
- 30 20. Sistema según la reivindicación 19, **caracterizado por que** los sensores (13) proporcionados para medir una deformación elástica incluyen sensores de tipo fibra óptica o inclinómetro.
- 35 21. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, **caracterizado por que** los medios (23) para determinar el comportamiento real de la estructura (10) comprenden sensores (13) proporcionados para medir una deformación por microdegradación de al menos un componente (12) de dicha estructura (10).
22. Sistema según la reivindicación 21, **caracterizado por que** los sensores (13) proporcionados para medir una deformación por microdegradación incluyen sensores acústicos.

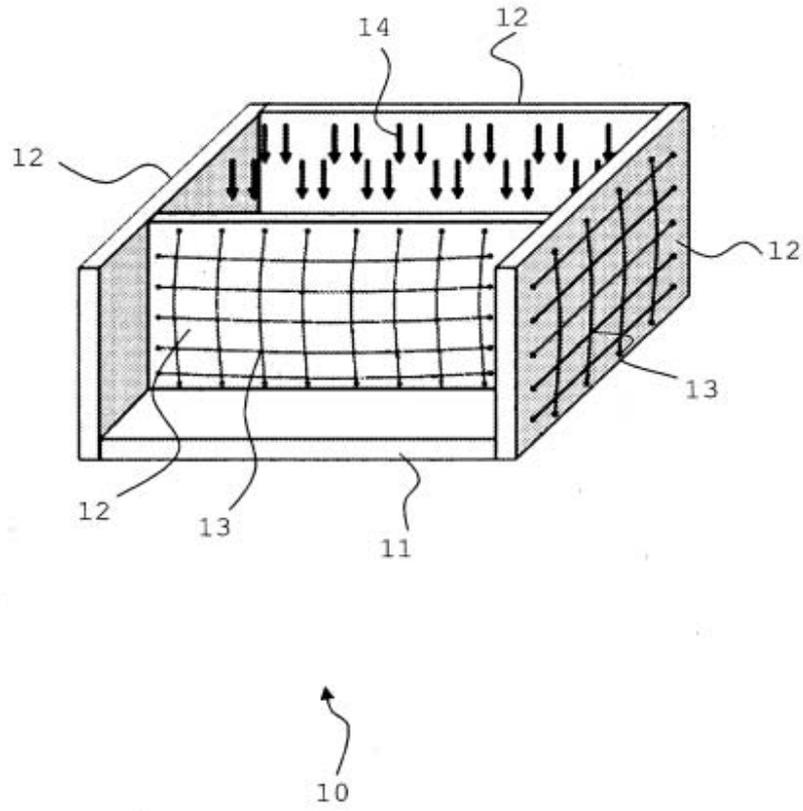


FIG.1

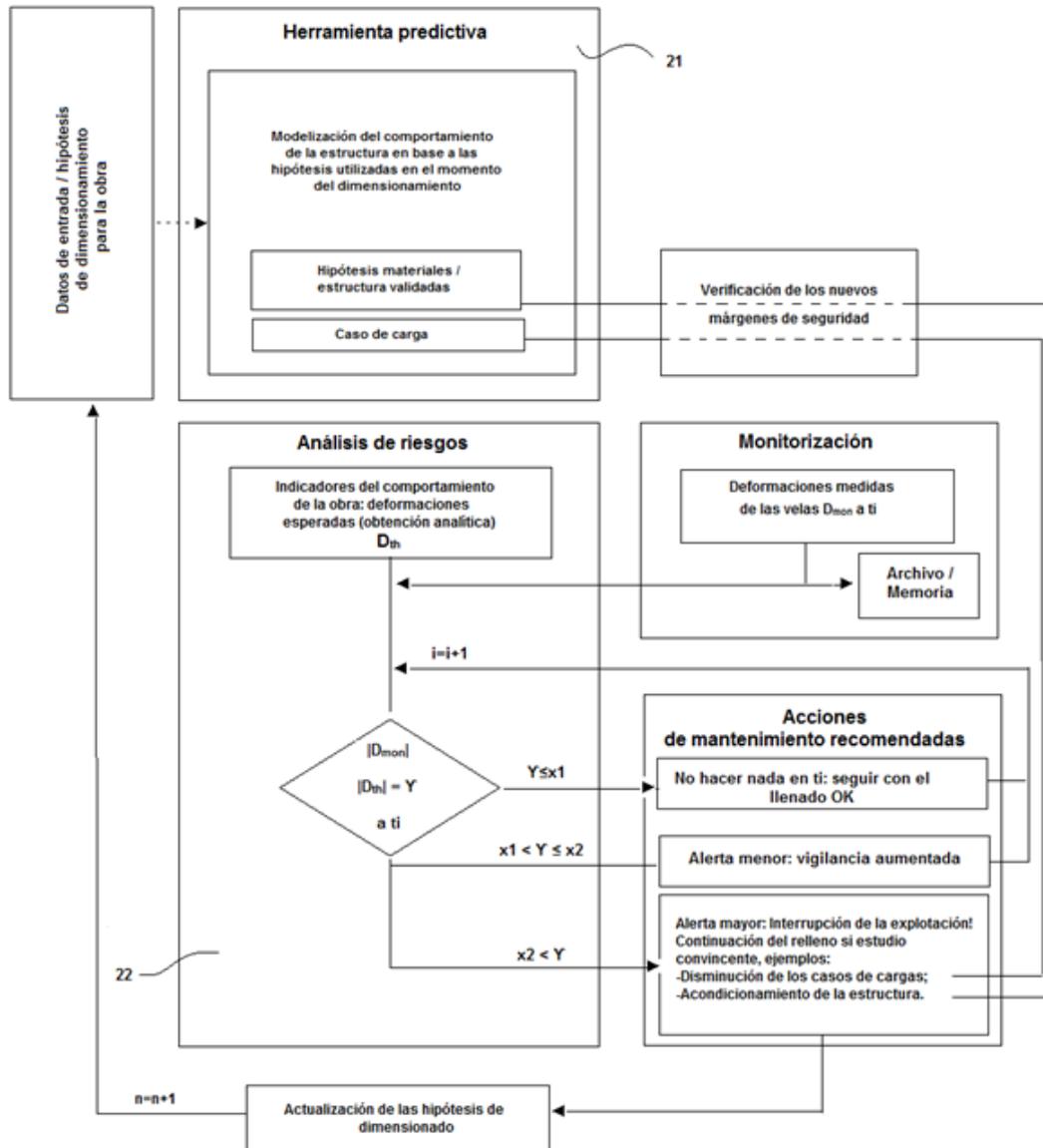


FIG.2

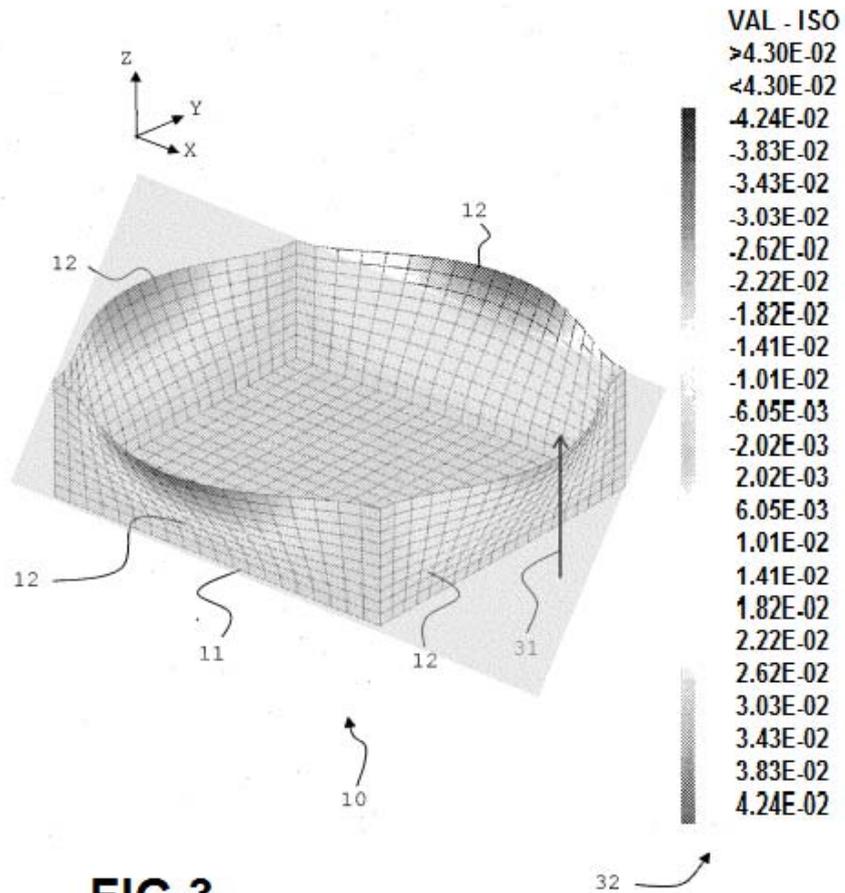


FIG.3

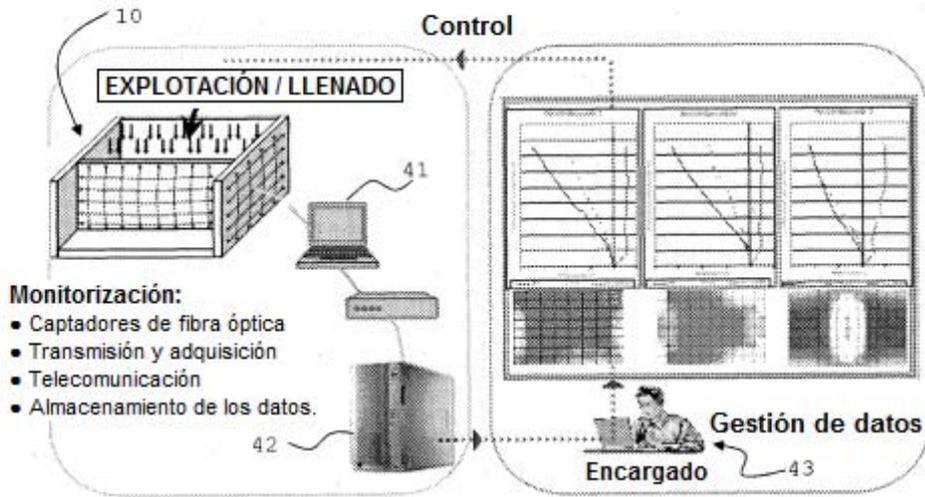


FIG.4

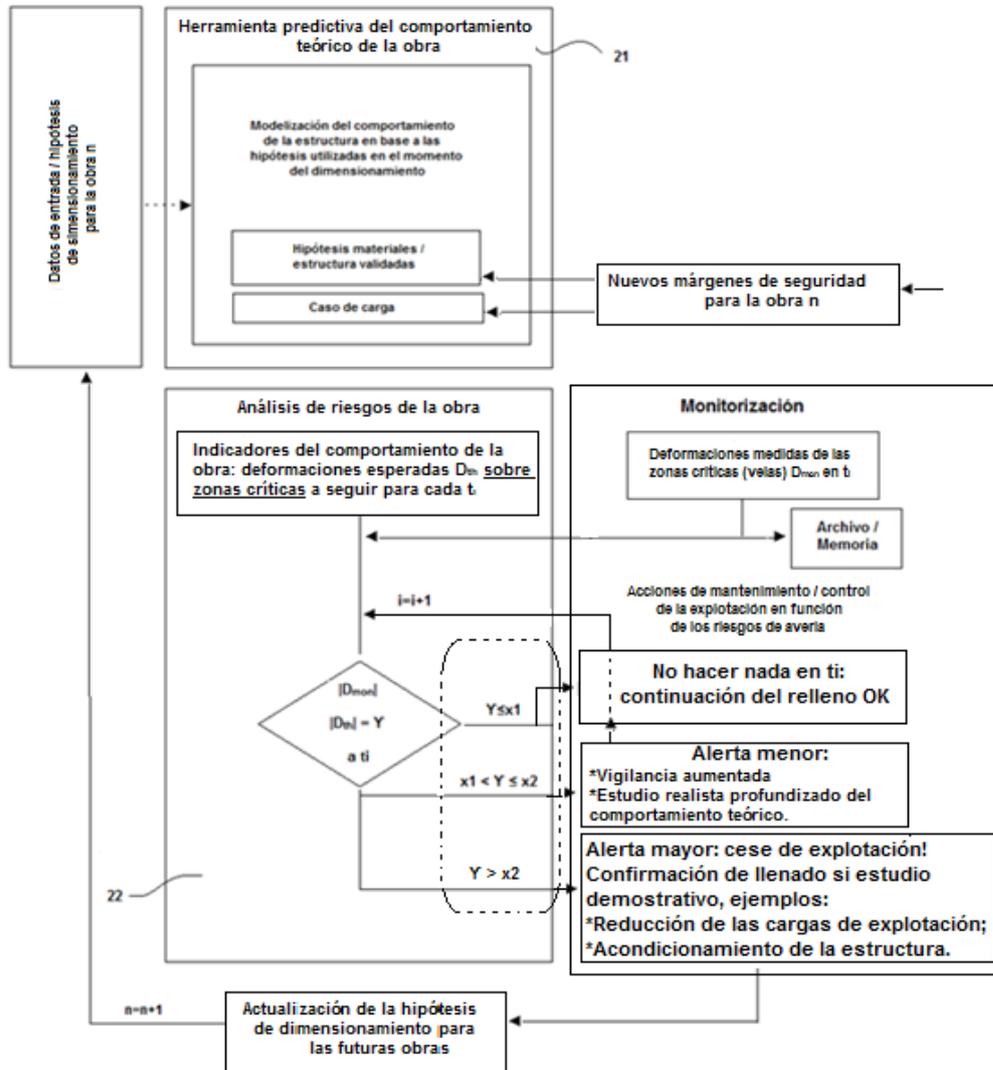


FIG.5

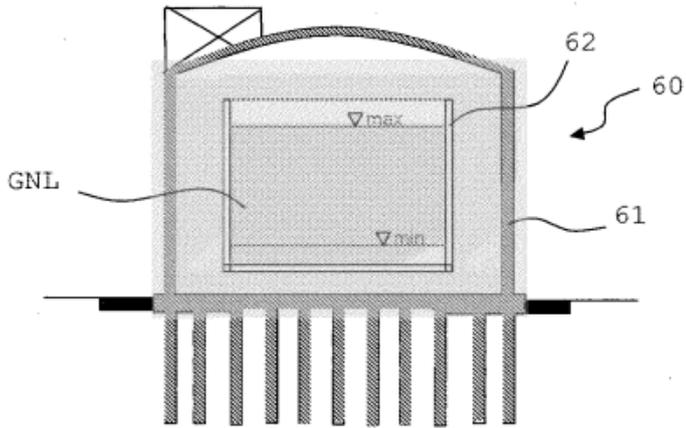


FIG. 6