

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 788 624**

51 Int. Cl.:

**G01M 3/26** (2006.01)

**G01M 3/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2014** **E 14461588 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 3021101**

54 Título: **Aparato y método para la monitorización de estructuras de ingeniería huecas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.10.2020**

73 Titular/es:  
**FEDERAL INSTITUTE FOR MATERIALS  
RESEARCH AND TESTING (BAM) (33.3%)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin, DE;  
FEDERAL INSTITUTE FOR MATERIALS  
RESEARCH AND TESTING (BAM) (33.3%);  
TECHNOLOGIEKONTOR BREMERHAVEN GMBH  
(33.3%) y  
FELLER, OLIVER (33.3%)**

72 Inventor/es:  
**FELLER, OLIVER;  
STOLINSKI, MAREK;  
THOENS, SEBASTIAN y  
LUEDECKE, FALK**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 788 624 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

Aparato y método para la monitorización de estructuras de ingeniería huecas

La presente invención se refiere a la monitorización del estado estructural de estructuras de ingeniería civil, especialmente a la monitorización continua de estructuras, elementos o artículos huecos de tales estructuras. Se basa en la denominada detección de elementos inundados (FMD).

Normalmente, las estructuras de ingeniería civil están sometidas a desgaste, en particular, a tensión periódica. Una grieta superficial que se produce normalmente bajo cargas de fatiga en el caso de estructuras huecas, además de en el caso de, por ejemplo, puentes, pasos elevados para peatones, pasos elevados, pilotes, estadios, torres, estructuras instaladas en tierra en alta mar tales como monopilotes o tripilotes, pueden convertirse en una grieta a través de grosor (TTC). Las TTC en crecimiento pueden provocar rápidamente daños adicionales e incluso la destrucción. Por tanto, la monitorización y detección temprana de grietas a través de grosor puede ayudar a impedir daños y pérdidas económicas. En ese caso, por estructura de ingeniería civil se tiene en consideración cualquier estructura artificial diseñada y/o construida aplicando habilidades técnicas de ingeniería y conocimiento. Ejemplos de tales estructuras comprenden una planta de tratamiento; una central eléctrica; una torre; una torre de enfriamiento; una construcción de bloqueo; cualquier alojamiento o construcción industrial; una construcción de edificio; un cine; un estadio; un pabellón; un puente; un paso elevado; un paso elevado para peatones; un carril elevado; una conexión a tierra del mismo; una conexión a tierra en alta mar de un generador eólico o similares; una subestación o soporte de turbina eólica; un andamio; un andamiaje; una subestructura; un trabajo de base; un cimientado; una base; un doble fondo; un casco doble; un pontón o estructura de soporte de turbina eólica flotante; una cercha, por ejemplo, cercha de cordones planos; un elemento de soporte o pilote para cualquier equipo o plataforma industrial.

Se han establecido métodos y técnicas de detección no destructivas aceptadas de manera general para la monitorización del estado estructural de estructuras de ingeniería civil. Por ejemplo, en la industria de gas y combustible naturales se establecen técnicas de detección basadas en rayos x y ultrasonidos. En otras áreas de monitorización del estado estructural se reconocen y están generalizados métodos termográficos. No obstante, no pueden usarse todos y cada uno de los métodos de monitorización de manera eficaz y económica directamente en una industria diferente, por ejemplo, tales como los que actualmente se encuentran en auge, por ejemplo, en regiones costeras y en alta mar.

El documento US 4 104 906 A describe una detección de grieta temprana con un sistema de múltiples presiones. El documento US 2002/092855 A1 describe un método de automonitorización y un aparato para la monitorización del estado de una estructura. El documento FR 2 384 251 A1 describe un método y aparato para la detección temprana de grietas de elementos sometidos a importantes limitaciones. El documento WO 2009/065175 A1 describe un sistema de monitorización de presión comparativo diferencial. El documento WO 2009/065174 A1 describe un instrumento de monitorización de presión comparativo. El documento EP 0 415 848 A1 describe un método para monitorizar cables y tuberías tubulares flexibles durante el funcionamiento y recogida acústica para implementar este método. El documento US 2012/099398 A1 describe una detección de elemento inundado remoto. El documento US 2011/135468 A1 describe sistemas y métodos para monitorizar el estado estructural de una turbina eólica.

En vista de lo anterior, se sugiere un método para la monitorización a largo plazo de una estructura hueca según la reivindicación 1, se sugiere un método para mantener una estructura hueca según la reivindicación 12, se sugiere el uso del método de las reivindicaciones 1- 11 según la reivindicación 13, se sugiere un aparato para estos métodos según la reivindicación 14; y se sugiere el uso del método según la reivindicación 12 según la reivindicación 21. Realizaciones adicionales, modificaciones y mejoras se desprenden de la descripción, figuras y reivindicaciones siguientes.

Según una realización, se sugiere un método para la monitorización a largo plazo de una estructura de ingeniería civil, en el que la estructura de ingeniería civil comprende al menos un elemento hueco que comprende un compartimento cerrado interno. El método sugerido comprende:

- establecer una presión interna de fluido en el compartimento;

- monitorizar la presión interna de fluido con el fin de detectar un cambio de la presión interna de fluido que indica una grieta a través de grosor en el compartimento,

en el que la monitorización a largo plazo comprende monitorizar durante al menos dos semanas, preferiblemente durante 1 mes, más preferiblemente durante 1 año, especialmente durante periodos que se extienden cinco años.

En este caso, establecer comprende medir de manera pasiva (es decir detectar) una presión que está presente en el interior del compartimento cerrado. Esa presión puede ser una presión de fluido producida, generada anteriormente, o que se produce de manera natural en el interior del compartimento. Alternativamente, establecer también comprende generar, es decir, producir de manera activa, una presión de fluido determinada (una presión objetivo) que se toma como la presión de partida. Al establecer un determinado valor de presión umbral, pueden detectarse desviaciones de una presión de fluido y pueden llevarse a cabo acciones, si la presión de fluido medida se desvía más que el valor umbral de la presión de fluido establecida.

Ventajas de ese método son, por ejemplo, su aplicabilidad a largo plazo y sus bajos costes, tanto para la

implementación como para el mantenimiento y su aplicabilidad a una amplia gama de estructuras de ingeniería civil tal como se indicó anteriormente, por ejemplo, tal como las estructuras instaladas en tierra, una subestación o soporte de turbina eólica; un andamio, un andamiaje, una subestructura, un trabajo de base, un cimiento, una base, un doble fondo, un casco doble, o un pontón.

5 Según la realización adicional el método comprende, además:

- proporcionar un sensor de presión para medir la presión interna de fluido y cuyas señales son independientes de la temperatura ambiental y/o choque y

- proporcionar una unidad de control que está configurada para detectar el cambio del valor de presión interna.

10 Las ventajas comprenden robustez, fiabilidad y detección de fallos anticipada incluso para una estructura hueca compleja, que comprende múltiples compartimentos huecos internos.

Según otra realización, se mide la presión de un fluido en el interior del compartimento, en el que el fluido comprende un líquido o un gas, preferiblemente un gas, tal como aire o un elemento constitutivo del mismo.

15 Las ventajas son la fácil accesibilidad del aire y de los elementos constitutivos del aire, tal como, por ejemplo, dióxido de carbono, nitrógeno, argón u otros. En principio, puede usarse cualquier gas para presurizar el compartimento hueco. Según una modificación, el compartimento hueco, por ejemplo, en una estructura similar a un monopilote, puede rellenarse con agua. Simplemente se establecerá la presión del aire por encima del agua, mientras que el compartimento hueco se rellenará principalmente con agua. Ventajosamente, la flotabilidad de estructuras de ingeniería civil tales como monopilotes o tripilotes en una región en alta mar se reducirán y, por lo tanto, la estabilidad mejorará en gran medida.

20 Según otra realización la monitorización comprende:

- proporcionar una conexión de fluido entre el al menos un compartimento y el sensor de presión.

Se requiere una conexión de fluido con el fin de establecer un valor de presión interna. De otro modo, no puede medirse la presión.

25 Según una realización que proporciona una conexión de fluido, esta comprende conectar el sensor directamente con el compartimento hueco interno o disponer el sensor en el interior de dicho compartimento.

Determinadas ventajas comprenden el contacto directo entre el sensor y el fluido en el interior del compartimento. No se requieren precauciones especiales para el sellado hermético de una conexión entre el sensor y el compartimento dado que el sensor se coloca directamente dentro del fluido cuya presión debe establecerse.

30 Según una realización la etapa de "proporcionar una conexión de fluido" comprende conectar de manera fluida el sensor por medio de un tubo, conjunto de tubos, o capilar con respecto al compartimento hueco. El tubo, conjunto de tubos o capilar, así como cualquier acoplamiento o ajuste garantiza una conexión estanca al fluido y/o estanca a gas entre el sensor y el fluido en el interior del compartimento.

35 Ventajosamente, por motivos de facilidad de inspección, el sensor puede ubicarse a una distancia con respecto al compartimento. Ventajosamente, los ajustes y/o acoplamientos son a prueba de fugas y tienen una presión de funcionamiento de diseño más elevada que la presión de fluido en el compartimento hueco.

Según otra realización el método comprende, además:

- proporcionar medios de sujeción para el tubo o conjunto de tubos.

40 La sujeción del tubo, conjunto de tubos o capilar por ejemplo a las paredes del compartimento hueco permite la prevención de choques y unos valores de medición estables durante largos periodos de tiempo que solo dependen de la presión interna.

Según una realización los medios de sujeción se seleccionan de un pegamento, un imán, un acoplamiento, una soldadura, o una abrazadera.

45 Ventajosamente tales tipos de sujeción o su combinación proporcionan una fijación fiable para el tubo, conjunto de tubos o capilar. Por ejemplo, un imán se adhiere bien a una superficie de acero o de hierro. Además, la integridad estructural del elemento monitorizado se mantiene intacta por un imán, por un adhesivo similar a pegamento o un resorte o abrazadera adecuados y casi no se ve alterado por el acoplamiento o soldadura. Además, una longitud de tubo o incluso secciones de múltiples tubos (conjunto de tubos, capilar, tubería) pueden mantenerse de manera fiable si un ajuste, una pestaña o un colector (por ejemplo, un colector con múltiples conexiones con tubos conectados (conjunto de tubos, capilares, tuberías) se sujeta a la estructura de ingeniería o, por ejemplo, a la pared de su compartimento interno

50 hueco con los medios de sujeción descritos anteriormente.

Según otra realización el sensor de presión se selecciona de un sensor de presión tal como piezorresistivo, electromagnético, óptico, basado en ionización, de alambre vibratorio, un sensor óptico, piezoeléctrico, capacitivo, térmico o basado en potenciómetro.

5 Ventajosamente, el sensor se elige de una amplia gama de sensores y, por lo tanto, puede adaptarse a los requisitos especiales de la aplicación especial, es decir, al fluido o estado especial.

Según una modificación de esa realización, el sensor de presión compensa los cambios de una temperatura ambiental y/o los cambios de una presión ambiental (por ejemplo, una fluctuación de presión diaria ambiental) y/o un choque o vibración de la estructura de ingeniería civil durante su aprovechamiento normal.

Ventajosamente, la presión establecida corresponde a una presión real en el interior del compartimento hueco.

10 Según otra realización, el tubo para la conexión de fluido se selecciona de un tubo polimérico o de metal, preferiblemente tubo polimérico. El tubo puede seleccionarse, por ejemplo, de polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno, caucho con base de nitrilo, polieteretercetona (PEEK), poliamida, etilvinilacetato y otros conjuntos de tubos de tipo polimérico, conjuntos de tubos de cobre, aluminio o acero.

15 Las ventajas de los conjuntos de tubos y capilares poliméricos comprenden la disponibilidad comercial, una alta fiabilidad, resistencia a la corrosión (por ejemplo, procedente del agua salada) y/o un precio bajo.

Según otra realización, la generación de una presión objetivo interna comprende:

- proporcionar medios de compresión tales como una bomba, un compresor o un recipiente de gas que comprende un gas presurizado y/o proporcionar medios de evacuación tales como una bomba de evacuación o una bomba de vacío.

20 Las ventajas de esta realización comprenden unos costes bajos de mantenimiento y fiabilidad. Especialmente, un recipiente de gas que comprende gas presurizado equipado con, por ejemplo, una válvula de aguja apropiada no requiere mantenimiento adicional. Además, ventajosamente, se encuentran comercialmente disponibles diferentes tipos de bombas.

Según otra realización, la estructura hueca comprende una viga hueca, un monopilote, un cordón que se suelda a una abrazadera, y/o una abrazadera que se suelda a un cordón.

25 Ventajosamente, son bastante comunes estructuras similares en ingeniería civil. El método de monitorización sugerido requiere unos costes de mantenimiento mínimos, ofrece una alta fiabilidad y robustez durante largos periodos de aprovechamiento.

Según otra realización, la monitorización a largo plazo comprende una monitorización continua de hasta 50 años.

Esto permite una fácil monitorización a bajos costes entre o incluso sin inspecciones periódicas adicionales.

30 Según otra realización, se sugiere un método para mantener una estructura hueca que comprende al menos un compartimento interno, en la que el mantenimiento comprende:

- aplicar el método para la monitorización a largo plazo según las realizaciones descritas anteriormente;

- detectar un cambio de presión en el al menos un compartimento cerrado que indica una fuga, en el que la fuga se selecciona de una grieta a través de grosor u otra abertura,

35 - hacer funcionar una bomba con el fin de producir un chorro de fluido, preferiblemente un chorro de gas, a través de la fuga;

- localizar la fuga determinando la elevación de burbujas de gas y localizar su punto de inicio; y

- cerrar la fuga.

Las ventajas comprenden una fácil trabajabilidad y unos bajos costes.

40 Según una realización adicional, se sugiere usar el método descrito para la monitorización de:

- una planta de tratamiento; una central eléctrica; una torre; una torre de enfriamiento; una construcción de bloqueo; cualquier alojamiento o construcción industrial; una construcción de edificio; un cine; un estadio; un pabellón; un puente; un paso elevado; un paso elevado para peatones; un carril elevado; o una conexión a tierra de los mismos;

45 - una estructura de conexión a tierra, una conexión a tierra en alta mar de un generador eólico; una subestación o un soporte de turbina eólica; un andamio; un andamiaje; una subestructura; un trabajo de base; un cimientado; una base; un doble fondo; un casco doble; un pontón o una estructura de soporte de turbina eólica flotante; una cercha; una cercha de cordones planos; un pilote o elemento de soporte para cualquier equipo o plataforma industrial;

- un monopilote en alta mar, un tripilote, un soporte, una subestructura de soporte de turbina eólica, una torre de turbina eólica, una subestructura de subestación de transformador en alta mar.

5 Según todavía otra realización de la presente invención, se sugiere un aparato para la monitorización a largo plazo de una estructura de ingeniería civil. La estructura de ingeniería civil comprende al menos un compartimento interno cerrado. El aparato comprende:

- un sensor de presión, adaptado para medir una presión interna de fluido del compartimento;
- un controlador para recopilar y comparar la presión interna con una presión establecida o con un valor umbral dado, en el que el controlador está adaptado para detectar una grieta a través de grosor en el compartimento detectando un cambio de la presión interna de fluido.

10 Ventajas corresponden a las ventajas indicadas anteriormente y comprenden una buena accesibilidad de los componentes necesarios para configurar dicho aparato y la posibilidad de configurar fácilmente tal aparato según cualquier estructura dada.

Según una realización adicional el aparato comprende, además:

- un dispositivo de aviso para indicar una grieta a través de grosor en el compartimento.

15 Ventajosamente, cualquier posible fuga, por ejemplo, una grieta a través de grosor puede detectarse fácilmente, de manera destacable, incluso remotamente con respecto a la estructura hueca monitorizada.

Según otra realización el aparato comprende, además:

- medios de sujeción para la sujeción del tubo o conjunto de tubos a la estructura hueca.

20 Tales medios de sujeción se seleccionan con el fin de mejorar la funcionalidad de un sistema de monitorización que comprende diferentes sensores de presión que están conectados de manera fluida a diferentes compartimentos huecos internos. Además, estos medios de sujeción pueden aplicarse de manera fácil y ventajosamente no provocan el deterioro de la estructura de material o de cualquier elemento de la estructura hueca.

25 Según otra realización la estructura de ingeniería civil que se monitoriza por un aparato tal como se describió anteriormente se selecciona de estructuras de ingeniería terrestres o en la costa y en alta mar, en particular de: una subestación o soporte de turbina eólica; un andamio; un andamiaje; una subestructura; un trabajo de base; un cimiento; un puente; una torre; una base; un doble fondo; un casco doble; o un pontón.

30 Las ventajas son los bajos costes en comparación con los altos costes, requeridos, por ejemplo, para personal entrenado de manera especial o una posible exposición del personal o material a radioactividad, rayos x o energía ultrasónica tal como se aplica con los métodos de monitorización conocidos para estructuras en alta mar o los métodos costosos y complicados tales como, por ejemplo, termografía de bloqueo.

Según otra realización, un sensor independiente del aparato descrito se conecta de manera fluida a al menos dos compartimentos independientes.

35 Alternativamente, según todavía otra realización los al menos dos compartimentos están conectados de manera fluida entre sí y el sensor se comunica de manera fluida con uno de ellos, es decir el sensor se conecta de manera fluida a uno de ellos.

Ventajosamente el número de sensores puede reducirse, aunque la fiabilidad de la monitorización puede mejorarse mediante un diseño redundante, es decir, sensores redundantes.

40 Según otra realización el aparato descrito anteriormente comprende, además, medios de sujeción para la sujeción del tubo y/o conjunto de tubos a la estructura hueca, en la que la sujeción se selecciona de sujeción al interior de y/o al exterior de la estructura hueca, preferiblemente, la sujeción se selecciona de sujeción al interior de la estructura hueca.

Las ventajas de sujeción seleccionadas de la sujeción al interior de la estructura hueca comprenden una mejora de la robustez de la totalidad del sistema.

Además, se sugiere un método de detección de una grieta a través de grosor para una estructura de conexión a tierra que comprende al menos un compartimento cerrado interno. Este comprende:

- 45
- establecer una presión interna de fluido en el compartimento cerrado interno;
  - monitorizar la presión interna de fluido durante al menos dos semanas, preferiblemente durante 1 mes, más preferiblemente durante 1 año, especialmente durante periodos que se extienden cinco años;
  - detectar un cambio de la presión objetivo interna que indica una grieta a través de grosor en el al menos un compartimento cerrado.

Se desprenden ventajas de la amplia aplicabilidad de los métodos de detección de TTC en la monitorización del estado estructural.

5 Las figuras adjuntas ilustran diferentes realizaciones y junto con la descripción sirven para una explicación y clarificación adicionales de los principios de la presente invención. Los elementos en las figuras se muestran uno con respecto a otro y no están realizados necesariamente a escala. Los números de designación idénticos corresponden a elementos o partes similares de los dibujos.

La figura 1 muestra el crecimiento en diversas etapas de una grieta a través de grosor desde el punto de vista de la detección de elemento inundado (FMD);

10 la figura 2 muestra una configuración a modo de ejemplo del sistema de monitorización basándose en el método y aparato descritos en el presente documento. La configuración se refiere a conexiones mecánicas y eléctricas entre elementos del sistema.

La figura 3 muestra una realización con una estructura de conexión a tierra que va a cubrirse por una versión completa del sistema de monitorización descrito en el presente documento.

15 La figura 4 muestra un dibujo de una sección transversal de conexión de tipo pata de abrazadera en K que ilustra una realización del presente aparato y método;

la figura 5 muestra una instalación a escala de laboratorio al tiempo que se somete a prueba de estanqueidad al aire;

la figura 6 muestra datos de medición recopilados durante las pruebas de fuga de sistema a escala de laboratorio.

La figura 7 muestra una disposición de válvulas de sistema de aire y sensores de presión en el sentido de conexiones neumáticas en la realización preferida;

20 la figura 8 muestra el diseño del aparato dentro de la estructura en una realización preferida.

En alta mar las condiciones de funcionamiento se consideran duras y graves. Pueden resultar peligrosas para cualquier tipo de estructura construida en un entorno marino. Estas duras condiciones ambientales pueden provocar daños y fallos estructurales. Las causas del daño estructural pueden agruparse en:

- fallos que resultan de variaciones estadísticas en cargas y capacidades de soporte de carga estructural;
- 25 - fallos debidos a accidentes;
- fallos debidos a un error humano durante el diseño, fabricación y/o funcionamiento de las estructuras.

Cada uno de ellos puede detectarse mediante técnicas de FMD. Las causas directas principales de inundación de elementos son:

- grietas de fatiga a través de grosor;
- 30 - grietas procedentes de defectos de raíz de soldadura;
- daño accidental; y
- fallo de soporte anódico que provoca corrosión.

35 Hace algunas décadas se produjeron graves problemas derivados de fatiga relacionados con estructuras de acero en alta mar dado que se prestaba la mayor parte de la atención a la capacidad de soporte de cargas estáticas. Por consiguiente, los registros históricos muestran que las grietas de fatiga a través de grosor (TTFC) son el fallo estructural en alta mar más común que puede detectarse mediante la detección de elemento inundado. Los últimos cambios en el enfoque del diseño introdujeron una especial atención al diseño de fatiga. Se logró una mejora en la capacidad estructural para cargas cíclicas, pero nunca se resolvió por completo en el sentido de la totalidad de la vida útil de la estructura. Estos problemas son los antecedentes para la técnica de detección de elemento inundado (FMD) y el

40 método de monitorización descritos en el presente documento.

La detección de elemento inundado es una técnica de inspección que se conoce bien usada para determinar si cualquier elemento o pata de abrazadera de una subestructura en alta mar tiene:

- cualquier grieta a través de grosor;
- cualquier corrosión a través de grosor; o
- 45 - cualquier fuga en la conexión de elementos estructurales no soldados.

La FMD en algunas versiones es una técnica de inspección desarrollada y que se conoce bien para elementos

tubulares. Se usa desde principios de 1980.

5 Ha de resaltarse que las técnicas de FMD ultrasónicas y de rayos gamma diseñadas para la industria del petróleo y gas no son adecuadas para la transferencia directa a nuevos tipos de estructuras en alta mar y nuevas maneras de su utilización. También existen nuevas versiones de FMD ultrasónica en desarrollo, destinadas simplemente para turbinas eólicas en alta mar. Se describen nuevos enfoques en [1] pero presentan unos puntos débiles significativos que se enumerarán a continuación en el presente documento.

Los rayos x o los rayos gamma son los medios usados de manera más general para FMD. Sin embargo, determinadas desventajas significativas de este enfoque son:

- se basa en un medio radioactivo, y, por lo tanto, peligroso;
- 10 - requiere poner en práctica vehículos(s) operado(s) de manera remota (algunas empresas también ofrecen equipos de buceo como versión de operario);
- requiere que los operarios se entrenen como supervisores de protección frente a radiación.

La FMD ultrasónica es un método alternativo para el enfoque radioactivo y no seguro descrito anteriormente. Sin embargo, existen otras desventajas significativas:

- 15 - tiende a la desalineación de la sonda emisora
- requiere eliminación de crecimiento marino;
- consume mucho tiempo debido a la necesidad de preparación de superficie.

Aunque han existido nuevas versiones de FMD ultrasónica desarrolladas simplemente para la industria eólica en alta mar. Tales se describen, por ejemplo, en [1], pero siguen encontrándose en desarrollo y:

- 20 - la vida útil del sistema depende del periodo de servicio de la batería,
- requiere que receptores ultrasónicos sofisticados detecten y normalicen de manera correcta señales procedentes de sensores;
- los sensores inducidos por sal solo pueden usarse una vez.

25 Aunque el aparato y el método descritos en el presente documento se basan en FMD convencional que resulta de grietas a través de grosor superan las desventajas indicadas de estos métodos, por ejemplo, mediante la detección temprana de daños, costes extremadamente bajos, y fiabilidad a largo plazo.

30 La figura 1 muestra una junta en K habitual de elementos de sección hueca, es decir, una conexión tubular de dos abrazaderas a un cordón. Se muestran diferentes etapas de propagación de grietas de izquierda a derecha a lo largo de la sección A-A indicada. Mientras que una grieta inicial en la región curvada entre la abrazadera y el cordón permanece no detectada, la grieta a través de grosor mostrada en la parte media provocará un cambio de presión al menos en el interior de la abrazadera y, por lo tanto, puede detectarse antes de un fallo completo.

35 El principio principal de la técnica de monitorización comprende la detección de un flujo de aire por un cambio de presión que se provoca por una grieta a través de grosor de un elemento presurizado. La figura 3 muestra un elemento estructural habitual de una estructura de conexión a tierra, que consiste en elementos huecos, que se disponen entre cuatro patas tubulares, por ejemplo, dos abrazaderas 2a y 2b dispuestas entre las patas 1a y 1b. Las abrazaderas 2 y las patas 1 de una estructura de apoyo de soporte están secas habitualmente en el interior y son estancas al aire. Pueden presentar una sobrepresión hasta determinado nivel. Al tener un nivel de presión superior a la presión del agua en cualquier profundidad (por ejemplo, para una profundidad de agua de 30 metros, una presión superior a 4 bar) una grieta a través de grosor provocará una clara caída de presión detectable. Los principios se describen entonces a

40 continuación basándose en un ejemplo de un soporte de subestación en alta mar. Por tanto, un sistema de monitorización completo incluye todos los componentes estructurales tubulares de la estructura monitorizada, por ejemplo, tal como los mostrados en la figura 3.

Existen diferentes opciones para la monitorización del aparato y el procesamiento con respecto al tamaño y organización del compartimento:

45 1) Compartimentos en relación con elementos: cada elemento estructural (por ejemplo, una abrazadera) se conectará con un tubo de aire tal como se muestra en la figura 4. Esto facilita una localización en relación con elementos durante la monitorización. La localización exacta se realiza detectando el flujo de aire a través del defecto.

50 2) Un compartimento para cada parte estructural: una parte estructural tal como, por ejemplo, un grupo de abrazadera se conectará con un tubo de aire y se separa de manera estanca de cualquier otro elemento. Las abrazaderas del grupo de abrazadera se conectan de manera permeable al aire con pequeños orificios de perforación. Esto facilita una

localización con respecto a parte estructural mediante el aparato y método de monitorización descritos. La localización exacta se realiza detectando el flujo de aire a través del defecto.

5 3) Toda la estructura es un único compartimento: toda la estructura es estanca al aire, pero las conexiones entre los elementos de la estructura son permeables al aire mediante pequeños orificios de perforación. En este caso, la localización se basa por completo en la detección del flujo de aire a través del defecto.

Dependiendo de las circunstancias dadas de una estructura dada, el aparato descrito puede adaptarse a requisitos reales. La adaptación comprende, por ejemplo, perforar orificios que conectarán el espacio interno de elementos unidos en la región de junta durante la producción de soportes.

10 La figura 4 muestra una junta en K con un cordón 1 principal (pata) y dos abrazaderas 2, en el que en el interior de los tubos 3 de aire de pata se sujetan por medio de la sujeción 4, que ilustra una realización del aparato y método presentes.

15 El aparato y procedimiento de monitorización indica una grieta a través de grosor y permite su reparación utilizando la redundancia de una estructura de soporte. Al permitirse un tiempo de reparación esto implica que se cumple una condición de fuga antes de rotura (LBB). Puede mostrarse que para estructuras redundantes tales como soportes existe una LBB (véase, por ejemplo, [5]). Tras la reparación del defecto, el punto sensible se comporta como un punto sensible recién producido o como un punto sensible con daño por fatiga acumulado, pero sin grieta (véase, por ejemplo, [4]).

20 El aparato descrito en el presente documento se diseña para proporcionar una vida útil superior a o al menos la vida útil de diseño de la estructura de soporte. Esto se logra mediante una reducción máxima del número de elementos mecánicos y la aplicación de componentes con décadas de funcionamiento demostrado, tales como compresor de tipo tornillo; tubos poliméricos; sensores de alambre vibratorio; elementos de sistema estancos al aire; válvulas de bolas; e imanes de neodimio para elementos de sujeción de tubo de aire.

Ventajosamente, un compresor de tipo tornillo tiene la capacidad para funcionar de manera continua durante docenas de meses con un "tiempo medio entre fallos" (MTBF) habitual superior a 40.000 horas, en particular, con un valor de MTBF superior a 30.000 horas.

25 Ventajosamente, los tubos poliméricos (por ejemplo, tubos de poliamida) son resistentes al desgaste y al aceite de compresor y pueden usarse a bajas temperaturas.

30 Los sensores de presión de tipo alambre vibratorio (véase el recuadro H en la figura 2) son dispositivos destacables con respecto a durabilidad, estabilidad de la señal del sensor durante mucho tiempo y vida útil del sensor. Existe un ejemplo documentado [2] de una prueba de sensor que duró 27 años sin ningún fallo del sensor. Además, el transductor de presión como segundo componente principal para la medición de presión se encuentra en funcionamiento de manera estable desde 1984, lo cual es hasta ahora durante 29 años (véase [3]).

Los imanes de neodimio son los imanes más resistentes y más estables que se conocen. Pierden menos del 1% de su resistencia durante 10 años y los elementos de sujeción de tubo que se basan en ellos son a prueba de fatiga.

35 El sistema de monitorización propuesto proporciona información sobre cualquier presencia de TTC con una mejor sensibilidad que las técnicas de FMD tradicionales. En contraste con las técnicas de FMD tradicionales, no se requiere la introducción de agua mediante "inundación" para la detección de un fallo dado que es suficiente con la fuga de aire procedente del elemento de sobrepresión. Dado que la viscosidad del aire es aproximadamente 50 veces menor que la viscosidad del agua, la penetración de una TTC por aire es mucho más fácil de detectar si se compara con el agua. Por lo tanto, ventajosamente, la detección de fallo de TTC es mucho más rápida en comparación con la FMD convencional.

40 La presencia de una TTC puede detectarse en dos niveles diferentes. En primer lugar, el sistema de monitorización indica qué elemento tiene una TTC debida a mediciones independientes de un nivel de presión para cada uno de los elementos monitorizados. En segundo lugar, puede detectarse el punto exacto de una grieta dentro de un elemento dado antes y/o durante el procedimiento de reparación. Para la reparación del elemento con una TTC puede realizarse una sobrepresurización de nuevo mediante el uso del compresor (véase el recuadro B en la figura 2) y la válvula o válvulas de sistema de aire apropiada(s) (véase el recuadro C en la figura 2). Se producirán burbujas de aire y la grieta puede detectarse. La detección de puntos de TTC precisa también es posible por encima de la superficie del agua dado que los cambios de presión del aire en el elemento defectuoso generarán una señal sonora mediante el flujo hacia fuera del aire.

50 Ventajosamente, por el contrario al método de monitorización propuesto en [1] el aparato y método descritos en el presente documento pueden usarse de manera repetida. Después de producirse una TTC y tras la acción de reparación el sistema puede funcionar como elemento no afectado. No importa si el agua se bombea fuera o se queda en el compartimento. El aire puede presurizarse de nuevo en el conjunto de tubos del sistema de aire (véase el recuadro G en la figura 2) conectado de manera ramificada a determinado compartimento (véase la vista ampliada en la figura 4).

55 Una ventaja adicional del principio de monitorización descrito consiste en la aplicabilidad a cada elemento tubular de una estructura de soporte, al tiempo que se requiere simplemente una interferencia mínima con una estructura dada. En

particular, el orificio perforado desde una pata a cualquier elemento de abrazadera conectado a la pata puede tener un diámetro aproximado de 5 a 50 mm, particularmente de 10 a 25 mm, preferiblemente de 15 mm a 20 mm. Dicha conexión representa la conexión de compartimentos presurizados (véase el recuadro E en la figura 2) al sistema del conjunto de tubos de aire (véase el recuadro D en la figura 2).

5 El conjunto de tubos (véase el recuadro D en la figura 2) que conecta de manera fluida el sensor de presión (véase el recuadro H en la figura 2) a una estructura hueca dada (véase el recuadro E en la figura 2) puede instalarse ventajosamente en el interior de la estructura o un elemento y, por lo tanto, protegerse frente a condiciones ambientales hostiles. Además, el uso de imanes de neodimio en combinación con pegamento destinado a imanes supera en la mayor parte de los casos cualquier necesidad de ajustes adicionales, por ejemplo, mediante soldadura.

10 La aplicación del método sugerido no requiere la unión de ningún equipo externo adicional a la estructura.

Las válvulas de bolas (véase el recuadro C en la figura 2) que separan el sistema de conjunto de tubos (véase el recuadro D en la figura 2) del compresor (véase el recuadro B en la figura 2) durante la monitorización de presión del compartimento interno habitual puede controlarse ventajosamente de manera remota gracias a los accionadores de válvulas de bolas conectados a la unidad de control, adquisición de datos y transferencia de datos (véase el recuadro A en la figura 2).

15 Además, el dispositivo y método de monitorización sugeridos son independientes de la fluctuación de temperatura. Un enfoque con respecto a eliminación de efectos de temperatura depende de la versión elegida del aparato y el procedimiento de monitorización y también depende de la sensibilidad requerida del sistema. Por ejemplo, si se acepta que el nivel de cambio de presión requerido mínimo para detectar una TTC sea del 10% entonces toda la estructura puede actuar como un único compartimento. La normalización de datos solo se basará en el principio de construcción y funcionamiento del sensor de presión usado. El sensor de temperatura integrado en sensores de presión de alambre vibratorio facilita la compensación de sensor automática y también puede usarse para la normalización del valor de presión. Este ejemplo se basa en los cambios de temperatura de agua y aire anuales en el agua del Mar del Norte [6].

20 El segundo ejemplo se refiere una alta demanda de sensibilidad de TTC. En este caso, una versión sugerida del aparato y procedimiento de monitorización incluirá la monitorización del cambio de presión independiente dentro de cada único compartimento de la estructura de soporte mostrada en la figura 3. Adicionalmente, los sensores de temperatura (véase el recuadro G en la figura 2) pueden desplegarse dentro de la estructura próximos a (véase el recuadro G en la figura 8) o en el interior de los compartimentos monitorizados. En esta versión, los sensores recopilan información sobre la temperatura dentro de la estructura y permiten la normalización de los datos de presión en el caso de que determinado sensor de presión se encuentre distante del compartimento monitorizado y, por tanto, a temperatura diferente. La compensación de la dependencia de la temperatura del sensor se basará, de nuevo, en un sensor de presión integrado. Este enfoque no requiere más del 3% de cambio de presión para detectar una TTC en elementos bajo el agua. El nivel de activación declarado se basa, de nuevo, en los cambios de temperatura anuales del agua en el Mar del Norte [6].

25 La flexibilidad en el enfoque de compensación de temperatura y de normalización de datos es una ventaja que permite el ajuste del aparato y método a un tipo de estructura específico, requisitos de monitorización y presupuesto disponible.

Además, los sensores de temperatura (véase el recuadro G en la figura 8) desplegados en las patas (por ejemplo 1a y 1b en la figura 3) próximos a determinados compartimentos estarán cubiertos con láminas de espuma de poliestireno. Tal medida garantiza el aislamiento del aire en el interior de las patas y permite una correcta medición de temperatura del acero a una profundidad marina dada.

30 Sin embargo, la velocidad del aire y las vibraciones inducidas por las olas y el balanceo afectarán al nivel de la abertura de TTC, una vez se haya producido la TTC. No obstante, incluso la TTC más pequeña recopilada durante pruebas experimentales permite la detección de una caída de presión simplemente tras décimas de segundo.

35 En contraste a las técnicas de FMD tradicionales, el presente enfoque de monitorización tampoco depende de la profundidad del mar en el intervalo de instalaciones de profundidad de estructura de soporte habituales. Además, no se requiere una ventana climática para permitir la monitorización de elementos tubulares. Además, el aparato y método de monitorización son independientes de cualquier crecimiento marino, no requieren equipos de buceo ni vehículos operados de manera remota. En particular, la monitorización es completamente automática.

40 Con el fin de garantizar el procesamiento y almacenamiento de datos en el caso de fallos en el suministro energético, se usará una batería como parte de la unidad de fuente de alimentación (véase el recuadro F en la figura 2). Por tanto, puede proporcionarse cierto periodo de funcionamiento del aparato de monitorización sin fuente de alimentación externa. En caso de un corte de suministro, el sistema conmuta a un modo de emergencia seguro. En este estado, la circuitería electrónica de la unidad de transmisión de señal y/o la unidad de control (véase el recuadro A en la figura 2) continúa recopilando y almacenando información sobre cualquier fuga. Como medida de ahorro energético, el compresor (véase el recuadro B en la figura 2) se desactivará durante el fallo o corte del suministro energético. La capacidad de la batería está diseñada para facilitar un funcionamiento del sistema no afectado durante la ausencia de

45 fuente de energía externa.

El sistema de monitorización tal como se describe cumple cualquier directriz relevante con respecto a los sistemas de

monitorización y con respecto a la evaluación del estado estructural, así como con respecto a los requisitos legales de la Agencia Federal Marítima e Hidrográfica de Alemania (BSH).

5 El sistema de monitorización tal como se describe está diseñado para someterse a prueba a sí mismo de manera habitual. En contraste a lo anterior, nuevos enfoques de FMD ultrasónica descritos en [1] no permiten una autoinspección. Diferentes niveles de presión dentro de partes del sistema permitirán una diferenciación automática del fallo de sistema a partir de que se produzcan TTC. Las válvulas de presión (véase el recuadro C en la figura 2), los sensores de presión (véase el recuadro H en la figura 2) y el conjunto de tubos (véase el recuadro D en la figura 2) se colocarán, en función de la opción del aparato y método elegida, en una, dos, tres o cuatro patas de esquina de una estructura de soporte. Las patas de esquina se presurizarán a diferentes niveles de presión que las abrazaderas. 10 Cualquier mala conexión en los conjuntos de tubos conllevará un nivelado de presión entre la pata y cualquier abrazadera. No solo dará como resultado información sobre la fuga dentro del sistema, sino que también indicará qué ramificación del conjunto de tubos presenta dicho fallo.

15 Otra realización de una capacidad de someterse a prueba a sí mismo se basa en simulación de TTC. Las válvulas de sistema de aire (véase el recuadro C en la figura 2) mostradas en la figura 7 pueden disponerse de tal manera que cada único compartimento puede despresurizarse de manera independiente. Será idéntica a la situación en la que se produce la TTC. La reacción del sistema se observará en el modo de prueba descrito y se evaluará el funcionamiento del sistema. Esta acción también someterá a prueba la unidad de compresor (véase el recuadro B en la figura 2) dado que todos los compartimentos requieren presurizarse a niveles por defecto de nuevo.

20 Según realizaciones detalladas del sistema y aparato de monitorización, la salida final, es decir, la información sobre la presencia de una grieta a través de grosor (TTC), se transferirá de la unidad de control, adquisición de datos y transferencia de datos (véase el recuadro A en la figura 2) a, por ejemplo, una unidad de procesamiento de información central. En particular, para monitorizar estructuras de sótano en una instalación o parque eólico en alta mar, una interfaz máquina-humano del sistema puede fusionarse con un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) de un parque eólico.

25 Los sistemas SCADA usados dentro de parques eólicos en alta mar recopilan datos ambientales tales como la velocidad del aire y la dirección del aire; datos de funcionamiento tales como la posición de la góndola de turbina eólica, velocidad de rotor o ángulo de cabeceo; datos de estado de la maquinaria tales como vibración del árbol principal o temperatura del aceite de caja de engranajes. Ventajosamente, gracias a dicha integración un sistema SCADA ahora puede ampliarse con información sobre el rendimiento estructural, lo que suministra una supervisión más detallada de activos eólicos. La compatibilidad con SCADA simplificará adicionalmente la gestión de los datos dado que puede integrarse 30 bajo una interfaz de máquina-humano.

La presión normalizada para un periodo de monitorización a modo de ejemplo de 21 días se muestra en la figura 6. La instalación a escala de laboratorio mostrada en la figura 5 se ha sometido a pruebas de fuga. Los valores de presión absolutos se normalizaron frente al patrón de presión de temperatura.

35 La prueba se llevó a cabo a una temperatura ambiental promedio de 22,7°C. Los resultados se adaptaron a escala para el elemento de abrazadera de 1 m<sup>3</sup> de volumen con el fin de aumentar la sensibilidad a fugas. Según estimaciones, el sistema perderá aproximadamente el 1% de la presión inicial en un 1 año, lo que significa que el impacto de la fuga sobre el funcionamiento del sistema puede discriminarse. Se llevó a cabo una investigación similar con variaciones de temperatura de entre -20°C a +40°C. En este caso, la fuga promedio se encontró de nuevo en el mismo orden que la temperatura ambiental. 40

45 En una realización preferida, la unidad de control, adquisición de datos y transferencia de datos (véase el recuadro A en la figura 2) se colocará en la parte superior de la subestación en alta mar tal como se muestra en la figura 8 (véase el recuadro A en la figura 8). La parte principal de la unidad comentada presentará la forma de ordenador industrial y electrónica auxiliar. La unidad controlará el funcionamiento del compresor y las válvulas de sistema de aire. Recopilará información procedente de sensores de presión, sensores de temperatura y un compresor. La información se enviará a servidores seleccionados por medio de una red de comunicación de subestación. Esta red también se usará para el ajuste y configuración de sistema remota.

50 En una realización preferida, la unidad de compresor y amortiguador de aire (véase el recuadro B en la figura 2) se colocará en la parte superior de la subestación en alta mar tal como se muestra en la figura 8 (véase el recuadro B en la figura 8). La parte principal de la unidad comentada presentará la forma de compresor y recipiente de amortiguador.

55 En una realización preferida, la unidad de válvulas de sistema de aire (véase el recuadro C en la figura 2) se integrará con la unidad de sensores de presión (véase el recuadro H en la figura 2) que se colocará en una carcasa en el interior de la parte superior de las patas de subestación en alta mar. Existirá una carcasa independiente para cada pata tal como se muestra en la figura 8 (véase el recuadro C y el recuadro H en la figura 8). El contenido principal de la carcasa comentada presentará la forma de válvulas y sensores de presión, un par para cada elemento hueco tal como se muestra en la figura 7.

En una realización preferida, la unidad de conjunto de tubos de sistema de aire (véase el recuadro D en la figura 2) consistirá en 8 ramificaciones principales recopiladas en 2 grupos. En un primer grupo se encuentran las ramificaciones

ubicadas en el interior de cada pata y en un segundo grupo se encuentran las ramificaciones en el recorrido desde cada pata hasta la unidad de compresor. Dichos grupos se muestran en la figura 8 (véanse los recuadros D en la figura 8). La parte principal de la unidad comentada presentará la forma de tubos de poliamida y ajustes de sistema de aire destinados para usarse en alta mar.

- 5 En una realización preferida, los compartimentos presurizados (véase el recuadro E en la figura 2) presentan la forma de elementos de abrazadera según patas de esquina y de división estructurales. En la figura 8 se muestran compartimentos a modo de ejemplo (véase el recuadro E en la figura 8).

- 10 En una realización preferida, se colocará una unidad de fuente de alimentación (véase el recuadro F en la figura 2) en la parte superior de la subestación en alta mar tal como se muestra en la figura 8 (véase el recuadro F en la figura 8). La parte principal de la unidad comentada presentará la forma de energía de suministro de convertidor eléctrico de una fuente externa para un funcionamiento de sistema habitual y una batería para usarse en un modo de emergencia tal como se describió anteriormente en el presente documento.

- 15 En una realización preferida, la unidad de sensores de temperatura (véase el recuadro G en la figura 2) consistirá en sensores de temperatura independientes colocados en lugares de convergencia de abrazadera de pata. Lugares de convergencia a modo de ejemplo dentro de una pata se muestran en la figura 8 (véase el recuadro G en la figura 8). Los sensores de temperatura se conectarán en serie y adicionalmente con la unidad de control (véase el recuadro A en la figura 2).

Resumiendo lo anterior, por la presente se sugiere:

- 20 Un método para la monitorización a largo plazo de una estructura de ingeniería civil, comprendiendo la estructura de ingeniería civil al menos un elemento hueco que comprende un compartimento cerrado interno, comprendiendo el método:

establecer una presión interna de fluido en el compartimento;

- 25 monitorizar la presión interna de fluido con el fin de detectar un cambio de la presión interna de fluido que indica una grieta a través de grosor en el compartimento, en el que la monitorización a largo plazo comprende monitorizar durante al menos dos semanas, preferiblemente durante 1 mes, más preferiblemente durante 1 año, especialmente durante periodos que se extienden cinco años;

- 30 usar dicho método para la monitorización de: una planta de tratamiento; una central eléctrica; una torre; una torre de enfriamiento; una construcción de bloqueo; cualquier alojamiento o construcción industrial; una construcción de edificio; un cine; un estadio; un pabellón; un puente; un paso elevado; un paso elevado para peatones; un carril elevado; o una conexión a tierra de los mismos; una estructura de conexión a tierra, una conexión a tierra en alta mar de un generador eólico; una subestación o un soporte de turbina eólica; un andamio; un andamiaje; una subestructura; un trabajo de base; un cimientado; una base; un doble fondo; un casco doble; un pontón o una estructura de soporte de turbina eólica flotante; una cercha; una cercha de cordones planos; un pilote o elemento de soporte para cualquier equipo o plataforma industrial; un monopilote en alta mar, un tripilote, un soporte, una subestructura de soporte de turbina eólica, una torre de turbina eólica, una subestructura de subestación de transformador en alta mar;

un aparato para la monitorización a largo plazo de una estructura de ingeniería civil que comprende una estructura hueca, comprendiendo la estructura hueca al menos un compartimento interno cerrado, comprendiendo el aparato:

un sensor de presión, adaptado para medir una presión interna de fluido en el compartimento;

- 40 un controlador para recopilar y comparar la presión interna con una presión establecida o con un valor umbral dado, estando el controlador adaptado para detectar una grieta a través de grosor en el compartimento mediante un cambio de la presión interna de fluido; y

un método de detección de TTC para una estructura de conexión a tierra que comprende al menos un compartimento cerrado interno, comprendiendo el método de detección de TTC:

establecer una presión interna de fluido en el compartimento cerrado interno;

- 45 monitorizar la presión interna de fluido durante al menos dos semanas, preferiblemente durante 1 mes, más preferiblemente durante 1 año, especialmente durante periodos que se extienden cinco años;

detectar un cambio de la presión objetivo interna que indica una grieta a través de grosor en el al menos un compartimento cerrado.

#### Referencias

- 50 [1] Mijarez R., Gaydecki P., Burdekin M. (2007). "Flood element detection for real-time structural health monitoring of sub-sea structures of offshore steel oilrigs". Smart Materials and Structures 16 (2007): 1857-1869;

- [2] DiBiagio E. (2003). "A case study of vibrating-wire sensors that have vibrated continuously for 27 years". Instituto Geotécnico Noruego. 6º simposio internacional sobre mediciones de campo en la geomecánica; Field measurements in geomechanics. ISBN: 9058096025;
- [3] Geokon Inc., "Long-Term Stability Data for Geokon Pressure Transducers";
- 5 [4] Straub, D. (2004). "Generic Enfoquees to Risk Based Inspection Planning for Steel Structures." IBK Bericht 284. Zürich, ETH Zürich;
- [5] Kou, K. P. y F. M. Burdekin (2008). "The applicability of leak-before-break on flooded element detection for offshore structures under fatigue." Engineering Fracture Mechanics 75(1): 31-40;
- 10 [6] Korevaar, C. G. (1989). "Climatological data for the North Sea based on observations by voluntary observing ships over the period 1961-1980". Real Instituto Meteorológico de Holanda.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para una monitorización continua de una estructura de ingeniería civil, comprendiendo la estructura de ingeniería civil al menos un elemento estructural hueco que comprende un compartimento cerrado interno, en el que el método está caracterizado por:
- 5 - proporcionar un sensor de presión, adaptado para medir una presión interna de fluido en el compartimento cerrado interno,
- establecer una presión interna de fluido en el compartimento cerrado interno,
- proporcionar una conexión de fluido entre el al menos un compartimento cerrado interno y el sensor de presión, en el que proporcionar una conexión de fluido comprende conectar el sensor de presión directamente con el compartimento cerrado interno o disponer el sensor de presión en el interior del compartimento cerrado interno,
- 10 - proporcionar una unidad de control que está configurada para detectar un cambio del valor de presión interna de fluido,
- monitorizar la presión interna de fluido con el fin de detectar un cambio de la presión interna de fluido que indica una grieta a través de grosor en el compartimento cerrado interno,
- en el que la monitorización continua comprende monitorizar durante al menos dos semanas, y
- 15 en el que el sensor de presión compensa los cambios de una temperatura ambiental y/o los cambios de una presión ambiental y/o un choque.
2. Método según la reivindicación 1, en el que un fluido en el interior del compartimento cerrado interno comprende un líquido o un gas.
3. Método según la reivindicación 2, en el que el gas es aire o un elemento constitutivo del mismo.
- 20 4. Método según la reivindicación 1, en el que proporcionar una conexión de fluido comprende conectar el sensor con el compartimento cerrado interno por medio de un tubo, conjunto de tubos, tubería, o capilar.
5. Método según la reivindicación 4, que comprende, además:
- proporcionar medios de sujeción para el tubo o conjunto de tubos.
- 25 6. Método según la reivindicación 5, en el que los medios de sujeción se seleccionan de un pegamento, un imán, un acoplamiento, una soldadura o una abrazadera.
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el sensor de presión se selecciona de un sensor de presión tal como uno piezorresistivo, electromagnético, óptico, basado en ionización, de alambre vibratorio, óptico, piezoeléctrico, capacitivo, térmico o basado en potenciómetro.
- 30 8. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que el tubo, conjunto de tubos, capilar o tubería comprende polietileno, cloruro de polivinilo, polipropileno, caucho con base de nitrilo, polieteretercetona (PEEK), poliamida, etilvinilacetato o cualquier otro polímero, cobre, aluminio, o acero.
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que generar una presión interna de fluido comprende:
- proporcionar una bomba o un recipiente de gas que comprende un gas presurizado, y/o
- proporcionar medios de evacuación tales como una bomba de evacuación o una bomba de vacío.
- 35 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento estructural hueco comprende una viga hueca, un monopilote, y/o una abrazadera que se suelda a un cordón o un cordón que se suelda a una abrazadera.
11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la monitorización continua comprende monitorizar hasta 50 años.
- 40 12. Método para mantener un elemento estructural hueco que comprende al menos un compartimento cerrado interno caracterizado por:
- aplicar el método para la monitorización continua según las reivindicaciones 1 a 11;
- detectar un cambio de presión en el al menos un compartimento cerrado interno, que indica una fuga, seleccionada de una grieta a través de grosor u otra abertura;
- 45 - hacer funcionar una bomba con el fin de producir un chorro de fluido, preferiblemente un chorro de gas, a través de la fuga;

- localizar la fuga;
  - reparar la fuga.
13. Uso del método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, para la monitorización de:
- 5 - una planta de tratamiento; una central eléctrica; una torre; una torre de enfriamiento; una construcción de bloqueo; cualquier alojamiento o construcción industrial; una construcción de edificio; un cine; un estadio; un pabellón; un puente; un paso elevado; un paso elevado para peatones; un carril elevado; o una conexión a tierra de los mismos;
- 10 - una estructura de conexión a tierra, una conexión a tierra en alta mar de un generador eólico; una subestación o un soporte de turbina eólica; un andamio; un andamiaje; una subestructura; un trabajo de base; un cimientado; una base; un doble fondo; un casco doble; un pontón o una estructura de soporte de turbina eólica flotante; una cercha; una cercha de cordón plano; un pilote o elemento de soporte para cualquier equipo o plataforma industrial;
- un monopilote en alta mar, un tripilote, un soporte, una subestructura de soporte de turbina eólica, una torre de turbina eólica, una subestructura de subestación de transformador en alta mar.
14. Aparato para la monitorización continua de una estructura de ingeniería civil que comprende un elemento estructural hueco, comprendiendo el elemento estructural hueco al menos un compartimento interno cerrado, caracterizado por:
- 15 - un sensor de presión, adaptado para medir una presión interna de fluido en el al menos un compartimento interno cerrado, en el que el sensor de presión está o bien conectado directamente con el compartimento cerrado interno o bien dispuesto en el interior del compartimento cerrado, y en el que el sensor de presión está configurado para compensar cambios de una temperatura ambiental y/o cambios de una presión ambiental y/o un choque;
- una conexión de fluido entre el al menos un compartimento cerrado interno y el sensor de presión;
- 20 - un controlador para recopilar y comparar la presión interna con una presión establecida o con un valor umbral dado, estando el controlador adaptado para detectar una grieta a través de grosor en el al menos un compartimento interno cerrado mediante un cambio de la presión interna de fluido,
- en el que la monitorización continua comprende monitorizar durante al menos dos semanas.
15. Aparato según la reivindicación 14, que comprende, además:
- 25 - un dispositivo de aviso para indicar una grieta a través de grosor en el al menos un compartimento cerrado interno.
16. Aparato según las reivindicaciones 14 o 15, que comprende, además:
- medios de sujeción para la sujeción del tubo o conjunto de tubos al elemento estructural hueco.
17. Aparato según las reivindicaciones 14 a 16, en el que la estructura de ingeniería civil se selecciona de estructuras de ingeniería terrestres o costeras y en alta mar, en particular de: una subestación o soporte de turbina eólica; un andamio, un andamiaje, una subestructura, un trabajo de base, un cimientado, una base, un doble fondo, un casco doble, un pontón o estructura de soporte de turbina eólica flotante, un puente o una torre.
- 30 18. Aparato según una de las reivindicaciones 14 a 17, en el que un sensor se conecta de manera fluida a al menos dos compartimentos cerrados internos independientes.
- 35 19. Aparato según la reivindicación 18, en el que los al menos dos compartimentos cerrados internos están conectados de manera fluida entre sí y el sensor se comunica de manera fluida con uno de ellos.
20. Aparato según las reivindicaciones 14 a 19, que comprende, además, medios de sujeción para la sujeción del tubo y/o conjunto de tubos al elemento estructural hueco, en el que la sujeción se selecciona de sujeción al interior de y/o al exterior del elemento estructural hueco.
- 40 21. Uso del método según la reivindicación 12 para la detección de grietas a través de grosor en una estructura de conexión a tierra que comprende el al menos un elemento estructural hueco, caracterizado por:
- establecer una presión interna de fluido en el compartimento cerrado interno;
  - monitorizar la presión interna de fluido durante al menos dos semanas;
  - detectar un cambio de la presión interna de fluido que indica una grieta a través de grosor en el compartimento cerrado interno.

Fig. 1

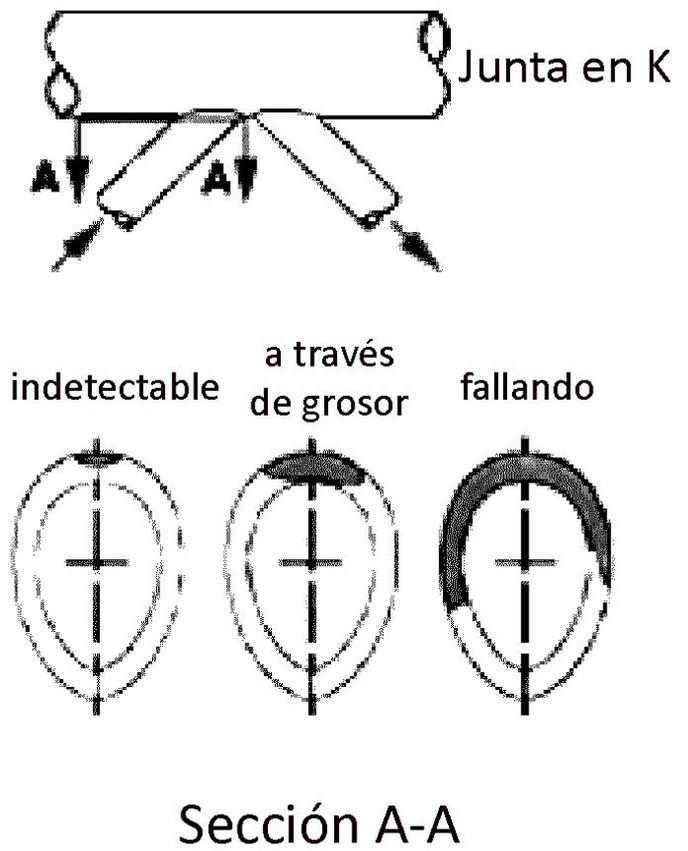


Fig. 2

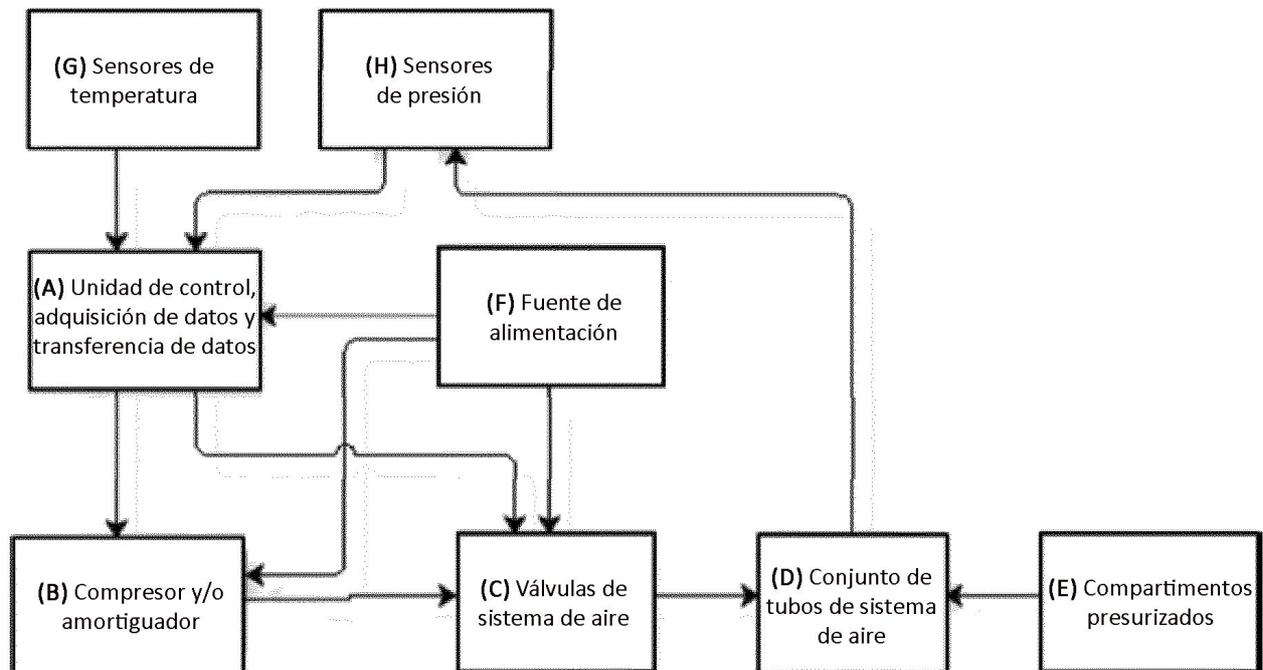


Fig. 3

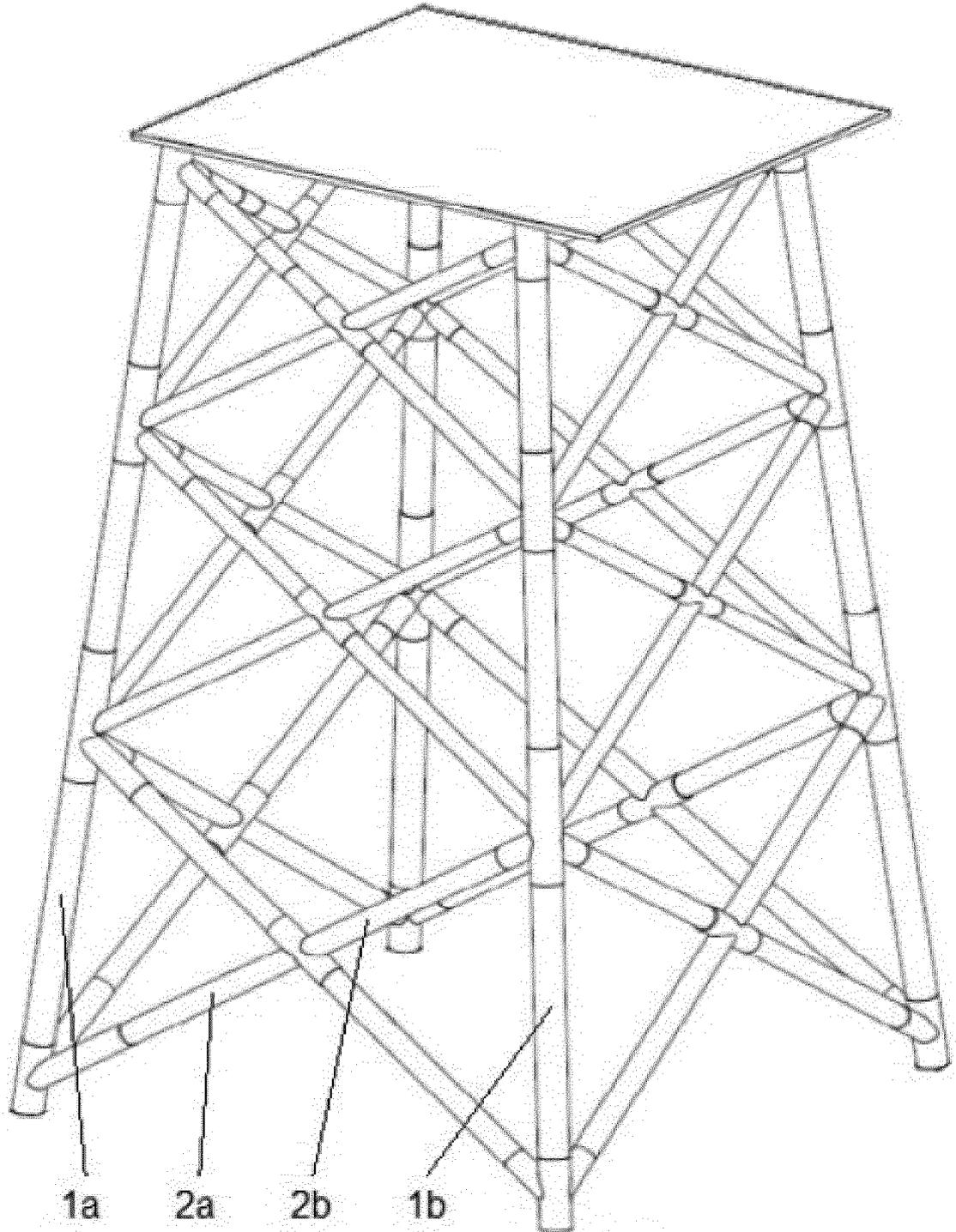


Fig. 4

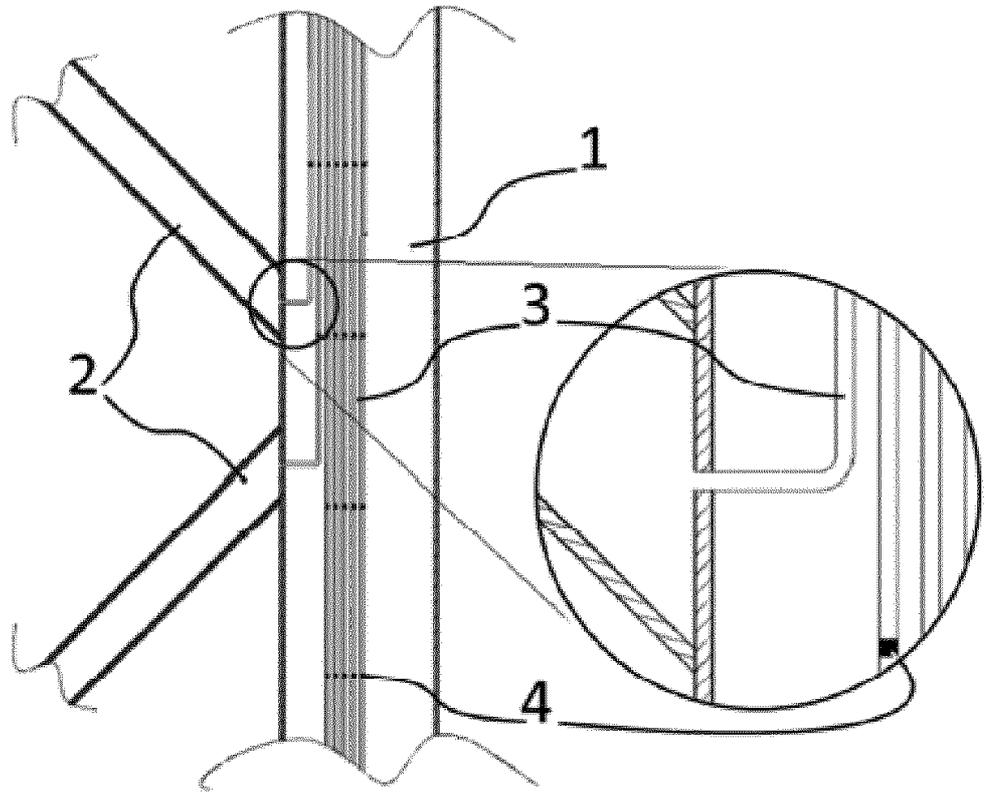
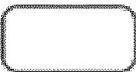


Fig. 5

Leyenda

-  Compresor
-  Sensor de presión
-  Tubo de poliamida de 12mm
-  Acoplamiento rápido
-  Válvula de aislamiento
-  Elemento de ajuste de 1/2 de pulgada RP
-  Muñón
-  Elemento de ajuste de 1/4 de pulgada NPT
-  Recipiente de aire

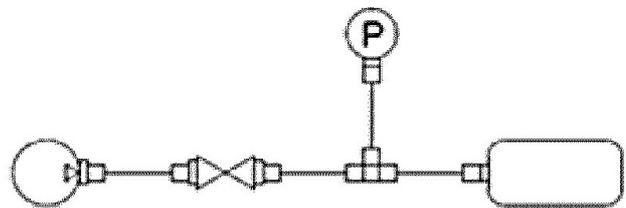


Fig. 6

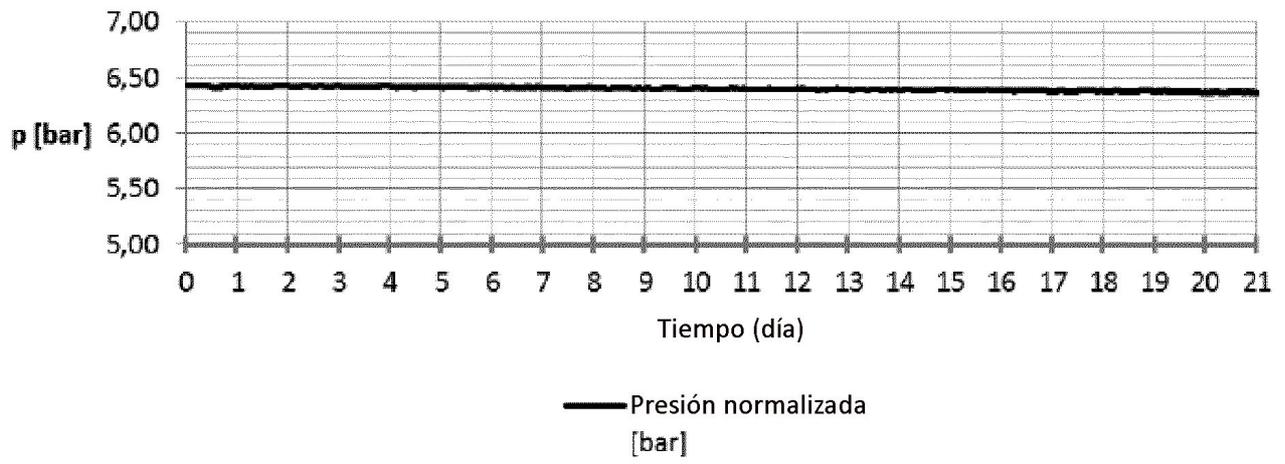


Fig. 7

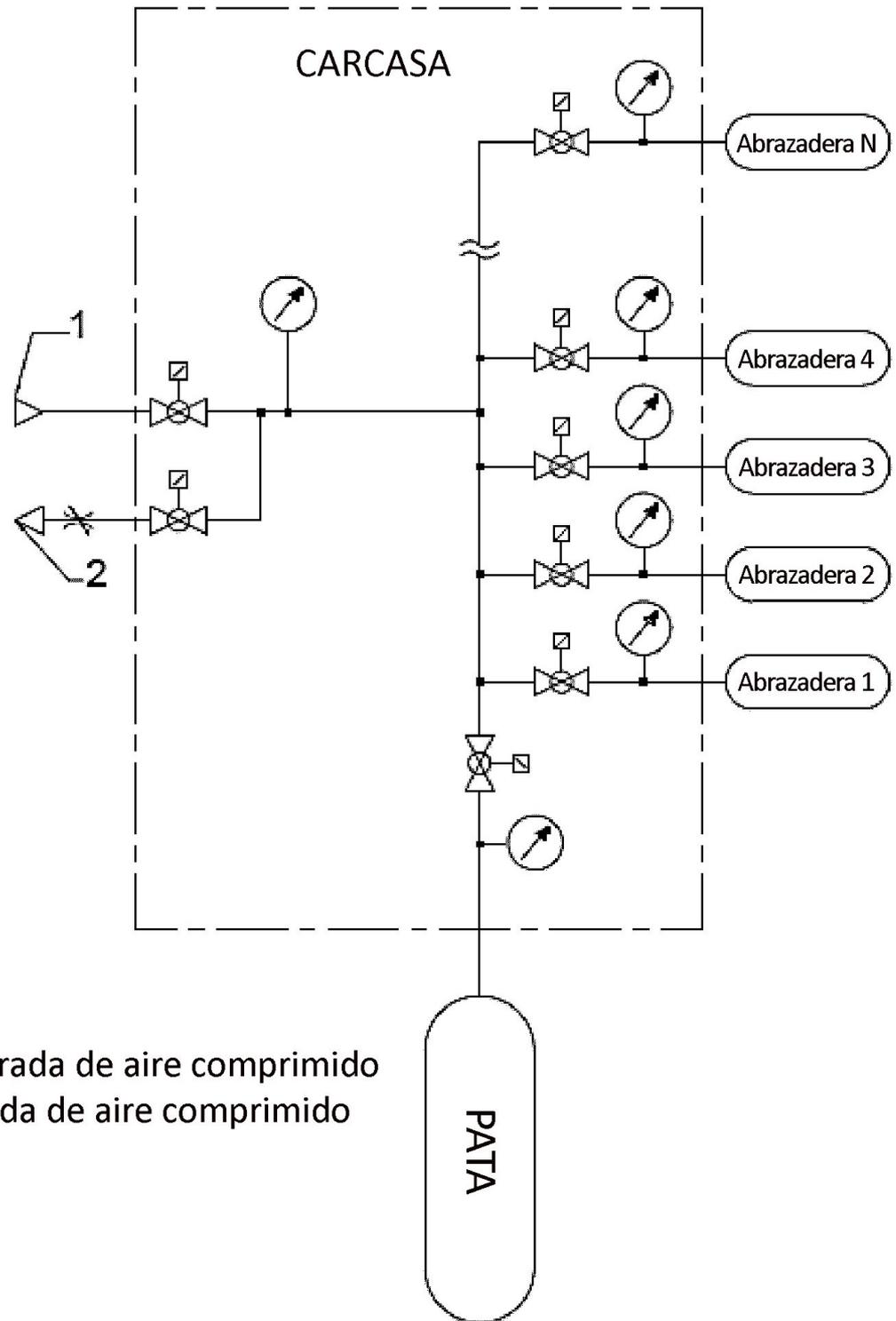


Fig. 8

