

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 991**

51 Int. Cl.:

**G01M 5/00** (2006.01)

**E21B 47/00** (2012.01)

**E21B 17/01** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.08.2016 PCT/GB2016/052655**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.03.2017 WO17037432**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2016 E 16766348 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2019 EP 3341564**

54 Título: **Componente de tubo ascendente marino y método para evaluar el daño por fatiga en un componente de tubo ascendente marino**

30 Prioridad:

**28.08.2015 GB 201515309**

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

**18.05.2020**

73 Titular/es:

**OIL STATES INDUSTRIES (UK) LIMITED (100.0%)  
Site E6, Moss Road, Gateway Business Park  
Nigg, Aberdeen, Scotland AB12 3GQ, GB**

72 Inventor/es:

**BORG-BARTOLO, DAVID y  
MORGAN, DAVID**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 760 991 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**

Componente de tubo ascendente marino y método para evaluar el daño por fatiga en un componente de tubo ascendente marino

5 La presente invención se refiere a un componente de tubo ascendente marino, y a un método para evaluar el daño por fatiga en un componente de tubo ascendente marino, especialmente en un componente conector de un tubo ascendente para uso en conectar componentes de un sistema ascendente marino usado en la perforación, compleción, mantenimiento y/o producción de fluidos de un pozo de petróleo o de gas.

**Antecedentes de la invención**

10 Los sistemas ascendentes marinos usados en pozos de petróleo o de gas en alta mar incorporan típicamente tuberías de gran diámetro para proporcionar un conducto que se extiende a través de la columna de agua entre una plataforma o un buque situado en la superficie y el orificio de perforación en el sustrato que conduce al reservorio del pozo. El conducto ascendente facilita el acceso al pozo permitiendo el paso de herramientas al pozo durante p.ej. las fases de perforación, y permite la recuperación de fluidos de producción desde el pozo a través de tuberías de producción, que pasan a través del tubo ascendente durante las últimas fases de producción del pozo. Normalmente, el tubo  
15 ascendente incorporará componentes conectores para enlazar las juntas individuales del tubo ascendente y para proporcionar una conexión en la superficie y en el lecho marino.

20 En la mayoría de los casos, el tubo ascendente marino será sometido a cargas cíclicas, causadas por ejemplo por las acciones de las olas y de las mareas. Las cargas cíclicas repetidas sobre los tubos ascendentes submarinos conducen a una fatiga del metal en el sistema ascendente. La integridad estructural de un tubo ascendente puede ser comprometida, ya que las cargas cíclicas repetidas causarán finalmente que se inicien grietas por fatiga p.ej. desde la superficie del tubo ascendente, y dependiendo de la naturaleza de las cargas y la duración del servicio, tales grietas inducidas por fatiga podrían propagarse eventualmente y fracturar el tubo ascendente, conduciendo a un fallo catastrófico de la cuerda del tubo ascendente, con la posibilidad de una liberación de hidrocarburos al entorno marino que rodea al pozo, y un potencial daño o pérdida de vida.

25 El daño por fatiga se mitiga durante la fase de diseño de un producto, para intentar asegurar que las tensiones y esfuerzos en el componente no produzcan grietas iniciadas por fatiga.

Los documentos US2012/0303293, US2012/0031620 y US2015/0176237 son útiles para entender la invención.

**Compendio de la invención**

30 Según la presente invención se proporciona un componente de tubo ascendente marino que tiene un sensor de daño por fatiga, caracterizado por que el sensor de daño por fatiga está integrado en el componente de tubo ascendente marino, en donde el sensor está adaptado para ser dañado irreversiblemente por las tensiones y esfuerzos aplicados al componente de tubo ascendente marino, y en donde el sensor está adaptado para registrar dicho daño en el sensor.

Opcionalmente el sensor está integrado en el componente en una ubicación en el componente que transmite las cargas de fatiga al sensor en un factor de concentración de tensión conocido.

35 Opcionalmente el sensor de daño por fatiga está integrado en un cuerpo del componente de tubo ascendente marino.

40 El componente de tubo ascendente marino puede formar parte de un tubo ascendente marino en uso. Opcionalmente el componente de tubo ascendente marino puede comprender un acoplamiento o una parte de un acoplamiento en un tubo ascendente marino. Opcionalmente el componente puede comprender un componente conector, por ejemplo, un componente conector de aguja o de caja, o una tubería ascendente marina. Opcionalmente el componente puede ser un componente conectado a la tubería ascendente marina tal como una abrazadera o una línea auxiliar.

Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga está montado en un hueco en el cuerpo. Opcionalmente el hueco está formado en una superficie del cuerpo, p.ej. en una superficie exterior del cuerpo del componente. Opcionalmente el hueco está formado en un diámetro exterior del tubo ascendente marino.

45 La invención también proporciona un método para evaluar el daño por fatiga en un componente de tubo ascendente marino, comprendiendo el método recoger datos de daño por fatiga de un sensor de daño por fatiga, caracterizado por integrar el sensor de daño por fatiga en un cuerpo del componente de tubo ascendente marino, que incluye dañar irreversiblemente el sensor por tensiones y esfuerzos aplicados al componente de tubo ascendente marino, y que incluye registrar dicho daño en el sensor.

50 Opcionalmente el sensor de daño por fatiga está montado en un hueco en una superficie exterior del componente de tubo ascendente marino.

La invención también proporciona un método para evaluar el daño por fatiga en un tubo ascendente marino, usando el método anterior. La invención también proporciona un tubo ascendente marino que incorpora un componente de tubo ascendente marino como se definió anteriormente.

Opcionalmente el componente de tubo ascendente marino es un componente conector, adaptado para la conexión a un tubo ascendente marino, opcionalmente para la conexión de diferentes componentes del tubo ascendente marino, o para conectar el tubo ascendente marino a una instalación submarina o de superficie, por ejemplo una cabeza de pozo o una plataforma de producción. El componente de tubo ascendente marino puede ser adaptado para la conexión en un tubo ascendente marino de diferentes maneras, por ejemplo, por una rosca, por soldadura o con un accesorio de bayoneta o de cerrojo, etc.

El componente incorpora opcionalmente un orificio para la comunicación fluida entre el componente y un orificio del tubo ascendente marino al que el componente está adaptado para conectarse. Opcionalmente el orificio del componente y el orificio del tubo ascendente marino son coaxiales cuando el componente está conectado al tubo ascendente marino. Opcionalmente, el componente tiene primer y opcionalmente segundo extremos, que están adaptados para la conexión (p.ej. por roscas cooperantes o por otros mecanismos de conexión) a secciones de un sistema ascendente marino. El componente puede estar formado integralmente con una sección de la tubería ascendente marina, o puede estar fijado a la misma p.ej. por soldadura. El componente está montado opcionalmente en un extremo de una sección del tubo ascendente marino, por ejemplo, formando al menos una parte de un acoplamiento de caja y aguja en un extremo terminal de la sección del tubo ascendente marino.

Opcionalmente, el hueco está cerrado. Opcionalmente, el hueco está sellado contra el ingreso de fluidos. Opcionalmente, el hueco está cubierto p.ej. por una placa tal como una placa de cubierta, que puede estar sellada opcionalmente contra el componente para restringir el ingreso de fluidos en el hueco. Opcionalmente, la placa es retirable, p.ej. retirable del componente para exponer el hueco. Opcionalmente, la placa está fijada en su lugar sobre el hueco por cierres retirables que conectan la placa a la superficie exterior del componente. Opcionalmente, el hueco incorpora una ranura adaptada para retener un sello, que es comprimido típicamente entre al menos una porción de la placa y el componente de tubo ascendente marino. Opcionalmente, el sello rodea al hueco. Opcionalmente, el sello comprende un sello elastomérico, tal como una junta tórica. Opcionalmente, la placa es mantenida en su posición sobre el hueco por al menos un cierre que se extiende a través de la placa y que se engrana con el componente. Opcionalmente, el cierre puede comprender un perno, o un cierre roscado de manera similar con un eje que tiene una rosca externa, que puede engranar con una toma roscada formada opcionalmente en la superficie exterior del componente. Opcionalmente, pueden estar situados varios cierres alrededor de la periferia de la placa para engranarse con el componente y retener la placa en su lugar sobre el hueco en varias ubicaciones espaciadas periféricamente alrededor de la placa. Opcionalmente, los cierres engranan con porciones del componente fuera de la ranura, para que el sello se disponga entre los cierres y el hueco, y para que el sello resista de este modo la transferencia de fluido desde el entorno circundante hasta el hueco cuando la placa es aplicada y los cierres están engranando con el componente. Por lo tanto los cierres y sus aperturas pueden sellarse o abrirse como se desee en diferentes ejemplos de la invención.

Opcionalmente, el hueco se extiende radialmente en la superficie exterior del componente, en perpendicular al eje del componente. Opcionalmente, el hueco se extiende axialmente a lo largo del componente, opcionalmente en paralelo al orificio del componente. Opcionalmente, el hueco se extiende circunferencialmente alrededor del componente. Opcionalmente, la superficie exterior del componente en el que está formado el hueco puede ser arqueada o plana. Opcionalmente, la placa sigue los contornos del hueco, y se engrana con una cara sellante del hueco. La ranura del sello está formada opcionalmente en la cara sellante, que está formada opcionalmente en un hombro que rodea a la superficie interior del hueco y que se enfrenta radialmente hacia fuera del hueco. Opcionalmente, la superficie exterior de la placa o cubierta está alineada con la superficie exterior del componente fuera del hueco.

Opcionalmente el fluido en el hueco puede ser evacuado antes de sellar el hueco, por ejemplo, aplicando un vacío al hueco para retirar gas. Alternativamente, en algunos ejemplos, el hueco puede utilizarse conteniendo gas, p.ej. aire, a presión atmosférica.

Opcionalmente la placa o cubierta puede tener un puerto de comunicaciones que se extiende a través de la placa desde la superficie exterior del componente hasta el hueco, y que incorpora opcionalmente un enchufe o toma que permite la conexión de conductos de energía y/o de señales fuera de la superficie exterior del componente hacia la superficie interior del hueco.

Opcionalmente el hueco está formado en un área del componente que tiene un diámetro exterior expandido, con un espesor de pared de sección transversal más grande (al menos en el área del hueco) que un área adyacente del componente y/o una sección transversal más grande que la sección transversal del tubo ascendente marino al que está conectado o fijado. Por espesor de pared de sección transversal los autores de la invención se refieren típicamente al espesor de la pared lateral entre la superficie exterior del componente y el cilindro interior en esa ubicación axial. Opcionalmente, el hueco está formado cerca de un extremo terminal del componente, por ejemplo, en una porción de un conector de aguja o macho. Opcionalmente, el hueco está formado en un cuerpo recortado del extremo de la aguja o caja del conector, adaptado para el recorte de roscas en la superficie exterior del conector. En algunos ejemplos, el hueco puede estar formado en una parte forjada de la tubería.

Opcionalmente, el área del componente que tiene el diámetro exterior expandido y que lleva el hueco en la superficie exterior del mismo cambia de una sección adyacente del componente que tiene un diámetro exterior reducido en comparación con el área del componente que tiene el diámetro exterior expandido y que lleva el hueco. Opcionalmente,

el área del diámetro exterior expandido y el área del diámetro exterior reducido están conectadas por una sección biselada del componente. La diferencia entre el diámetro exterior del área expandida y el diámetro exterior del área de diámetro reducido adyacente es opcionalmente al menos tan profunda como el hueco.

5 Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga comprende un medidor que tiene una grieta iniciada y que está adaptado para monitorizar el crecimiento de la grieta según es sometido el medidor a tensión. Se describe un sensor de daño por fatiga adecuado en el documento EP0452573A, y está comercializado por Strainsall UK Limited bajo la marca registrada CrackFirst. En otros ejemplos de la invención, pueden usarse sensores de daño por fatiga diferentes.

10 Opcionalmente el sensor es dañado por las tensiones y esfuerzos aplicados a los tubos ascendentes marinos, y el daño se registra en el sensor. Opcionalmente el sensor es dañado según se propaga la grieta debido a las cargas de fatiga aplicadas al sensor a través del componente. Opcionalmente el daño se acumula en el sensor en etapas incrementales. Opcionalmente el daño se registra irreversiblemente, con lo que el sensor permanece dañado por la tensión o esfuerzo y no se recupera cuando la tensión o esfuerzo que actúa sobre el sensor es retirado.

15 El sensor opcionalmente acumula daño por fatiga en un punto de tensión cíclica, opcionalmente por crecimiento físico de una grieta, opcionalmente en etapas de daño incrementales según progresa el componente a través de su vida operacional. Ventajosamente, el progreso de la grieta y el correspondiente daño por fatiga al tubo ascendente pueden evaluarse visualmente por inspección del sensor, y en algunos ejemplos, el sensor no requiere necesariamente ninguna fuente de energía para que los datos de fatiga sean registrados. Alternativamente, el progreso de la grieta puede evaluarse por otros medios, por ejemplo medidas electrónicas de resistencia a través de la grieta, y los cambios en las medidas de resistencia con el tiempo pueden registrarse y conservarse en el sensor y compararse con tendencias establecidas en el crecimiento de la grieta. Opcionalmente, el crecimiento de la grieta puede representarse gráficamente frente al tiempo y los datos pueden ser almacenados por el sensor o por un dispositivo de almacenamiento, para que los cambios en el crecimiento de la grieta puedan ser mapeados a tiempos o intervalos de tiempo particulares dentro de la vida del componente.

25 Para que el componente del tubo ascendente marino y el sensor se integren óptimamente, las tensiones en la ubicación del sensor se ajustan típicamente a la vida de fatiga prevista del componente. La ubicación del sensor en el componente afecta al Factor de Concentración de Tensión (SCF), que es una relación que se refiere a la tensión que experimenta el sensor en relación a cargas de tracción y de momento de flexión experimentadas por el componente del tubo ascendente marino que varían a través del componente. Para que el sensor funcione óptimamente, hay ventajosamente suficiente tensión para que el sensor mida, sin ser en sí mismo dañado prematuramente. Por consiguiente el sensor se coloca en el componente en una ubicación adecuada con un SCF adecuado que es apropiado para la calificación del sensor, para que el sensor experimente la cantidad correcta de tensión durante la operación del componente en el uso normal, que es lo suficientemente alta para causar un daño suficiente al sensor durante un periodo de funcionamiento adecuado y para permitir el cálculo de la tensión aplicada al resto del componente que se factoriza en el SCF, pero no lo suficientemente alta para dañar prematuramente el sensor, por ejemplo, para causar un nivel alto de daño al sensor dentro de un periodo corto inmediatamente después de la utilización.

40 A fin de identificar la posición adecuada para el acoplamiento del sensor con el SCF apropiado, se lleva a cabo opcionalmente un análisis de elementos finitos (FEA) del componente de tubo ascendente marino. El procedimiento FEA, y la determinación del SCF, es bien conocido en la técnica, y pueden encontrarse descripciones detalladas en la mayoría de los libros de texto de ingeniería mecánica de nivel universitario, por ejemplo, Mechanical Engineering Design, de Shigley et al ISBN 007-123270-2 contiene información útil a este respecto. Habitualmente, se usa un programa informático especializado para realizar las diferentes etapas en el análisis, por ejemplo el paquete de programas ANSYS Simulation.

45 A modo de breve resumen del FEA y cómo se usa para determinar la ubicación del punto de integración del sensor, se produce un modelo del componente, por ejemplo en un paquete CAD, y este se divide en una malla de "elementos" que están conectados por "nodos". Los elementos pueden comprender cualquier forma curvilínea, por ejemplo un triángulo o cuadrado. Esta división del modelo permite un análisis localizado de los elementos, simplificando el análisis de las ecuaciones diferenciales parciales o integrales subyacentes que describen el problema que se analiza - en este caso, las tensiones y esfuerzos que experimenta el componente de tubo ascendente marino bajo carga, y la respuesta de dicho componente a la carga. Una vez que se ha completado el análisis de elementos, los resultados pueden combinarse después para producir un mapa de contorno del modelo, que resalta los desplazamientos nodales y los niveles de tensión a través del modelo. Opcionalmente el mapa de contorno puede restringirse a una porción del modelo.

55 Mediante ejecuciones del FEA iterativas, puede identificarse una posición adecuada para el sensor. El FEA determina el parámetro  $\sigma_{max}$ , la tensión máxima o pico experimentada en la ubicación del sensor. El SCF (que para este fin tendrá un valor menor que 1) se determina por la ecuación

$$SCF = \sigma_{max} / \sigma_0 < 1$$

La tensión nominal ( $\sigma_0$ ) usada para calcular el SCF requerido en la ubicación del sensor es la tensión de membrana

en la tubería ascendente producida aplicando una carga de tracción equivalente a la tubería ascendente. La tensión equivalente es la suma tanto de las cargas de tracción puras experimentadas por el tubo ascendente como las tensiones de flexión causadas por cualesquiera cargas de momento de flexión, calculada por la fórmula flexural  $M/I = \sigma/y$ , como se describe por ejemplo en la Ecuación 4-26 de 'Mechanical Engineering Design, de Shigley et al ISBN 007-123270-2. La estrategia de la tensión equivalente se usa ampliamente en la industria, y se describe en detalle en API RP 2T sección 9.6.4.2.1.

La tubería ascendente y componentes asociados tales como conectores, etc., están diseñados y construidos para un rendimiento de fatiga relativamente alto, con una calificación de clase C o superior en una Tensión/Nº de ciclos típica (o curva S/N) usada normalmente en la técnica para definir la capacidad de tensión de diferentes objetos. Las curvas S/N estándar que pueden usarse para este fin son bien conocidas de fuentes publicadas tales como BS7608. Por consiguiente, a un intervalo de tensión dado (el intervalo sobre el que la tensión aplicada varía en el curso de un ciclo) un componente de clase C resistirá muchos más ciclos antes del fallo que un componente inferior correspondiente de clase D, E, F o F2. En los presentes ejemplos, el sensor está diseñado opcionalmente a una capacidad inferior, por ejemplo, con una calificación de clase F2, y por lo tanto está diseñado para fallar a un número de ciclos inferior al mismo intervalo de tensión, cuando es sometido al mismo intervalo de tensión.

El SCF apropiado según la ecuación anterior se determina a partir de una curva S/N estándar (derivada opcionalmente de BS7608) que da las relaciones entre el número de ciclos antes del fallo a un intervalo de tensión dado para diferentes clases de curvas S/N de fatiga. Una vez que se conoce el SCF a partir de la curva S/N estándar, puede usarse FEA para determinar la mejor ubicación del sensor en el componente con el SCF más apropiado más cercano al SCF diana según el cálculo anterior, en base al SCF deseado y las curvas S/N conocidas de BS7608. En los presentes ejemplos, el SCF es normalmente menos que 1.

Por tanto el sensor se posiciona opcionalmente en una ubicación en el componente que en el uso normal experimenta una tensión que refleja la tensión y esfuerzo que es experimentado por la tubería ascendente en uso. El sensor se posiciona opcionalmente en una ubicación en el componente que es lo suficientemente fuerte para resistir la formación del hueco en la superficie exterior, pero que refleja de manera precisa las tensiones aplicadas a la tubería ascendente marina. La tensión aplicada en uso al sensor mediante el suelo del hueco es típicamente por lo tanto un reflejo preciso de las tensiones reales aplicadas a la tubería ascendente.

Opcionalmente el sensor está expuesto a menos tensión que las otras partes del tubo ascendente. La ubicación del sensor integrado en el componente se elige para cada componente usando técnicas FEA en base al SCF más apropiado para cada caso.

El sensor es opcionalmente pasivo, no requiriendo opcionalmente alambres o cables para bajar la cuerda del tubo ascendente, y no requiriendo una fuente de alimentación local o ruta de exportación de datos.

Opcionalmente, los datos pueden determinarse por inspecciones visuales periódicas. Las dimensiones finales de la grieta en el sensor pueden indicar opcionalmente el estado de fatiga del componente y/o el tubo ascendente. Además, el sensor puede capturar el daño por fatiga de amplitud variable, sin necesidad de algoritmos post-procesamiento de expertos ni interpretación subjetiva de los datos de otros sistemas basados en medidores de esfuerzo activos.

En algunos ejemplos, el tubo ascendente que incorpora el sensor puede ser menos voluminoso, y puede requerir menos tiempo para utilizarse. Los ejemplos de la invención pueden utilizarse opcionalmente tan fácilmente como un tubo ascendente convencional sin sensores de daño por fatiga, ya que los sensores están integrados en el tubo ascendente y opcionalmente no se extienden más allá de la envoltura del tubo ascendente estándar.

Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga está conectado a una superficie interior del hueco. Opcionalmente, el hueco tiene un suelo que se extiende paralelo al diámetro exterior nominal del componente y/o el tubo ascendente marino, y opcionalmente paralelo al eje del componente y/o el tubo ascendente marino, y el sensor de daño por fatiga está conectado opcionalmente al suelo del hueco. En algunos ejemplos, el sensor de daño por fatiga puede estar atornillado, soldado y/o pegado o fijado de otro modo en su lugar al suelo del hueco. Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga está unido al suelo del hueco en ubicaciones separadas por espacios en el sensor de daño por fatiga, opcionalmente en ubicaciones en el sensor de daño por fatiga que están separadas en lados opuestos de la grieta en el sensor, y en la práctica las ubicaciones de los elementos que sujetan el sensor al suelo del hueco pueden estar separados en una dirección axial en el sensor. Por ejemplo, en un ejemplo, el sensor de daño por fatiga puede estar unido al suelo del hueco por pernos que conectan extremos axiales opuestos (opcionalmente cada esquina) del sensor de daño por fatiga al suelo del hueco. En ese ejemplo, el sensor de daño por fatiga tiene opcionalmente un eje largo, que está dispuesto opcionalmente paralelo al eje del componente, por ejemplo paralelo al eje del orificio que se extiende a través del conector. La grieta en el sensor está orientada opcionalmente perpendicular al eje, para detectar el esfuerzo axial con una sensibilidad máxima. Opcionalmente, la grieta en el sensor puede estar orientada en otras direcciones, para ser más sensible a otros tipos de esfuerzo. La grieta en el sensor es opcionalmente lineal, opcionalmente geoméricamente lineal, y está orientada opcionalmente perpendicular al esfuerzo medido.

Opcionalmente, el suelo del hueco está espaciado radialmente del eje del orificio del componente. Opcionalmente, el espaciado radial del suelo del hueco del eje del orificio del componente es menor que el espaciado radial de la

superficie exterior del componente en el área del hueco, y por tanto el suelo del hueco se extiende radialmente hacia dentro hacia el eje del orificio del componente desde la superficie exterior del componente en el área inmediatamente adyacente al suelo. Opcionalmente, las paredes laterales del hueco se extienden radialmente, pero en algunos ejemplos, las paredes laterales del hueco no necesitan seguir de manera precisa el radio, y pueden estar, por ejemplo, inclinadas en un ángulo con respecto al radio. Opcionalmente, el suelo del hueco es paralelo al eje del orificio del componente, y paralelo al diámetro exterior del componente. Opcionalmente, el suelo del hueco es paralelo al eje del orificio del componente en el área del hueco, y opcionalmente paralelo al diámetro exterior nominal del componente en otras áreas del hueco separadas por espacios del hueco. Opcionalmente, el espaciado radial entre el suelo del hueco y el eje del orificio está dentro de 10%, p.ej. dentro de 5% del valor del espaciado radial entre el eje del orificio y el diámetro exterior nominal del componente, por ejemplo el diámetro exterior del componente en áreas alejadas del hueco, fuera del área del componente que tiene un diámetro exterior expandido, aunque la ubicación precisa del sensor se adapta opcionalmente para cada componente a fin de situar el sensor en una parte del componente que tiene un SCF apropiado, opcionalmente deducido por FEA para la combinación elegida del tubo ascendente y el sensor. Por lo tanto, el sensor de daño por fatiga puede montarse opcionalmente en el mismo espaciado radial que el diámetro exterior nominal del componente, pero en otros ejemplos, el suelo del hueco puede ser ajustado a un espaciado radial entre el diámetro nominal del componente y el diámetro más grande del hombro de carga u otra área donde esté situado el hueco; en la práctica, el sitio se elige en base al SCF más apropiado, opcionalmente determinado por FEA.

Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga es sometido a una precarga antes de ser fijado al suelo del hueco, para que cuando esté fijado en su posición, la precarga se mantenga, y continúe actuando sobre el sensor de daño por fatiga. Por ejemplo, en un aspecto, el sensor de daño por fatiga puede ser estirado axialmente, o estirado circunferencialmente antes de fijar el sensor de daño por fatiga a la superficie interior del hueco.

Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga está conectado por medio de conductos de señales al puerto en la placa, para que acceder a la superficie exterior del puerto, expuesta a la superficie exterior de la placa, permita la interrogación del sensor de daño por fatiga dentro del hueco, sin abrir el hueco o retirar la placa. Opcionalmente, el puerto puede sellarse para impedir el ingreso de fluidos a través del puerto. Opcionalmente el puerto puede incorporar una tapa, que puede sellarse a la placa.

Opcionalmente, el componente puede incorporar un dispositivo de almacenamiento que puede leer y opcionalmente almacenar datos del sensor. Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga puede incorporar un procesador, que puede opcionalmente procesar datos del sensor. Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga puede incorporar una fuente de alimentación tal como una pila para permitir el registro de datos. Opcionalmente, el dispositivo de almacenamiento, el procesador y la fuente de alimentación pueden incorporarse dentro del hueco junto con el sensor de daño por fatiga.

Opcionalmente, los datos pueden ser leídos del sensor de daño por fatiga a intervalos periódicos, por ejemplo semanas, meses o años. En un ejemplo, los datos son leídos del sensor de daño por fatiga a intervalos de seis meses, por inspección visual y medida de la longitud de la grieta, y opcionalmente por medidas de resistencia eléctrica a través de la grieta que se comparan con medidas previas para determinar cambios en el crecimiento de la grieta entre inspecciones periódicas.

Opcionalmente, el sensor de daño por fatiga y/o el dispositivo de almacenamiento o procesamiento en el hueco está conectado por medio de conductos de señales y opcionalmente de energía a un puerto en la placa, para que acceder a la superficie exterior del puerto expuesta a la superficie exterior de la placa pueda permitir la interrogación del sensor de daño por fatiga dentro del hueco, sin abrir el hueco o retirar la placa. Opcionalmente se sella de manera retirable un tapón, p.ej. una tapa, al puerto en la placa para proteger el puerto durante el uso del componente.

Opcionalmente, cada componente puede tener varios sensores diferentes, que pueden estar situados en huecos respectivos en diferentes posiciones axiales a lo largo del componente. En un ejemplo, cada componente puede tener varios sensores diferentes situados en huecos independientes respectivos en la misma posición axial en el componente, pero separados unos de otros circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del cuerpo del componente. En un ejemplo, los extremos opuestos del componente pueden tener cada uno al menos un sensor, o al menos una matriz de sensores. En cada matriz de sensores, dispuesta en huecos respectivos en o cerca de la misma posición axial en el componente, los sensores y huecos están opcionalmente espaciados circunferencialmente unos de otros alrededor de la superficie exterior del cuerpo del componente. Opcionalmente, los huecos pueden estar espaciados a intervalos regulares, por ejemplo, en un ejemplo, se proporcionan tres huecos separados a intervalos de 120° alrededor de la superficie exterior del extremo de aguja del componente. Los tres huecos incorporan áreas no ahuecadas del componente espaciadas circunferencialmente entre los huecos. Cada hueco puede incorporar opcionalmente más que un sensor.

Los diversos aspectos de la presente invención pueden practicarse en solitario o en combinación con uno o más de los otros aspectos, como apreciarán los expertos en las técnicas relevantes. Los diversos aspectos de la invención pueden proporcionarse opcionalmente en combinación con uno o más de los rasgos opcionales de los otros aspectos de la invención. También, los rasgos opcionales descritos en relación a un aspecto pueden combinarse típicamente en solitario o junto con otros rasgos en aspectos diferentes de la invención. Cualquier tema descrito en esta memoria descriptiva puede combinarse con cualquier otro tema en la memoria descriptiva para formar una combinación nueva.

Se describirán ahora en detalle diversos aspectos de la invención con referencia a las figuras acompañantes. Sin embargo otros aspectos, rasgos y ventajas de la presente invención son fácilmente evidentes a partir de la descripción entera de la misma, incluyendo las figuras, que ilustran varios aspectos e implementaciones ilustrativas. La invención es susceptible también de otros y diferentes ejemplos y aspectos, y sus diversos detalles pueden modificarse en diversos aspectos, todos sin apartarse del alcance de la presente invención. Por consiguiente, los dibujos y descripciones son para ser considerados como de naturaleza ilustrativa, y no como restrictivos. Además, la terminología y fraseología usada en la presente memoria se usa únicamente para fines descriptivos, y no debe interpretarse como limitante en el alcance. El lenguaje tal como “que incluye”, “que comprende”, “que tiene”, “que contiene” o “que implica” y variaciones de los mismos pretende ser amplio y abarcar el tema enumerado después, equivalentes, y temas adicionales no recitados, y no pretende excluir otros aditivos, componentes, números enteros o etapas. Asimismo, el término “que comprende” se considera sinónimo con los términos “que incluye” o “que contiene” para fines legales aplicables. Por tanto, en toda la memoria descriptiva y las reivindicaciones, a menos que el contexto requiera otra cosa, se entenderá que la palabra “comprender” o variaciones de la misma tales como “comprende” o “que comprende” implica la inclusión de un número entero o grupo de números enteros indicado, pero no la exclusión de ningún otro número entero o grupo de números enteros.

Cualquier discusión de documentos, actas, materiales, dispositivos, artículos y similares está incluida en la memoria descriptiva únicamente para el fin de proporcionar un contexto para la presente invención. No se sugiere o representa que cualquiera o todas estas materias forme parte de la base de la técnica anterior o sea de conocimiento general común en el campo relevante a la presente invención.

En esta descripción, siempre que una composición, un elemento o un grupo de elementos esté precedido de la frase transicional “que comprende”, se entiende que los autores de la invención también contemplan la misma composición, elemento o grupo de elementos con las frases transitivas “que consiste esencialmente en”, “que consiste”, “seleccionado del grupo que consiste en”, “que incluye” o “es” que precede a la recitación de la composición, elemento o grupo de elementos y viceversa. En esta descripción, las palabras “típicamente” o “opcionalmente” son para ser entendidas como que pretenden indicar rasgos opcionales o no esenciales de la invención que están presentes en ciertos ejemplos pero que pueden omitirse en otros sin apartarse del alcance de la invención.

Se entiende que todos los valores numéricos en esta descripción son modificados por “aproximadamente”. Se entiende que todas las formas singulares de elementos, o cualesquiera otros componentes descritos en la presente memoria, incluyen formas plurales de los mismos y viceversa. Las referencias a descripciones direccionales y posicionales tales como superior e inferior y direcciones p.ej. “arriba”, “abajo” etc. son para ser interpretadas por un lector experto en el contexto de los ejemplos descritos para hacer referencia a la orientación de los rasgos mostrados en los dibujos, y no son para ser interpretadas como limitantes de la invención a la interpretación literal del término, sino que por el contrario deben ser como entiende el destinatario experto.

### Breve descripción de los dibujos

En los dibujos acompañantes:

La figura 1 muestra una vista en corte en perspectiva de un primer ejemplo de un componente de tubo ascendente marino en la forma de un conector según la invención;

La figura 2 muestra una vista en corte parcial en perspectiva de un segundo ejemplo de un componente de tubo ascendente marino en la forma de un cuerpo recortado de rosca en una tubería ascendente de completación según la invención;

La figura 3 muestra una vista en perspectiva del segundo ejemplo de la figura 2;

La figura 4 muestra una vista desde el extremo de un extremo de aguja del conector de la figura 2;

La figura 5 muestra una vista en sección a través de la línea A-A de la figura 2, que muestra el detalle interno de un hueco en el conector de la figura 2;

La figura 6 muestra una vista en planta del hueco mostrado en la figura 5, con la placa de cubierta retirada por claridad, exponiendo en hueco; y

La figura 7 muestra una curva S/N esquemática típica usada en la determinación de una ubicación adecuada para el sensor en los ejemplos anteriores.

### Descripción detallada de al menos un ejemplo de la invención

Haciendo referencia ahora a la figura 1, un componente de tubo ascendente marino en la forma de un conector 1 de tubo ascendente marino tiene un extremo de aguja con una porción de conector macho de extremo terminal adaptada para la conexión con una porción de conector hembra de extremo terminal en una junta de tubo ascendente marino adyacente. Opcionalmente, el conector 1 de tubo ascendente marino está situado en la parte superior o en la parte inferior de la cuerda de tubo ascendente marino, en la interfaz con la plataforma o buque en la superficie, o la cabeza

de pozo (no mostrada), o en cualquier otra junta a lo largo de la cuerda. El extremo de aguja y extremo terminal macho asociado del conector 1 se muestra en el lado derecho de la figura 1, y la tubería ascendente se muestra en el lado izquierdo del dibujo. El conector 1 incorpora un orificio para la comunicación fluida entre el conector y un orificio coaxial del tubo ascendente marino al que el conector está adaptado para conectar. El conector 1 tiene también un extremo hembra (caja) (no mostrado pero en el extremo opuesto al extremo de aguja mostrado en la figura 1) adaptado para la conexión (p.ej. por roscas cooperantes o por otros mecanismos de conexión tales como soldadura, etc.) a secciones adyacentes de una tubería ascendente marina. El conector 1 (y las secciones del tubo ascendente marino entre los conectores en los extremos terminales de las secciones del tubo ascendente marino) es generalmente tubular entre los extremos de aguja y de caja, y tiene un diámetro exterior nominal de (en este ejemplo) 0,610 metros (24 pulgadas) en la sección 1c central entre los extremos de aguja y de caja. El conector 1 tiene al menos un hombro 2 de carga de extremo terminal que tiene un diámetro expandido mayor que el diámetro exterior nominal de la tubería entre los extremos del conector. Por supuesto, pueden adoptarse diámetros diferentes para cualquier sección del conector y/o el tubo ascendente marino en otros ejemplos, y las dimensiones en la presente memoria no pretenden ser limitantes.

El extremo de aguja del conector 1 está maquinizado en su hombro 2 de carga para formar un hueco 5 en la superficie exterior del conector 1. El hombro 2 de carga tiene una profundidad radial de material aumentada en comparación con la sección 1c central, ya que el diámetro interior es generalmente similar, pero en este caso el diámetro exterior es generalmente más grande en aproximadamente 5-15%, p.ej. alrededor de 7-10%. En la práctica, la relación puede variar a través de ejemplos diferentes de componentes, dependiendo del SCF requerido. El hueco 5 puede comprender cualquier cavidad dentro del conector adecuada para contener el sensor.

El hueco 5 alberga una placa 6 de cubierta con forma de caja que está sellada al suelo del hueco por un sello resiliente en la forma de una junta 7 tórica, para formar un compartimento hermético lleno de aire dentro de la placa 6 de cubierta, aislando de este modo al sensor del daño por factores ambientales no relacionados con la tensión, y para proteger a los contenidos de la cubierta de un daño mecánico tal como un impacto accidental cuando el tubo ascendente está siendo accionado. La placa 6 de cubierta está fijada al suelo del hueco 5 por los pernos 4, distribuidos alrededor de la periferia de la placa 6 de cubierta, opcionalmente a intervalos regulares, que se engranan dentro de tomas roscadas en el suelo del hueco 5. Tensionar los pernos 4 mantiene la placa 6 de cubierta en su lugar, y comprime la junta 7 tórica, para sellar el interior de la placa 6 de cubierta contra el suelo del hueco 5, y resistir el ingreso de fluidos en el área sellada entre la placa 6 de cubierta y el suelo del hueco 5.

El hueco 5 se extiende radialmente hacia la superficie exterior del conector, perpendicular al eje longitudinal del conector, y axialmente a lo largo del conector, paralelo al orificio. El hueco 5 también se extiende circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del extremo de aguja. La placa 6 sigue los contornos del hueco 5, y se engrana con una cara sellante que rodea al hueco 6. La superficie exterior de la cubierta 6 está alineada con la superficie exterior del extremo de aguja del conector fuera del hueco 5.

El interior de la placa 6 de cubierta está adaptado para contener dentro del hueco un sensor de daño por fatiga que en este ejemplo está en la forma de un sensor 10 de fatiga CrackFirst™ comercializado por Strainsall UK Limited, y se describe en el documento EP0452573A. El sensor 10 de daño por fatiga comprende un medidor que tiene una grieta iniciada, y el sensor 10 está adaptado para monitorizar el crecimiento de la grieta mientras el medidor es sometido a tensión. El sensor 10 registra opcionalmente el daño por fatiga acumulativo en un punto de tensión cíclica significativa, por un crecimiento físico de la grieta según progresa el componente a través de su vida operacional. Ventajosamente, el progreso de la grieta y el correspondiente daño por fatiga al tubo ascendente pueden evaluarse visualmente por inspección, y el sensor 10 pasivo en este ejemplo no requiere ninguna fuente de alimentación para que los datos de fatiga se registren. El progreso de la grieta puede evaluarse visualmente o por otros medios, por ejemplo medidas de resistencia electrónica a través de la grieta, y los cambios en las medidas de resistencia con el tiempo pueden registrarse y compararse con tendencias establecidas en el crecimiento de grietas. Opcionalmente el crecimiento de la grieta puede representarse gráficamente frente al tiempo. La grieta está dispuesta sustancialmente perpendicular al eje del conector.

El sensor 10 está sujeto de manera segura a una superficie del conector 1 en el interior del hueco 5. La superficie a la que el sensor 10 está fijado opcionalmente se extiende axialmente a lo largo del hueco, paralelo al eje del conector, para que el esfuerzo en el conector 1 se transmita a través de la superficie, y por tanto a cualquier sensor 10 que esté fijado a la superficie. La ubicación del hueco 5 en el hombro 2 de carga con su sección de pared más profunda significa que el hombro 2 de carga es aún lo suficientemente fuerte para resistir la deformación del hombro de carga incluso con el material retirado para formar el hueco en la superficie exterior. Sin embargo, la superficie del hueco 5 a la que el sensor 10 está fijado es también suficientemente compatible para reflejar de manera precisa las tensiones aplicadas a las otras partes del conector.

La ubicación y construcción del sensor 10 es típicamente tal que la tensión y esfuerzo aplicados al conector 1 dañarán el sensor 10 antes de que dañen el conector 1. El daño prematuro al sensor podría sugerir inapropiadamente que el tubo ascendente está experimentando un daño por fatiga mayor que lo que es realmente el caso, dando como resultado una intervención innecesaria tal como un Ensayo No Destructivo (NDT). La profundidad del hueco y la posición de la superficie en la que el sensor 10 está fijado se eligen para que la tensión aplicada al sensor sea una fracción de la tensión aplicada a la tubería ascendente. En este ejemplo, la tubería ascendente y componentes asociados tales como los conectores 1 etc., están diseñados y construidos para una capacidad de fatiga relativamente

alta, con una calificación de clase C o superior en un intervalo de tensión media/Nº de ciclos típico (o curva S/N) usado normalmente en la técnica para definir la capacidad de tensión de diferentes objetos, bien conocido de fuentes tales como BS7608. Una curva S/N típica usada en la determinación de la ubicación del sensor en el conector 1 se muestra en la Fig. 7. El intervalo de tensión a ser experimentada por los componentes en el tubo ascendente en el uso normal se conocerá en la fase de diseño, y la frecuencia de ciclos. En este ejemplo, por simplicidad de explicación, el intervalo de tensión es 100 MPa, tensión a la que el número de ciclos predicho hasta el fallo del tubo ascendente de clase C será aproximadamente  $10^6$ , como se muestra en la escala logarítmica de la Fig. 7, correspondiente a un tiempo de vida del producto de 20 años. El intervalo de tensión máximo correspondiente para el sensor de clase F2 más débil para fallar en el mismo número de  $10^6$  ciclos se determina a partir de la curva S/N en la Fig. 7 como 40 MPa. Por tanto, el SCF para esta combinación particular de tubo ascendente y sensor que opera en el intervalo de tensión de 100 MPa en el tubo ascendente para un tiempo de vida deseado de  $10^6$  ciclos es  $40/100 = 0,4$ .

En este ejemplo de la invención, una posición óptima para el sensor se calcula opcionalmente creando un modelo de elementos finitos del conector del tubo ascendente marino y generando una malla de elementos y nodos a partir de esto, usando un paquete informático adaptado para este análisis. La respuesta del conector bajo carga se modela y analiza. Se produce un mapa de contornos que muestra la distribución de tensión mediante el programa informático FEA, junto con un cálculo de la tensión pico y la(s) ubicación(es) en las que esta es experimentada por el conector, y un gráfico de la curva del gradiente de tensión. La tensión nominal usada para calcular el SCF requerido en la ubicación del sensor es la tensión de membrana en la tubería ascendente producida aplicando una carga de tracción equivalente a la tubería ascendente. La tensión equivalente es la suma tanto de las cargas de tracción puras experimentadas por el tubo ascendente como las tensiones de flexión causadas por cualesquiera cargas de momento de flexión calculadas por la fórmula flexural  $M/I = \sigma/y$  como se indica en la Ecuación 4-26 de 'Mechanical Engineering Design, de Shigley et al ISBN 007-123270-2. La estrategia de la tensión equivalente se usa ampliamente en la industria y se describe en detalle en API RP 2T sección 9.6.4.2.1.

El factor de concentración de tensión que experimenta el sensor en ubicaciones diferentes se calcula dividiendo el valor de tensión pico en la ubicación del sensor por el valor de tensión nominal del componente, que en este ejemplo es la tensión de membrana de la tubería ascendente. Usando esta información, puede identificarse la geometría correcta del hueco y modificarse el hueco apropiadamente para producir el SCF requerido dentro del hueco. La ubicación del acoplamiento del sensor es ventajosamente tal que el sensor experimenta una tensión suficiente para reflejar la vida de fatiga del conector, sin que el sensor sea sometido a tanta carga que sea dañado prematuramente, por lo tanto la posición y geometría del hueco se eligen para que se produzca el SCF apropiado en la ubicación del sensor. En el presente ejemplo, se usa el FEA para identificar la profundidad correcta del hueco en la ubicación particular para proporcionar un SCF deseado de 0,4, y después el hueco se fresa (o se forma de otro modo) con la geometría calculada según los resultados de FEA. Por consiguiente, la tensión aplicada al resto del componente se refleja de acuerdo con el SCF en la tensión medida por el sensor 10.

El sensor 10 es pasivo en este ejemplo, no requiriendo alambres o cables para bajar la cuerda del tubo ascendente, y no requiriendo una fuente de alimentación local ni ruta de exportación de datos. Opcionalmente, los datos pueden determinarse por inspecciones visuales periódicas de la grieta cuando se recupera el tubo ascendente a la superficie, y en este ejemplo, no se requiere procesamiento de post-muestreo. Las dimensiones finales de la grieta en el sensor 10 pueden indicar opcionalmente el estado de fatiga del tubo ascendente. Además, el sensor puede capturar un daño por fatiga de amplitud variable, sin necesidad de algoritmos post-procesamiento de expertos ni interpretación subjetiva de los datos de otros sistemas basados en medidores de esfuerzo activos.

El sensor 10 de daño por fatiga está conectado al suelo del hueco que se extiende paralelo al diámetro exterior nominal del conector 1 por los pernos 3 ajustados en ubicaciones espaciadas axialmente en el sensor 10 de daño por fatiga. En este ejemplo, el sensor 10 de daño por fatiga está unido al suelo del hueco 5 por elementos tales como los pernos 3 ajustados en lados opuestos de la grieta en el sensor 10 de daño por fatiga, opcionalmente a través de extremos axiales opuestos del sensor 10 de daño por fatiga, que están separados axialmente a lo largo del eje longitudinal del sensor 10, dispuesto paralelo al eje longitudinal del orificio del conector 1. Opcionalmente pueden usarse adhesivos tales como epoxi además de o en lugar de los pernos 3 para fijar el sensor 10 al suelo del hueco.

El espaciado radial del suelo del hueco 5 desde el eje longitudinal del orificio del conector es menor que el espaciado radial de la superficie exterior del extremo de aguja inmediatamente fuera del hueco. El suelo del hueco 5 se extiende radialmente hacia dentro hacia el eje del orificio del conector desde la superficie exterior del conector en el área inmediatamente adyacente al hueco 5. Las paredes laterales del hueco se extienden radialmente en este ejemplo. En este ejemplo, el espaciado radial entre el suelo del hueco y el eje del orificio es sólo ligeramente más grande (dentro de 5%) que el espaciado radial entre el eje longitudinal del orificio y el diámetro exterior nominal del conector 1, por ejemplo el diámetro exterior nominal de la sección 1c central del conector 1 alejada del hueco 5.

El sensor 10 de daño por fatiga en este ejemplo es sometido a una precarga antes de ser fijado al suelo del hueco 5, para que cuando esté fijado en su posición por los pernos 3, la precarga se mantenga, y continúe actuando sobre el sensor 10 de daño por fatiga. En este ejemplo, el sensor 10 de daño por fatiga es estirado axialmente y/o circunferencialmente antes de fijar el sensor de daño por fatiga a la superficie interior del hueco 5 por medio de los pernos 3.

Una vez que el tubo ascendente se recupera para inspección, la cubierta 6 se retira y el daño por fatiga se lee del sensor 10 visualmente, manualmente o bien usando un multimedidor para comprobar la continuidad a través de los rastros de la grieta del sensor. Esta lectura se refiere directamente a un porcentaje de la vida de fatiga consumida por el tubo ascendente y/o el conector en su utilización previa.

5 Haciendo referencia ahora a las Figs. 2-6, se muestra un segundo ejemplo de un componente de tubo ascendente marino en la forma de un tubo 101 ascendente de compleción que tiene muchos rasgos en común con el primer ejemplo mostrado en la Fig. 1. A los rasgos similares en el conector 101 se les dará el mismo número de referencia aumentado en 100, y no se describirán en detalle, por lo que se remite al lector al ejemplo anterior. El conector 101 tiene un extremo de aguja con porciones de conector macho y hembra. El extremo de aguja del conector 101 se muestra en la figura 2. El conector 101 incorpora un orificio que tiene un eje longitudinal X-X y es generalmente tubular entre los extremos de aguja y de caja.

15 El extremo de aguja del conector 101 tiene un cuerpo 102 recortado de extremo terminal que tiene un diámetro expandido mayor que el diámetro nominal entre los extremos de la tubería ascendente, adaptada para el recorte de roscas en la superficie exterior del conector. El diámetro interior del orificio es consistente, con lo que el cuerpo 102 recortado tiene una pared más gruesa que la sección 101c central. El cuerpo 102 recortado tiene un hueco 105 en la superficie exterior cubierto por una placa 106 sellada por una junta 107 tórica mantenida en una ranura, para formar un compartimento hermético dentro del hueco 106. La placa 106 está sujeta al suelo del hueco 105 por los pernos 104, distribuidos alrededor de la periferia de la placa 106 a intervalos regulares y fuera de la ranura de la junta tórica. Los pernos 104 se engranan dentro de tomas roscadas en el hueco 105. Tensionar los pernos 104 mantiene la placa 106 en su lugar, y comprime la junta 107 tórica, para sellar el interior de la placa 6 contra el ingreso de fluidos. El hueco 105 se extiende radialmente hacia la superficie exterior del conector en la dirección de la flecha R en la figura 4, perpendicular al eje X-X del orificio, y axialmente a lo largo del conector 101, paralelo al orificio, y circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del cuerpo 102 recortado. La placa 106 sigue los contornos del hueco 105, y se engrana con una cara sellante que rodea al hueco 6. La superficie exterior de la placa 106 está alineada con la superficie exterior del extremo de aguja del cuerpo recortado de la tubería ascendente fuera del hueco 105.

20 El hueco se sitúa en una posición óptima para el sensor 10; 110 por métodos FEA y teniendo en cuenta el SCF como se describió previamente para el ejemplo anterior, de tal modo que el sensor 10 110 experimenta suficiente tensión para reflejar de manera precisa la vida de fatiga del conector 1; 101, sin que el sensor 10 sea sometido a una fatiga excesiva para que se dañe prematuramente. De esta manera, el sensor 10; 110 se sitúa en una posición donde las tensiones están ajustadas eficazmente a la vida de fatiga prevista del conector 1; 101.

25 El interior del hueco 105 está adaptado para contener bajo la placa 106 un sensor de daño por fatiga en la forma de un sensor 110 de fatiga CrackFirst™ descrito previamente. El sensor 110 de daño por fatiga está conectado al suelo del hueco 105 que se extiende paralelo al diámetro exterior nominal del conector 101 por elementos tales como los pernos 103 dispuestos en ubicaciones espaciadas axialmente en el sensor de daño por fatiga como antes. La ubicación y geometría del suelo del hueco 105 se selecciona usando FEA para un SCF deseado como se describió en el ejemplo anterior, y el sensor 110 de daño por fatiga es sometido opcionalmente a una precarga en una dirección axial antes de ser fijado al suelo del hueco 105. Opcionalmente el suelo del hueco 105 puede estar en el mismo espaciado axial que el diámetro exterior nominal del conector en la sección 101c central. En el presente ejemplo, el cuerpo 102 recortado del conector 101 que tiene un diámetro exterior expandido y que lleva el hueco 105 cambia desde la sección 101c central del conector 101 que tiene un diámetro exterior reducido en comparación con el cuerpo 102 recortado por una sección biselada del conector 101.

30 En este ejemplo, cables de cinta conectan el sensor 110 a un adaptador en la forma de un circuito 115 impreso electrónico (que tiene opcionalmente también una función de dispositivo de almacenamiento y opcionalmente un dispositivo procesador) que está acoplado directamente por medio de cables a un puerto 120 de comunicaciones que se extiende a través de la placa 106 desde la superficie interior del hueco 105 hasta la superficie exterior de la placa 106. La superficie exterior del puerto 120 está cubierta por una tapa sellante retirable, y la toma permite la conexión de conductos de energía y/o de señales fuera de la superficie exterior de la placa 106 al paquete de electrónica en la superficie interior del hueco 105.

35 Este ejemplo difiere de la disposición de la Fig. 1 en que puede obtenerse una lectura de los datos del sensor 110 o el circuito 115 impreso directamente del puerto 120 de comunicaciones, sin retirar la placa 106. Opcionalmente el circuito 115 impreso puede incorporar diferentes elementos de procesamiento, tales como almacenamiento de datos, procesamiento de datos, circuitos de energía y/o comunicaciones. Por tanto los puntos de datos leídos por el sensor 110 pueden ser almacenados opcionalmente en el conector 101, para que los cambios en el crecimiento de la grieta puedan ser mapeados a tiempos o intervalos de tiempo particulares o mapeados a eventos registrados que ocurren dentro de la vida del conector 101.

40 Una vez que el tubo ascendente es recuperado para inspección, la placa 106 se retira opcionalmente y el daño por fatiga puede ser leído opcionalmente del sensor 110 visualmente, manualmente, o bien usando un multimedidor para comprobar la continuidad a través de las pistas de la grieta del sensor. Esta lectura se refiere directamente a un porcentaje de la vida de fatiga consumida por el tubo ascendente y/o el conector en su utilización previa. La lectura

obtenida de este modo puede compararse con los datos electrónicos recuperados del puerto 120 como comprobación cruzada, pero en algunos ejemplos, esta comprobación cruzada de datos por apertura de la placa 106 no se necesita, y los datos del puerto 120 son suficientes, con lo que el conector 101 puede ser interrogado para el daño por fatiga sin abrir la placa 106, reduciendo de este modo el tiempo de inactividad para la reutilización.

- 5 Opcionalmente, los datos pueden ser leídos del sensor 110 de daño por fatiga a intervalos periódicos, por ejemplo días, semanas, meses o años, y pueden ser almacenados opcionalmente en el circuito 115 impreso, o exportados a un dispositivo de almacenamiento o procesamiento de datos remoto o adyacente.

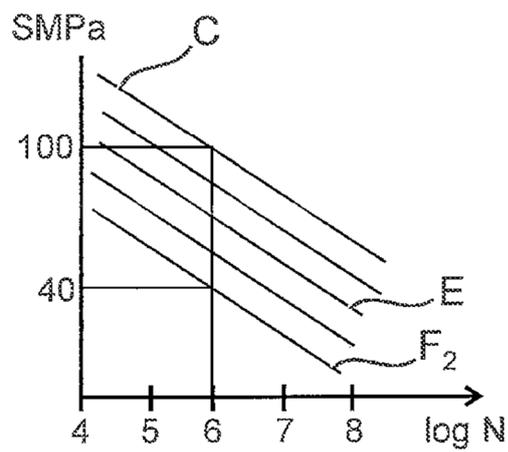
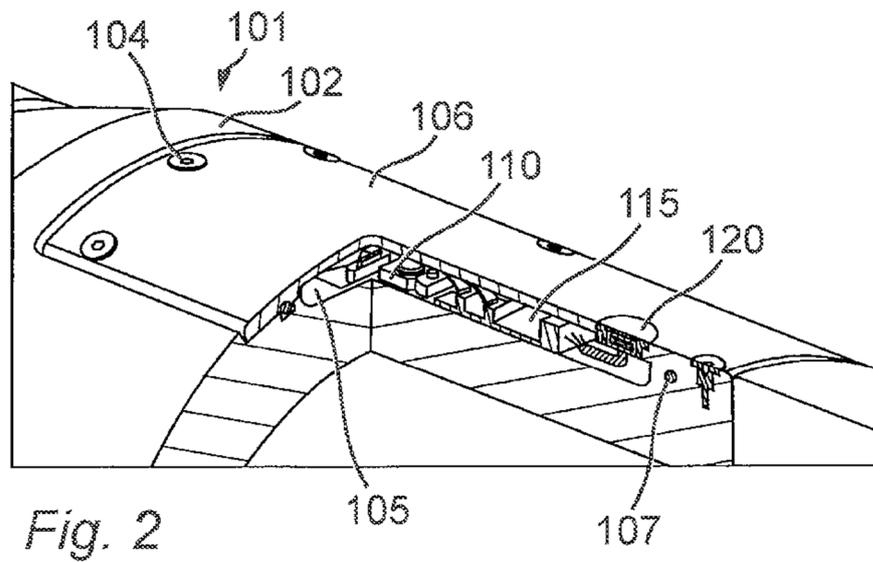
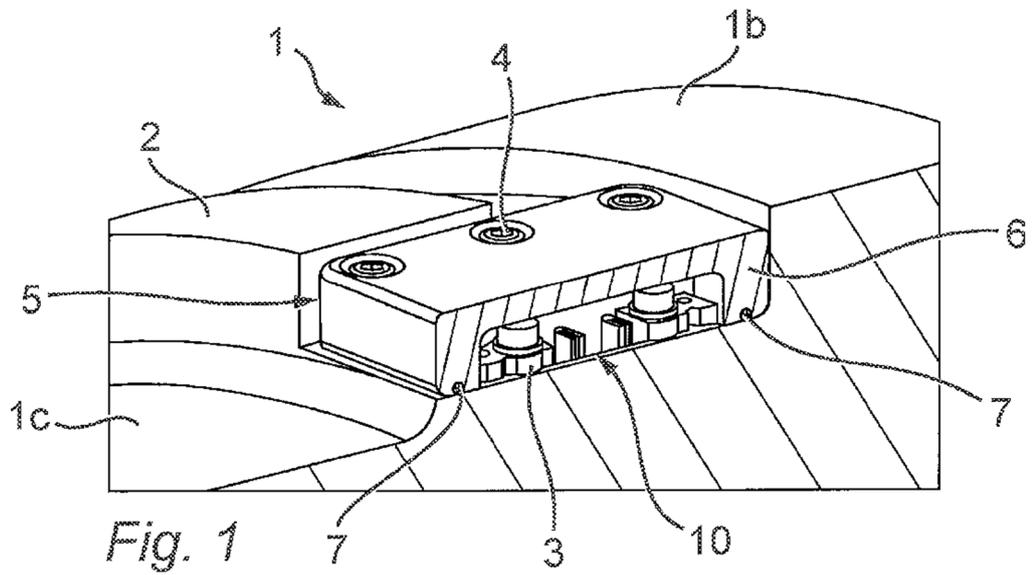
- 10 El circuito 115 impreso en este ejemplo es pasivo, como son todos los componentes dentro del hueco 105, y no tiene fuente de alimentación, procesador, o funciones de almacenamiento. El circuito impreso en este ejemplo simplemente permite la conexión pasiva del puerto 120 de comunicaciones al sensor 110 por medio de los cables de cinta para la realización de medidas de resistencia por un dispositivo accionado externo enchufado en el puerto 120 para determinar cambios en la resistencia en el sensor desde la última lectura de los datos de resistencia.

- 15 El conector 101 tiene una pluralidad de sensores 110, que pueden estar situados en huecos 105 respectivos en la misma posición axial en el conector 101, pero separados unos de otros circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del cuerpo del conector 101 como se muestra mejor en la figura 3. Los huecos 105 en la misma posición axial están opcionalmente separados circunferencialmente a intervalos regulares alrededor de la circunferencia exterior del conector 101.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un componente de tubo ascendente marino que tiene un sensor (10) de daño por fatiga, caracterizado por que el sensor (10) de daño por fatiga está integrado en el componente (1) de tubo ascendente marino, en donde el sensor (10) está adaptado para ser dañado irreversiblemente por tensiones y esfuerzos aplicados al componente (1) de tubo ascendente marino, y en donde el sensor (10) está adaptado para registrar dicho daño en el sensor.
2. Un componente de tubo ascendente marino según la reivindicación 1, en donde el sensor (10) de daño por fatiga está montado en un hueco (5) cerrado formado en una superficie exterior del componente (1).
3. Un componente de tubo ascendente marino según la reivindicación 2, en donde el hueco (5) está sellado.
- 10 4. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 2-3, que incluye una cubierta para el hueco en donde la cubierta es retirable del componente para exponer el hueco, incorporando el componente también una ranura que retiene un sello (7), que está adaptado para ser comprimido entre al menos una porción de la cubierta (6) y el componente (1), en donde el sello (7) rodea al hueco (5), y en donde la cubierta (6) está adaptada para ser mantenida en su posición sobre el hueco (5) por una pluralidad de cierres (4) que se extienden a través de la cubierta (6) y que se engranan con el componente (1), y en donde los cierres (4) están distribuidos alrededor de la periferia de la cubierta (6) para engranar con el componente (1) y retener la cubierta (6) en su lugar sobre el hueco (5), en un número de lugares separados periféricamente alrededor de la cubierta (6), y en donde los cierres (4) están adaptados para engranar con porciones del componente (1) situadas fuera del área rodeada por la ranura.
- 15 5. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en donde el hueco (5) está formado en un extremo terminal (1t) de una tubería ascendente marina que tiene un diámetro exterior expandido más grande que una sección (1c) central de la tubería ascendente marina.
- 20 6. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 2-5, en donde el sensor (10) de daño por fatiga está fijado a una superficie interior del hueco (5) en ubicaciones en el sensor (10) de daño por fatiga que están separadas en una dirección axial en el sensor.
- 25 7. Un componente de tubo ascendente marino según la reivindicación 6, en donde el hueco (5) tiene un suelo que se extiende paralelo al eje del componente, y el sensor (10) de daño por fatiga está fijado al suelo del hueco (5).
8. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde el sensor (10) de daño por fatiga comprende un medidor que tiene una grieta iniciada y que está adaptado para monitorizar el crecimiento de la grieta mientras el medidor es sometido a cargas de fatiga.
- 30 9. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde el sensor (10) está integrado en el componente (1) en una ubicación en el componente que transmite cargas de fatiga al sensor (10) en un factor de concentración de tensión conocido.
- 35 10. Un componente de tubo ascendente marino según la reivindicación 9, en donde la ubicación se elige en base al factor de concentración de tensión conocido requerido para aplicar cargas de fatiga suficientes al sensor (10) para dañar el sensor durante un periodo conocido de operación normal del tubo (1) ascendente marino, y en donde las cargas de fatiga aplicadas al sensor (10) durante la operación normal son limitadas de acuerdo con el factor de concentración de tensión a cargas que causan daño al sensor (10) durante el periodo conocido de operación normal sin destrucción del sensor como resultado de las cargas de fatiga durante el periodo normal de operación.
- 40 11. Un componente de tubo ascendente marino según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en donde el sensor (10) es pasivo.
- 45 12. Un método para evaluar el daño por fatiga en un componente de tubo ascendente marino, comprendiendo el método recoger datos de daño por fatiga de un sensor (10) de daño por fatiga, caracterizado por integrar el sensor (10) de daño por fatiga en un cuerpo (2) del componente de tubo ascendente marino, que incluye dañar irreversiblemente el sensor (10) por tensiones y esfuerzos aplicados al componente (1) de tubo ascendente marino, y que incluye registrar dicho daño en el sensor.
13. Un método según la reivindicación 12, que incluye montar el sensor (10) de daño por fatiga en un hueco (5) cerrado en la superficie exterior del cuerpo (2).
14. Un método según la reivindicación 13, que incluye sellar el hueco (5).
- 50 15. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en donde el hueco (5) tiene un suelo que se extiende paralelo al eje del componente (1), y que incluye conectar el sensor (10) de daño por fatiga al suelo del hueco (5).
16. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 12-15, que incluye fijar el sensor (10) de daño por fatiga al componente (1) en ubicaciones en el sensor (10) de daño por fatiga que están separadas en una dirección axial en uno del sensor y el tubo ascendente.

17. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 12-16, que incluye integrar el sensor (10) en el componente (1) en una ubicación en el componente que transmite cargas de fatiga al sensor en un factor de concentración de tensión conocido.
- 5 18. Un método según la reivindicación 17, en donde la ubicación se elige en base al factor de concentración de tensión conocido requerido para aplicar cargas de fatiga suficientes al sensor (10) para dañar el sensor durante un periodo conocido de operación normal del tubo ascendente marino, y en donde las cargas de fatiga aplicadas al sensor (10) durante la operación normal son limitadas de acuerdo con el factor de concentración de tensión a cargas que causan daño al sensor durante el periodo conocido de operación normal sin destrucción del sensor como resultado de las cargas de fatiga durante el periodo normal de operación.
- 10 19. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 12-18, en donde el sensor (10) es pasivo.



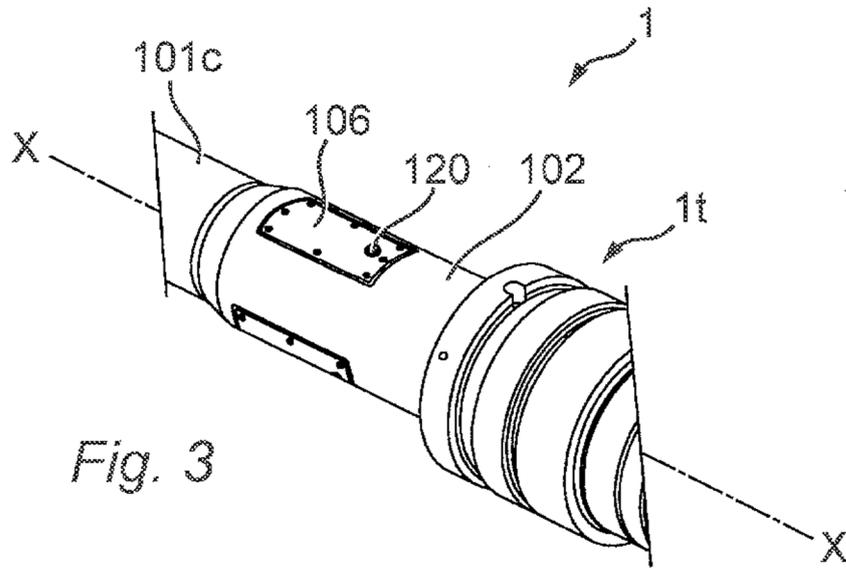


Fig. 3

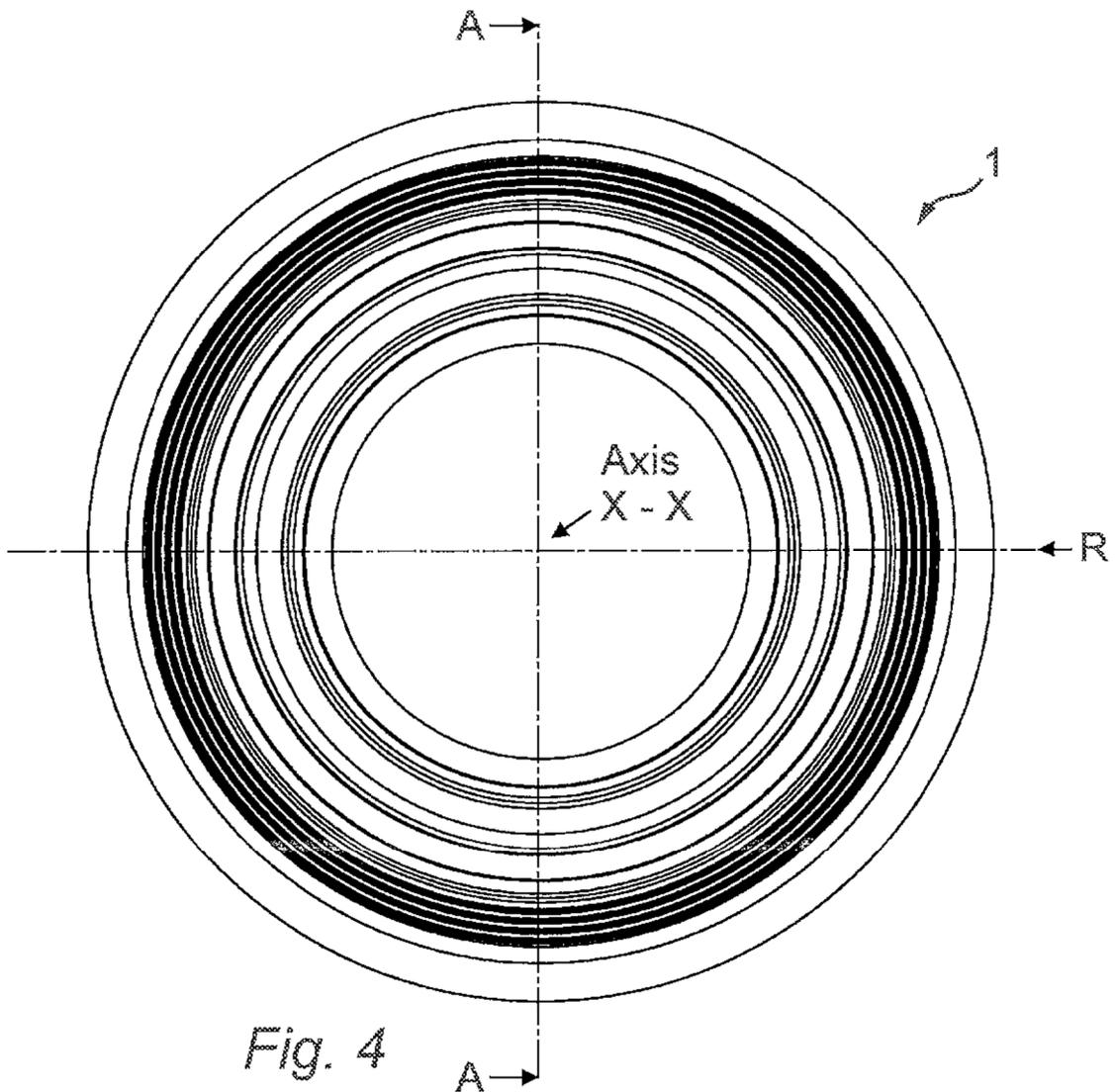


Fig. 4

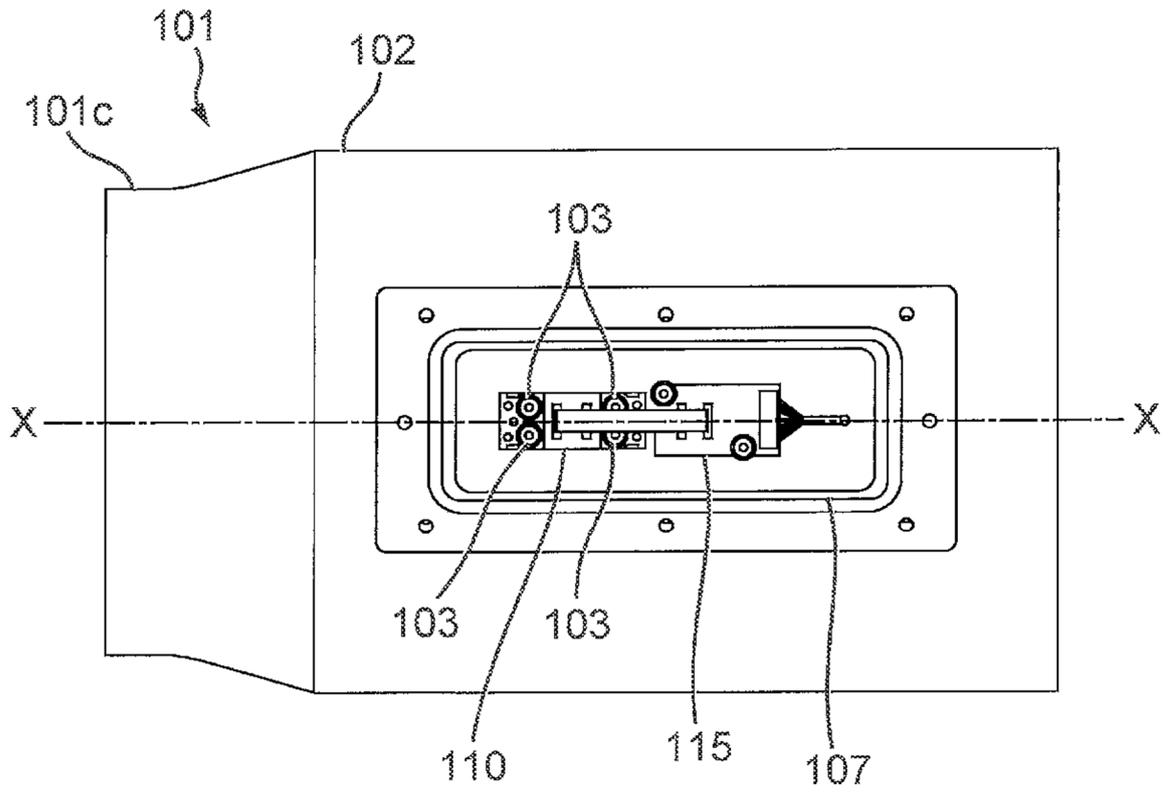


Fig. 6

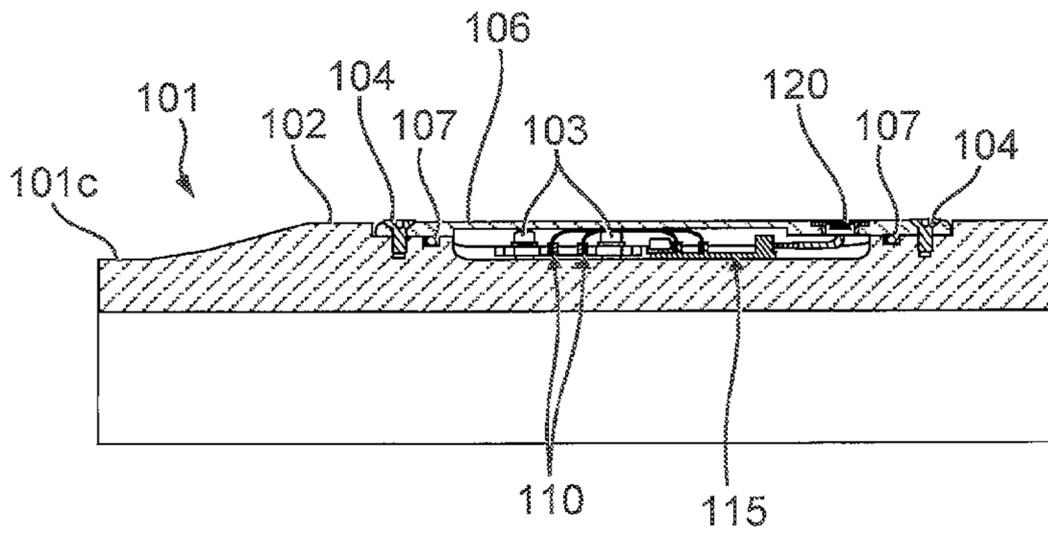


Fig. 5