

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 671**

51 Int. Cl.:

G01M 5/00 (2006.01)

G01M 3/18 (2006.01)

G01M 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2014 PCT/GB2014/053158**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.05.2015 WO15063457**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2014 E 14790272 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 3063519**

54 Título: **Aparato y método para tubería**

30 Prioridad:

29.10.2013 GB 201319105

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

27.09.2018

73 Titular/es:

**GE OIL & GAS UK LIMITED (100.0%)
2 High Street
Nailsea, Bristol BS48 1BS, GB**

72 Inventor/es:

**MCNAB, JOHN CROSS;
GRAHAM, GEOFFREY STEPHEN y
NOTT, PHILIP MICHAEL HUNTER**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 683 671 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 tubería

- 5 La presente invención se refiere a un aparato y método para tubería. Particularmente, la presente invención se refiere a un aparato de tubería que comprende un cuerpo de tubería flexible y un aparato de detección y método para detectar defectos potenciales dentro del cuerpo de tubería flexible. Las modalidades particulares se refieren a un método para formar tal aparato de tubería.
- 10 Tradicionalmente la tubería flexible se utiliza para transportar fluidos de producción, tales como petróleo y/o gas y/o agua, de una ubicación a otra. La tubería flexible es particularmente útil en la conexión de una localización submarina (que puede ser bajo el agua profunda, digamos 1000 metros o más) a una localización del nivel del mar. La tubería puede tener un diámetro interno de típicamente hasta aproximadamente 0,6 metros. La tubería flexible se forma generalmente como un ensamble de un cuerpo de tubería flexible y uno o más elementos de extremo. El cuerpo de tubería flexible se forma típicamente como una combinación de materiales en capas que forman un conducto de contención de presión. La estructura de la tubería permite grandes desviaciones sin provocar tensiones de flexión que perjudican la funcionalidad de la tubería flexible durante su vida útil. El cuerpo de tubería se construye generalmente como una estructura combinada que incluye capas metálicas y de polímeros.
- 15
- 20 En muchos diseños de tubería flexible conocidos el cuerpo de tubería incluye una o más capas de armadura de presión. La carga primaria en tales capas se forma a partir de fuerzas radiales. Las capas de armadura de presión a menudo tienen un perfil en sección transversal específico para entrelazarse de manera que es capaz de mantener y absorber las fuerzas radiales que resultan de la presión exterior o interior en la tubería. El perfil en sección transversal de los alambres enrollados que evita por lo tanto que la tubería colapse o se rompa como resultado de la presión son a veces denominados perfiles resistentes a la presión. Cuando las capas de armadura de presión se forman a partir de componentes de aros conformados por alambres helicoidalmente enrollados, las fuerzas radiales de la presión exterior o interior en la tubería provocan que los componentes de aros se expandan o contraigan, lo que pone una carga de tensión en los alambres.
- 25
- 30 En muchos diseños de tubería flexible conocidos el cuerpo de tubería incluye una o más capas de armadura de tensión. La carga primaria en tal capa de armadura de tensión es la tensión. En aplicaciones de alta presión, tales como en entornos de aguas profundas y ultraprofundas, la capa de armadura de tensión experimenta cargas de alta tensión a partir de una combinación de la carga del casquete de extremo de presión interna y el peso autosoportado de la tubería flexible. Esto puede provocar fallas en la tubería flexible ya que tales condiciones se experimentan durante períodos prolongados de tiempo.
- 35
- 40 Se ha usado tubería flexible sin uniones para desarrollos en aguas profundas (menos de 3,300 pies (1,005.84 metros)) y aguas ultraprofundas (mayor de 3,300 pies). Es el aumento de la demanda de petróleo lo que está provocando que la exploración se produzca a profundidades cada vez mayores donde los factores ambientales son más extremos. Por ejemplo, en tales entornos de aguas profundas y ultraprofundas, la temperatura del suelo del océano aumenta el riesgo de enfriamiento de los fluidos de producción a una temperatura que puede conducir a la obstrucción de tuberías. El aumento de las profundidades además aumenta la presión asociada con el ambiente en que la tubería flexible debe operar. Como resultado se incrementa la necesidad de altos niveles de rendimiento de las capas del cuerpo de tubería flexible. También puede usarse la tubería flexible para aplicaciones de agua de poca profundidad (por ejemplo, menos de aproximadamente 500 metros de profundidad) o incluso en aplicaciones en la costa (por tierra).
- 45
- 50 Una forma de mejorar la respuesta de la carga y por lo tanto el rendimiento de las capas de armadura es la fabricación de las capas de materiales más gruesos y más fuertes y por lo tanto más robustos. Por ejemplo, para las capas de armadura de presión en que las capas se forman a menudo de alambres enrollados con devanados adyacentes en la capa de entrelazado, la fabricación de los alambres a partir de materiales más gruesos resulta en que la resistencia aumenta adecuadamente. Sin embargo, como se usa más material, aumenta el peso de la tubería flexible. Últimamente el peso de la tubería flexible puede convertirse en un factor limitante en el uso de la tubería flexible. Además, la fabricación de tubería flexible mediante el uso de un material más grueso aumenta los costos del material apreciablemente, lo cual es una desventaja.
- 55
- 60 Independientemente de las medidas tomadas para mejorar el rendimiento de las capas de armadura dentro de un cuerpo de tubería, existe un riesgo de que surjan defectos dentro de una tubería flexible. Un defecto puede comprender el daño a una pared exterior de un cuerpo de tubería flexible lo que resulta en la entrada de agua de mar en un espacio anular dentro del cuerpo de tubería de manera que el agua de mar llena los vacíos entre los alambres de la capa de armadura y otros elementos estructurales de la tubería. Los alambres de la capa de armadura y otros elementos estructurales se fabrican típicamente de acero u otros materiales metálicos, que son vulnerables a la corrosión acelerada tras entrar en contacto con el agua de mar. Si tal defecto no se detecta rápidamente entonces puede verse comprometida la integridad estructural del cuerpo de tubería. La detección de defectos a menudo ha requerido previamente la inspección visual del cuerpo de tubería, lo que puede ser peligroso, especialmente para instalaciones de aguas profundas y ultraprofundas.
- 65 El documento US-5551484-A describe un revestimiento de múltiples capas para revestir una tubería que tiene una cubierta externa, un revestimiento interior, una capa intermedia tejida entre la cubierta externa y el revestimiento interior. Al menos

una fibra óptica está en el revestimiento intermedio tejido con el fin de monitorear el esfuerzo o para la comunicación, y un circuito de detección de fuga de capacitancia también está en el revestimiento de múltiples capas con el fin de detectar fugas en el revestimiento de múltiples capas.

5 El documento GB-2473201-A describe un método para probar una tubería flexible sin uniones que comprende una envoltura a presión del polímero. El método comprende transmitir una señal electromagnética a lo largo de la envoltura a presión del polímero; buscar una o más señales reflejadas; y analizar la o cada señal reflejada para determinar una o más características de la permitividad eléctrica de la envoltura a presión del polímero.

10 El documento EP-2565370-A1 describe un sistema de monitoreo de tuberías submarino. El sistema de monitoreo de tuberías submarino comprende una fibra óptica y varios elementos sensores individuales dispuestos en diferentes posiciones a lo largo de la fibra óptica. Cada elemento sensor comprende al menos una fibra con rejilla de Bragg en la fibra óptica. Se proporciona además una unidad de sensor hacia la cual se acopla la fibra óptica. La unidad de sensor se adapta para detectar los cambios en el parámetro físico monitoreado por un elemento sensor.

15 El documento WO-2013/093068-A1 describe un método para monitorear la integridad de una línea flexible que se extiende a través de una instalación de explotación de fluidos, y la línea flexible asociada, el kit y el proceso de producción. Este método incluye la provisión de al menos un sensor de alambre que comprende una matriz polimérica y que tiene mayor conductividad eléctrica que la del cuerpo tubular. El método incluye medir un parámetro eléctrico representativo de la integridad de la línea flexible, en al menos un punto de medición localizado en el sensor.

20 El documento US-5177996-A describe un cable de detección de fugas para sensar de manera selectiva los químicos orgánicos líquidos que no se ven afectados por agua líquida o vapor de agua. El cable incluye un primer conductor eléctrico y un segundo conductor eléctrico dispuestos en una configuración de cable bifilar o coaxial. En la configuración coaxial, una capa de aislamiento porosa se dispone entre los conductores, y una capa de aislamiento a prueba de vapor que rodea los conductores. En la configuración de cable bifilar, los conductores se encapsulan en una capa de aislamiento porosa que está rodeada por una capa de aislamiento a prueba de vapor. El aislamiento a prueba de vapor permite el paso de químicos orgánicos líquidos mientras que excluye vapores de agua y agua líquida.

25 El documento WO-2013/135244-A1 describe una tubería flexible sin uniones con una longitud y un eje longitudinal. La tubería comprende una envoltura de sellado más interior que define un agujero, al menos una capa de armadura que rodea la envoltura de sellado interior y al menos una capa que contiene una fibra óptica, en donde la capa que contiene una fibra óptica comprende al menos una cinta y al menos una fibra óptica dispuestos con una longitud de al menos aproximadamente 3 veces la longitud de la tubería flexible. En una modalidad la fibra óptica se incorpora en la al menos una cinta de dicha capa que contiene una fibra óptica para proporcionar una cinta de fibra integrada donde ventajosamente la fibra óptica se dispone con pliegues en forma de S.

30 Ciertas modalidades de la invención proporcionan la ventaja de que puede detectarse un defecto potencial dentro de un cuerpo de tubería sin que se requiera la inspección visual periódica. Si existe un defecto entonces el cuerpo de la tubería puede repararse o reemplazarse. Los defectos que pueden detectarse incluyen una brecha de la pared exterior de una tubería flexible y la entrada de agua de mar en un espacio anular del cuerpo de tubería.

35 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un aparato de tubería que comprende: un cuerpo de tubería flexible que incluye una fibra óptica en el tubo de metal, la FIMT, que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería flexible posicionado dentro de un espacio anular del cuerpo de tubería flexible entre una capa barrera más interior y una capa barrera más exterior; y un aparato de detección, el aparato de detección que comprende: un sensor óptico acoplado a un primer extremo de la fibra óptica, el sensor óptico que se dispone para inyectar impulsos ópticos dentro de la fibra óptica y para detectar la luz dispersa o reflejada; y un sensor eléctrico acoplado a un primer extremo del tubo de metal y para detectar la variación de una impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal y un terminal separado; en donde la variación de impedancia, es indicativa de una fuga a tierra a lo largo del tubo de metal FIMT; y en donde la variación de la luz dispersa o reflejada es indicativa de una variación de temperatura a lo largo de al menos parte de la longitud de la fibra óptica.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un método para detectar defectos dentro de un cuerpo de tubería flexible, el método que comprende: inyectar impulsos ópticos en un primer extremo de una fibra óptica en el tubo de metal, la FIMT, que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de un cuerpo de tubería flexible posicionado dentro de un espacio anular del cuerpo de tubería flexible entre una capa barrera más interior y una capa barrera más exterior; detectar la luz dispersa o reflejada; detectar la variación de una impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal y un terminal separado; en donde la variación de la luz dispersa o reflejada, o la variación de impedancia, es indicativa de una fuga a tierra a lo largo del tubo de metal FIMT; y en donde la variación de la luz dispersa o reflejada es indicativa de una variación de temperatura a lo largo de al menos parte de la longitud de la fibra óptica.

60 La tubería puede ser para uso de alta presión en extracción de petróleo y gas. Las modalidades y ejemplos de la invención se describen aún más a continuación con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

La Figura 1 ilustra un cuerpo de la tubería flexible;

La Figura 2 ilustra un ensamble elevador que incorpora un cuerpo de tubería flexible;

La Figura 3 ilustra un aparato de detección de acuerdo con una modalidad de la presente invención acoplado a un cuerpo de tubería flexible que se termina con un elemento de extremo aprobado por atmósfera explosiva (ATEX);

5 La Figura 4 ilustra una disposición de glándulas para cable que permite que una fibra en tubo de metal (FIMT) dentro de un espacio anular del cuerpo de la tubería pase a través de un elemento de extremo del cuerpo de la tubería aprobado por ATEX de manera que el tubo de metal permanece aislado eléctricamente de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

10 La Figura 5 ilustra una FIMT soportada por una extrusión de polímeros de acuerdo con un ejemplo de la presente invención;

La Figura 6 ilustra un sistema para monitorear múltiples cuerpos de tuberías flexibles de acuerdo con una modalidad de la presente invención; y

La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un método para detectar un posible defecto en el cuerpo de la tubería de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

15 En los dibujos los mismos números de referencia se refieren a las partes similares.

A lo largo de esta descripción, se hará referencia a una tubería flexible. Debe entenderse que una tubería flexible es un ensamble de una porción de un cuerpo de tubería flexible y uno o más elementos de extremo en cada uno de los cuales se termina un extremo respectivo del cuerpo de tubería. La Figura 1 ilustra cómo se forma el cuerpo de tubería 100 de acuerdo con una modalidad de la presente invención a partir de una combinación de materiales en capas que forman un conducto de contención de presión. Aunque se ilustra un número de capas particulares en la Figura 1, debe entenderse que la presente invención puede aplicarse ampliamente a las estructuras del cuerpo de tubería coaxiales que incluyen dos o más capas fabricadas a partir de una variedad de posibles materiales. Debe notarse además que los espesores de capa que se muestran son para propósitos ilustrativos solamente.

20 Como se ilustra en la Figura 1, un cuerpo de la tubería incluye una capa opcional de carcasa más interna 101. La carcasa proporciona una construcción entrelazada que puede usarse como la capa más interna para evitar, total o parcialmente, el colapso de una cubierta interna de presión 102 debido a la descompresión de la tubería, a la presión externa, y a la presión de la protección a la tensión y cargas mecánicas de compresión. Se apreciará que ciertas modalidades de la presente invención pueden aplicarse a las operaciones de "agujero liso" (es decir sin una carcasa) así como también dichas aplicaciones de "agujero áspero" (con una carcasa).

30 La cubierta de presión interna 102 actúa como una capa de retención de fluidos y comprende una capa de polímero que garantiza la integridad de fluidos internos. Debe entenderse que esta capa puede comprender en sí misma un número de subcapas. Se apreciará que cuando se utiliza la capa de carcasa opcional, la cubierta de presión interna se referencia frecuentemente por los expertos en la técnica como una capa barrera. En funcionamiento sin tal carcasa (llamada operación de agujero liso) la cubierta de presión interna puede denominarse como un revestimiento.

40 Una capa opcional de protección a la presión 103 es una capa estructural con un ángulo de configuración cercano a los 90° que aumenta la resistencia de la tubería flexible a la presión interna y externa y a las cargas mecánicas de compresión. La capa también soporta estructuralmente la cubierta de presión interna, y consiste típicamente de una construcción entrelazada.

45 El cuerpo de tubería flexible incluye además una primera capa de armadura de tensión opcional 105 y una segunda capa de armadura de tensión opcional 106. Cada capa de armadura de tensión es una capa estructural con un ángulo colocado típicamente entre 10° y 55°. Cada capa se usa para soportar las cargas de tensión y la presión interna. Las capas de armadura de tensión a menudo se enrollan contrarias en pares.

50 El cuerpo de tubería flexible mostrado incluye además las capas opcionales de la cinta 104 que ayudan a contener las capas subyacentes y en cierta medida evitar la abrasión entre las capas adyacentes.

55 El cuerpo de tubería flexible también incluye típicamente las capas opcionales de aislamiento 107 y una cubierta exterior 108, que comprende una capa de polímero usada para proteger la tubería contra la penetración del agua de mar y otros entornos externos, corrosión, abrasión y daños mecánicos.

60 Cada tubería flexible comprende al menos una porción, denominada a veces como un segmento o sección de cuerpo de tubería flexible 100 junto con un elemento de extremo localizado en un extremo o ambos extremos de la tubería flexible. Un elemento de extremo proporciona un dispositivo mecánico que forma la transición entre el cuerpo de la tubería flexible y un conector. Las diferentes capas de la tubería como se muestran, por ejemplo, en la Figura 1 se terminan en el elemento de extremo de forma que se transfiera la carga entre el tubo flexible y el conector.

65 La Figura 2 ilustra un ensamble de tubería ascendente 200 adecuado para transportar el fluido de producción tal como petróleo y/o gas y/o agua desde una ubicación submarina 201 a una instalación flotante 202. Por ejemplo, en la Figura 2 la localización submarina 201 incluye una línea de flujo submarina 205. La línea de flujo flexible 205 comprende una tubería flexible, totalmente o en parte, que descansa en el fondo marino 204 o enterrada debajo del fondo marino y usada

en una aplicación estática. La instalación flotante puede proporcionarse por medio de una plataforma y/o boya o, como se ilustra en la Figura 2, un barco. El ensamble elevador 200 se proporciona como un elevador flexible, es decir una tubería flexible 203 que conecta el barco a la instalación del fondo del mar. La tubería flexible puede estar en segmentos de cuerpo de tubería flexible con los elementos de extremo de conexión. La Figura 2 también ilustra cómo las porciones de tubería flexible pueden utilizarse como una línea de flujo 205 o puente 206. Se apreciará que hay diferentes tipos de tuberías ascendentes, como se conoce bien por los expertos en la técnica. Las modalidades de la presente invención pueden usarse con cualquier tipo de tubería ascendente, tal como una libremente suspendida (tubería ascendente catenaria, libre), una tubería ascendente de cierta manera restringida (boyas, cadenas), tubería ascendente totalmente restringida o encerrada en un tubo (tubos I o J).

Existe un deseo creciente de monitorear continuamente varios parámetros de tuberías flexibles, tales como deformación, temperatura y acústica, para ayudar a detectar fallos estructurales en la tubería. Tal fallo estructural podría ser fugas, roturas de cables, sobreflexión en la tubería (es decir se dobla más allá de la cantidad máxima permisible antes de que se produzca el daño), e interacción entre la tubería y el entorno externo tal como colisiones con otros objetos, por ejemplo.

Una forma que se ha sugerido para monitorear los parámetros asociados con tales estructuras es el uso de un sistema de fibra óptica. Como método de monitoreo de deformación, temperatura y acústica en la tubería flexible, se han incorporado fibras desnudas y/o fibras en los tubos de metal (FIMT) dentro de un conducto de protección a lo largo de la longitud de la estructura de la tubería y se han conectado a un dispositivo de interrogación externo a la tubería. La fibra se usa como una fibra óptica para transmitir luz y se fabrica generalmente de vidrio. Pueden usarse las fibras ópticas, por ejemplo, como medidores de deformación, medidores de temperatura e indicadores de temperatura. Pueden hacerse mediciones de temperatura o deformación que se localizan, distribuyen o semidistribuyen en dependencia de la manera en la cual se interroga la fibra óptica y se disponen regiones/sensores en la fibra óptica. Las fibras pueden incluir fibras con rejilla de Bragg de manera que se usa la difracción diferencial de la luz que pasa por la fibra para medir el parámetro necesario. Las lecturas de salida pueden analizarse para determinar las condiciones de la tubería durante un período de tiempo y se pueden tomar medidas correctivas en consecuencia. El documento WO2009/068907 describe una manera en la cual una fibra óptica puede envolverse alrededor de una tubería flexible y ciertas medidas tomadas a partir de las cuales pueden determinarse los parámetros asociados con la tubería. Puede monitorearse la deformación mediante la inclusión de una FIMT que se une al conducto. Puede monitorearse la temperatura mediante la inclusión de una FIMT que no se une al interior del conducto, y por lo tanto es capaz de registrar la temperatura independientemente a la deformación. Las fibras pueden configurarse de manera similar para monitorear las condiciones acústicas.

Como se señaló anteriormente, los defectos en un cuerpo de tubería flexible pueden comprometer la integridad estructural del cuerpo de tubería. Particularmente, una brecha o ruptura de una capa exterior resistente al agua de mar puede permitir que el agua de mar entre en el espacio anular del cuerpo de tubería entre una capa barrera más interior y la capa exterior resistente al agua de mar. Alternativamente, una brecha en una capa barrera más interior puede permitir que los fluidos de producción entren en el espacio anular del cuerpo de la tubería. Con referencia a la Figura 1 la capa exterior resistente al agua de mar puede comprender la cubierta exterior de polímero 108 y la capa barrera más interior puede comprender la cubierta de presión interna 102. El espacio anular del cuerpo de tubería se ocupa por componentes estructurales metálicos tales como las capas de armadura de tensión 105, 106 de la Figura 1. Tales componentes frecuentemente se forman de acero u otros metales y son susceptibles a la corrosión rápida en presencia de agua de mar.

La entrada de fluidos, ya sea agua de mar o fluidos de producción, puede hacer que cambie la temperatura del espacio anular del cuerpo de la tubería. Se sabe que se monitorean los cuerpos de la tubería flexible para detectar los cambios de temperatura que pueden indicar un defecto que requiere investigación adicional. Uno de tales enfoques conocidos mediante el uso de un sistema de fibra óptica del tipo descrito anteriormente se denomina monitoreo distribuido de temperatura (DTS). Ventajosamente, el DTS permite que se detecten cambios de temperatura y se localiza a lo largo de un cuerpo de tubería flexible a través del monitoreo de una fibra óptica que se extiende a lo largo del cuerpo de tubería flexible. En algunas formas de DTS, puede establecerse un perfil de temperatura absoluta a lo largo de la fibra óptica (y por lo tanto a lo largo del cuerpo de tubería flexible) así como también detectar cambios transitorios en la temperatura. El uso de DTS es particularmente atractivo para su uso en la industria del petróleo y el gas ya que no requiere el uso de la electrónica o el paso de señales eléctricas dentro del cuerpo de tubería flexible. De hecho, la única electrónica comprende la instrumentación de detección acoplada a un extremo de la fibra óptica, y que puede posicionarse en un extremo del cuerpo de tubería flexible fuera del espacio anular del cuerpo de la tubería.

El DTS funciona mediante la transmisión de impulsos de corta duración de la luz a lo largo de la fibra óptica y mediante el monitoreo del retorno de la luz reflejada. Los impulsos luminosos interactúan con la red cristalina de la fibra de vidrio y el desplazamiento de frecuencia de la luz retrodispersada depende de la temperatura del vidrio. El tiempo al que llega cada porción de la luz devuelta, con relación al tiempo de los impulsos transmitidos, puede usarse para determinar la localización a lo largo de la fibra desde la cual se dispersa la luz. Puede establecerse un perfil de temperatura a lo largo de la fibra. Se supone que el experto estará familiarizado con los detalles del DTS convencional.

Los sistemas DTS para medir y monitorear los perfiles de temperatura a lo largo de las fibras ópticas están disponibles comercialmente y se usan bien en la industria del petróleo y el gas. Típicamente, un sistema DTS puede localizar una medición de temperatura a una resolución espacial de 1 m, y con una precisión de 1 °C. Un solo sistema DTS puede monitorear una fibra óptica que se extiende a lo largo de una tubería por hasta 30 km. Sin embargo, una desventaja de

los sistemas DTS actuales es que son caros y típicamente solo pueden monitorear una sola fibra óptica en cualquier momento. Un sistema DTS comprende un reflectómetro óptico acoplado a una fibra óptica, junto con el suministro de energía asociado y equipo de monitoreo. Esto puede comprender o bien Reflectometría óptica en el dominio del tiempo (OTDR) o Reflectometría óptica en el dominio de la frecuencia (OFDR).

Se conoce que los sistemas DTS proporcionan la fibra óptica como una fibra en tubo de metal (FIMT) para proteger la fibra óptica. La fibra óptica se encapsula dentro de un tubo de metal sellado, que ventajosamente protege la fibra óptica de daños físicos, cambios de presión, daños debido a muy altas temperaturas y los efectos de entornos corrosivos, todos los cuales pueden producirse cuando se usa DTS para detectar los cambios en la temperatura dentro de un espacio anular del cuerpo de tubería flexible. Típicamente, el tubo de metal se forma a partir de acero inoxidable, con un diámetro exterior de menos de 7 mm y acertadamente con un diámetro exterior aproximadamente equivalente al grosor de los alambres en la capa del cuerpo de tubería flexible en la cual se ajusta. Acertadamente el diámetro exterior del tubo de metal puede ser más pequeño que el grosor de los alambres en la capa del cuerpo de tubería flexible en la cual se ajusta de manera que el tubo puede instalarse en un aparato de envoltura o cinta portadora. Pueden proporcionarse múltiples fibras ópticas dentro de un solo tubo de metal, lo que puede ser deseable en ciertos escenarios de despliegue, aunque para el DTS con frecuencia bastará una sola fibra. La fibra puede insertarse en el tubo de metal por ejemplo mediante el bombeo de un líquido a través del tubo para sacar la fibra. El espacio dentro del tubo de metal que rodea la fibra puede rellenarse con un material protector, por ejemplo, un gel, para proteger además la fibra, que incluye protección de los efectos de la flexión, y para minimizar la transmisión de la fuerza a la fibra durante la fabricación y despliegue de la FIMT. Adicionalmente, la longitud de la fibra insertada en el tubo puede exceder la longitud del tubo para evitar daños durante la expansión térmica y contracción del tubo de metal.

Aunque DTS es una tecnología bien establecida que ha sido aceptada por la industria del petróleo y el gas para detectar defectos en las tuberías a través de los cambios de temperatura asociados, el gasto del equipo de reflectometría óptica asociado puede hacer que no sea económico usar DTS para una gran cantidad de conjuntos de tuberías. Además, el hecho de que ciertos sistemas DTS solo puedan detectar cambios transitorios en la temperatura no es conveniente debido a que si se pierde el cambio de temperatura inicial al comienzo de una brecha en una tubería, el sistema DTS no puede proporcionar posteriormente ninguna indicación de una brecha en curso.

Ahora se describirán las modalidades de la presente invención que pueden detectar una brecha de una capa externa o interna resistente de un cuerpo de tubería flexible. La Figura 3 ilustra un aparato de detección 300 de acuerdo con una primera modalidad de la presente invención acoplada a un cuerpo de tubería flexible 302, que puede ser del tipo mostrado en la Figura 1. El aparato de detección 300 se dispone para detectar un cambio en el cuerpo de tubería flexible 302 que puede indicar un defecto (y particularmente una brecha que permite al agua de mar u otros fluidos entrar al espacio anular del cuerpo de tubería). El aparato de detección 300 puede acoplarse a un sistema de alerta dispuesto para proporcionar una señal de salida a un operador de la tubería flexible que alerta al operador de daños potenciales a la tubería. La señal de salida puede, por ejemplo, ser una alarma visual o audible.

El aparato de detección 300 comprende un sensor óptico 304 dispuesto para acoplarse a un primer extremo de una fibra óptica 306 (indicada por la línea punteada que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería flexible 302). El sensor óptico 304 puede comprender una unidad DTS del tipo descrito anteriormente. El sensor óptico 304 puede comprender un reflectómetro óptico. La Figura 3 muestra el sensor óptico acoplado a la fibra óptica 306 a través de un multiplexor 305. El multiplexor 305 alternativamente puede considerarse para que sea parte del sensor óptico 304. El multiplexor permite que un solo sensor óptico se acople a múltiples fibras ópticas 306, como se describirá a continuación en relación con la Figura 6.

La fibra óptica 306 se extiende a través de al menos la porción del cuerpo de tubería flexible 302 dentro de la cual se desea detectar posibles defectos del cuerpo de la tubería. La fibra óptica 306 se encierra en un tubo de metal 308 para formar una fibra en tubo de metal (FIMT) del tipo descrito anteriormente para los sistemas DTS convencionales. Preferentemente, el tubo de metal 308 se extiende a lo largo de toda la longitud de la fibra óptica 306, al menos a lo largo de esa porción de la fibra óptica 306 dentro del cuerpo de tubería flexible 302. El tubo de metal 308 se aísla eléctricamente de los componentes estructurales metálicos circundantes dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería. Puede lograrse un mecanismo por el cual el aislamiento eléctrico se describe a continuación en relación con la Figura 5. La FIMT se posiciona dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería (por ejemplo, entre las capas 101 y 10 mostradas en la Figura 1. La Figura 3 muestra el cuerpo de tubería flexible 302 que se termina con un elemento de extremo 312. El elemento de extremo 312 puede ser un elemento de extremo aprobado por atmósfera explosiva (ATEX), que se acopla eléctricamente a los componentes estructurales metálicos dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería y conecta esos componentes a tierra. La FIMT pasa a través del elemento de extremo 312 a través de una disposición de glándulas para cable como se describe a continuación en relación con la Figura 4 de manera que el tubo de metal 308 permanece aislado eléctricamente a lo largo de toda su longitud dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería.

El sensor óptico 304 se dispone para inyectar impulsos ópticos dentro de la fibra óptica 306 y para detectar la luz dispersa o reflejada. La Figura 3 muestra detalles del sensor óptico 304 de acuerdo con una modalidad que será familiar al experto en la técnica. Específicamente, el sensor óptico 304 comprende un láser 316 dispuesto para generar impulsos de la luz para su inyección dentro de la fibra óptica 306. Los impulsos luminosos pasan a través de un espejo parcialmente reflectante 318 y a través del multiplexor 305 para alcanzar la fibra óptica 306. La luz devuelta dispersa o reflejada pasa

a través del multiplexor 305 antes de que se desvíe de la trayectoria original de la luz por el espejo parcialmente reflectante 318. La luz devuelta luego se refleja por un segundo espejo 320 hacia un analizador 322. El analizador 322 se dispone para comparar los impulsos luminosos transmitidos y la luz devuelta para proporcionar un perfil de temperatura a lo largo de la longitud de la fibra óptica 306, como se describió anteriormente en relación con las técnicas DTS convencionales.

5 Un procesador 324 se dispone para proporcionar una salida de alarma si se detecta un cambio en la temperatura que se produce a lo largo de la longitud de la fibra óptica 306 que puede ser indicativo de un cambio en la temperatura inducido por la entrada de fluido en el espacio anular del cuerpo de la tubería.

10 El aparato de detección 300 comprende además un sensor eléctrico 314 dispuesto para acoplarse a un primer extremo del tubo de metal 308. El sensor eléctrico 314 se dispone para detectar la variación de impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal y un terminal separado. Acertadamente el tubo de metal 308 se aísla eléctricamente de la estructura de acero circundante por el uso de separadores o la extrusión mostrada en la Figura 5. Por ejemplo, el tubo de metal 308 puede aislarse eléctricamente de otros componentes de metal dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería, y particularmente componentes estructurales de metal del tipo descrito anteriormente en relación con la Figura 1.

15 El aislamiento eléctrico del tubo de metal 308 se mantendrá donde la FIMT pasa a través del cuerpo del elemento de extremo 312, como se describirá a continuación en relación con la Figura 4.

20 El sensor eléctrico 314 en la modalidad de la Figura 3 comprende un medidor de impedancia 326 dispuesto para medir la impedancia entre el tubo de metal 308 y los componentes estructurales de metal del cuerpo de la tubería 302. Acertadamente el medidor de impedancia 326 puede acoplarse entre el tubo de metal 308 y el elemento de extremo 312, como se muestra. Como se indicó anteriormente el elemento de extremo 312 se acopla eléctricamente a los componentes estructurales de metal dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería, y en ciertas modalidades puede conectarse a tierra. En ausencia de una brecha, la impedancia medida por el medidor de impedancia 326 entre el tubo de metal 308 y el elemento de extremo 312 es alta. Si una brecha permite la entrada de fluido en el espacio anular del cuerpo de la tubería entonces el fluido puede acoplar eléctricamente el tubo de metal 308 a los componentes de metal lo que provoca un cortocircuito eléctrico. El medidor de impedancia 326 entonces podría medir una caída en la impedancia. El sensor eléctrico 314 comprende además un circuito de detección de baja impedancia 328 que se acopla al medidor de impedancia 326 y se dispone para detectar una caída en la impedancia medida, y por ejemplo puede disponerse para detectar un cambio en la impedancia mayor que un umbral preestablecido. En ciertas modalidades, si el circuito de detección de baja impedancia 328 detecta una caída en la impedancia, entonces se envía una señal al procesador 324, que puede desencadenar una salida de alarma. En ciertas modalidades, descritas en mayor detalle a continuación en relación con la Figura 6, si se detecta una caída en la impedancia entonces puede enviarse una señal al multiplexor 305 para acoplar el sensor óptico 304 a una tubería en particular que muestra la caída en la impedancia. Esto permite la presencia de un posible defecto en el cuerpo de la tubería indicada por la caída en la impedancia que se confirma por el sensor óptico.

35 En otras modalidades, el terminal separado puede comprender un terminal de agua de mar de manera que la medición de impedancia está entre el tubo de metal 308 y el agua de mar que rodea un ensamble de tubería flexible submarino. En el caso de una brecha de agua de mar el agua de mar dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería puede acoplar eléctricamente el tubo de metal al electrodo de agua de mar.

40 Para el aparato de detección 300 de la Figura 3 la variación de la luz dispersa o reflejada, o la variación de impedancia, es indicativa de un posible defecto en el cuerpo de la tubería. Particularmente, si una caída en la impedancia medida se detecta, esto es indicativo de un posible defecto en el cuerpo de la tubería que causa la entrada de fluido en el espacio anular del cuerpo de la tubería en algún lugar a lo largo de la longitud de la FIMT. El sensor óptico 304 puede ser capaz de determinar una localización de una variación de temperatura (indicativo de un posible defecto en el cuerpo de la tubería) a lo largo de la longitud de la fibra óptica.

50 Ventajosamente, el aparato de detección 300 en combinación con la FIMT 306, 308 forma un sistema de doble sensor para detectar posibles defectos del cuerpo de la tubería para una investigación adicional a lo largo de la longitud de un cuerpo de tubería flexible. La provisión de un sistema de doble sensor en esto puede aumentar la confiabilidad de detección de defectos en la tubería ya que los mecanismos y aparatos de detección son independientes entre sí y complementarios. El sensor eléctrico es capaz de proporcionar una rápida indicación de un evento de brecha en la tubería que ha permitido la entrada de fluido de producción de agua de mar en el espacio anular del cuerpo de la tubería, y por lo tanto desencadena un cortocircuito eléctrico que puede detectarse por el medidor eléctrico 314. Esta indicación rápida de un evento de brecha en la tubería puede usarse para desencadenar una inspección temprana de la tubería para determinar la localización de un defecto. Alternativamente puede proporcionarse una forma diferente de sensor eléctrico en el cual el tubo de metal es un componente, y que es capaz de proporcionar independientemente una indicación de la localización del defecto. Se apreciará que esto puede requerir la provisión de componentes eléctricos adicionales que se extienden a través del espacio anular del cuerpo de la tubería, y no se describe aún más en la presente descripción excepto para señalar que el tubo de metal 308 entonces podría formar un componente de un circuito eléctrico. Como alternativa adicional, en el caso de que el sistema eléctrico detecte un evento de brecha en la tubería, el sensor óptico puede interrogarse para determinar la localización de la brecha en la tubería. Es decir, cuando se detecta una brecha el sensor puede priorizar la detección de temperatura (si el sistema DTS está en uso la mayoría del tiempo para sensor otros parámetros del cuerpo de tubería flexible). Esta interrogación puede comprender el examen de un perfil de temperatura actual a lo largo de la longitud de la fibra óptica para determinar la localización de una anomalía en la temperatura.

65 Alternativamente, la interrogación puede comprender el examen de mediciones anteriores para determinar la localización

de un evento transitorio de cambio de temperatura indicativo de un defecto en el cuerpo de la tubería. El experto apreciará que hay una amplia gama de sistemas DTS comercialmente disponibles y la forma de interrogación variará de acuerdo con el tipo de mediciones realizadas por el sistema DTS.

5 Alternativa, o adicionalmente, el sensor óptico puede proporcionar independientemente una indicación de un evento de cambio de temperatura indicativo de un evento de brecha en la tubería. Se apreciará que el sensor óptico también puede ser capaz de detectar otras formas de cambios en el cuerpo de la tubería, tales como que se dobla o se comprime, que aún no han resultado en una brecha en la tubería que puede detectarse por el sistema eléctrico.

10 Con referencia ahora a la Figura 4, esta ilustra un ensamble de glándula para cable aislado 400 dispuesto para permitir que la FIMT 306, 308 pase a través del cuerpo del elemento de extremo 312. La Figura 4 muestra una cubierta del elemento de extremo del cuerpo de la tubería 402 y el cuerpo del elemento de extremo 312, entre los cuales se aseguran los alambres de armadura de tensión (no se ilustran). La cubierta del elemento de extremo 402 forma un anillo anular, una parte del cual se muestra en sección transversal en la Figura 4. En un extremo superior de un ensamble de tubería flexible, un cuerpo del elemento de extremo 312 (mostrado parcialmente en sección transversal) se asegura a la cubierta 402 a través de una pluralidad de tornillos 404 (se muestra uno en sección transversal). La cubierta del elemento de extremo 402 en combinación con el cuerpo del elemento de extremo 312 se dispone para conectar eléctricamente todos los componentes estructurales de metal dentro del cuerpo de la tubería.

20 Como se describirá en más detalle más abajo, la FIMT 306, 308 se aísla eléctricamente dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería. Se apreciará que también debe aislarse eléctricamente a medida que pasa a través del cuerpo del elemento de extremo 312. La FIMT 306, 308 pasa a través de un agujero 406 dentro del cuerpo del elemento de extremo 312. En un extremo del agujero 406 se posiciona una primera glándula para cable 410 que se forma a partir de un material eléctricamente aislante, y sirve para separar la FIMT 306, 308 del cuerpo del elemento de extremo 312. De manera similar, en el otro extremo del agujero 406 puede proporcionarse una segunda glándula para cable (no se muestra) que se forma a partir de un material eléctricamente aislante. La primera glándula para cable 410 comprende un conector submarino de alta presión aislado eléctricamente.

30 En ciertas modalidades de la invención el ensamble de glándula para cable aislado podría alojar uno o más sensores o cables además de la FIMT 306, 308 para permitir el acceso al espacio anular del cuerpo de tubería flexible.

Para aislar eléctricamente la FIMT 306, 308 dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería, la FIMT puede extenderse entre los alambres de armadura de tensión adyacentes y puede aislarse de los alambres adyacentes mediante una banda de material polimérico, u otra forma de separador eléctrico. El aislamiento de las capas de alambre de armadura adyacentes puede proporcionarse mediante la cinta entre cada capa. Alternativamente, un aparato de envoltura 500 puede proporcionarse como se muestra en la Figura 5.

40 La Figura 5 ilustra un aparato de envoltura 500 para alojar la FIMT 306, 308. El aparato de envoltura 500 es un miembro alargado formado de un polímero extrudido o moldeado por inyección (por ejemplo, HDPE) en este ejemplo. Más específicamente, la envoltura 500 incluye una porción del cuerpo 504, que tiene una superficie exterior 506. La porción del cuerpo 504 es aproximadamente rectangular en sección transversal, con algunas modificaciones particulares descritas a continuación, y tiene una sección transversal sustancialmente constante (es decir un prisma). La porción del cuerpo puede formarse de un polímero o material compuesto

45 El aparato de envoltura 500 tiene dimensiones generales (ancho, longitud y profundidad) sustancialmente similares o iguales a las dimensiones generales de un alambre de armadura de tensión de un cuerpo de tubería flexible. Luego, la envoltura 500 que aloja el tubo o cable puede usarse para reemplazar un alambre de armadura de tensión cuando se forma un cuerpo de tubería flexible. Alternativamente, el aparato de envoltura puede introducirse en un espacio entre los alambres de armadura adyacentes de un cuerpo de tubería flexible.

50 La porción del cuerpo 504 incluye un canal 508 para recibir la FIMT 306, 308 dentro de la porción del cuerpo. El canal 508 se extiende continuamente a lo largo de la porción del cuerpo y define una superficie interna 510 de la porción del cuerpo, aproximadamente semicircular en sección transversal, o algo más circular que semicircular (es decir entre circular y semicircular), para poner en contacto la FIMT y mantener la FIMT en posición. La FIMT y el aparato de envoltura 500 pueden fabricarse juntos como una unidad, o la envoltura puede fabricarse por separado de la FIMT, y la FIMT insertada en el canal 508.

60 El canal 508 no se encierra totalmente por la porción del cuerpo 504. Más bien, en esta modalidad, el canal 508 se expone por una abertura 512 que conecta el canal con la superficie exterior 506. La abertura garantiza que el fluido dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería entre en contacto con el tubo de metal 308. La abertura también se extiende continuamente a lo largo de la porción del cuerpo alargada. La abertura 508 es aproximadamente triangular en forma en sección transversal, con una sección más estrecha cerca del canal, que se extiende para ensancharse cerca de la superficie exterior 506. Esta disposición puede ayudar a permitir que una FIMT para insertarse fácilmente en el canal durante la producción.

65

Al proporcionar el canal 508 y la abertura 512, la porción del cuerpo 504 efectivamente tiene una forma en sección transversal que tiene una porción base 514, el primer y segundo lóbulos 516, 518 que se extienden desde la porción base 514, y una porción central 520 de la porción base entre el primer y segundo lóbulos, donde la porción central se extiende menos que los lóbulos. Se apreciará que los agujeros pueden proporcionarse dentro de los lóbulos 516, 518 para recibir cables o FIMT adicionales para fines de monitoreo o control no relacionados con la presente invención.

El sistema de detección 300 mostrado en la Figura 3 está destinado a monitorear un solo cuerpo de tubería flexible o ensamble de tuberías para detectar un defecto potencial (en cuyo caso el multiplexor 305 puede omitirse). En el caso de que se requiera monitorear múltiples ensambles de tuberías para detectar defectos potenciales, de acuerdo con una modalidad de la invención pueden proporcionarse múltiples conjuntos de aparatos de detección con uno asignado a cada ensamble de tuberías. Sin embargo, el costo de un sensor óptico 304, por ejemplo, una unidad DTS, puede ser relativamente alto, al menos en comparación con el sensor eléctrico 314. Por consiguiente, de acuerdo con una modalidad de la invención adicional ilustrada en la Figura 6 puede ser solo un solo sensor óptico 304 y un solo sensor eléctrico 314, que comprende uno o más medidores de impedancia 326 para monitorear una pluralidad de cuerpos de la tubería flexible 302 (se muestran cuatro en la Figura 6). Una FIMT separada 306, 308 se proporciona dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería de cada cuerpo de la tubería 302 como se describió anteriormente en relación con la Figura 6.

Cada tubo de metal 308 se acopla directamente al sensor eléctrico 314. El sensor eléctrico 314 puede comprender un medidor de impedancia separado 326 dispuesto para monitorear un cambio de impedancia entre cada tubo de metal 308 y un terminal separado, o puede ser un solo medidor de impedancia 326 dispuesto para monitorear cada cuerpo de la tubería a su vez en un sistema de rotación. La impedancia para cada cuerpo de la tubería puede medirse entre el tubo de metal respectivo 308 y un terminal separado único para cada cuerpo de la tubería (por ejemplo, la estructura de metal del cuerpo de la tubería) o un terminal común separado puede proporcionarse para todos los cuerpos de las tuberías. Por otro lado, cada fibra óptica 306 se acopla mediante una unidad multiplexora 305 a un solo sensor óptico 304 que es capaz de monitorear solamente una sola fibra óptica 306 en cualquier momento. El sensor eléctrico 314 se dispone para monitorear continuamente cada uno de los cuerpos de las tuberías para un evento de brecha. En el caso de que se detecte una brecha se envía una señal de control al sensor óptico 304 y el multiplexor 305 que da la instrucción de que la fibra óptica se monitoree para localizar la posición de la brecha, por ejemplo, al detectar una anomalía en el perfil de temperatura a lo largo de la fibra óptica. En ausencia de una condición de brecha el sensor óptico 304 puede usarse para realizar otro monitoreo, por ejemplo, medir la deformación a lo largo de las fibras ópticas que a su vez puede proporcionar en sí mismo una indicación temprana de un posible evento de brecha futuro.

Ventajosamente, el sensor eléctrico 314 no es sensible a la temperatura. Esto significa que si se usa para formar la determinación inicial de si se ha producido o no una brecha, esto reduce el riesgo de detección falsamente positiva de una brecha con relación al uso del sensor óptico 304 cuando se usa en aplicaciones donde el diferencial de temperatura es bajo, por ejemplo, para tuberías de inyección de agua, o impredecible debido a zonas de salpicaduras o de mareas. Adicionalmente, si el sensor óptico 304 es capaz de detectar solamente un cambio en la temperatura y no mide un perfil de temperatura absoluta a lo largo de la longitud de la fibra óptica entonces si no se detecta el evento de brecha inicial por el sensor óptico 304, una vez que se ha estabilizado la temperatura dentro del espacio anular del cuerpo de la tubería, ya no es posible detectar que se ha producido un evento de brecha.

Con referencia ahora a la Figura 7, esta ilustra en la forma de un diagrama de flujo un método para detectar un posible defecto en el cuerpo de la tubería mediante el uso del sistema de la Figura 6. En la etapa S700 el sensor eléctrico 314 monitorea todos los cuerpos de las tuberías para un cambio en la impedancia. El monitoreo puede ser continuo si se proporciona un medidor de impedancia separado 326 para cada cuerpo de la tubería o discontinuo en el caso de que se conecte un solo medidor de impedancia 326 a cada cuerpo de la tubería a su vez. En la etapa S702 el circuito de detección de baja impedancia 328 determina si se ha detectado un cambio en la impedancia para uno de los cuerpos de las tuberías. Si no hay cambio en la impedancia entonces el proceso vuelve a la etapa S700. Si se detecta un cambio en la impedancia entonces el proceso pasa a la etapa S704 en cuyo punto el sensor óptico 304 se conecta a la tubería apropiada mediante el control del multiplexor 305. El sensor óptico 304 se configura para detectar la presencia de un cambio en la temperatura indicativo de un posible defecto en el cuerpo de la tubería, y opcionalmente para determinar su localización. En la etapa S706 el procesador 324 determina si se ha determinado un posible defecto en el cuerpo de la tubería, y si es así se emite una alarma en la etapa S708. De cualquier otra manera el proceso vuelve a la etapa S700.

Con la disposición descrita anteriormente pueden detectarse de manera oportuna, los defectos que incluyen las brechas de una capa exterior resistente al agua de mar de un cuerpo de tubería, lo que permite la inspección adicional, y si es necesario, que tenga lugar el mantenimiento.

Reivindicaciones

1. Un aparato para tuberías que comprende:
 - 5 un cuerpo de tubería flexible (302) que incluye una fibra óptica en el tubo de metal, la FIMT, (306, 308) que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería flexible (302) posicionado dentro de un espacio anular del cuerpo de tubería flexible (302) entre una capa barrera más interior (102) y una capa barrera más exterior (108); y
 - 10 un aparato de detección (300), el aparato de detección (300) que comprende:
 - un sensor óptico (304) acoplado a un primer extremo de la fibra óptica (306), el sensor óptico (304) que se dispone para inyectar impulsos ópticos dentro de la fibra óptica (306) y para detectar la luz dispersa o reflejada; y
 - un sensor eléctrico (314) acoplado a un primer extremo del tubo de metal FIMT (308) y para detectar la variación de una impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal FIMT (308) y un terminal separado;
 - 15 en donde la variación de impedancia es indicativa de una fuga a tierra a lo largo del tubo de metal FIMT (308); y en donde la variación de la luz dispersa o reflejada es indicativa de una variación de temperatura a lo largo de al menos parte de la longitud de la fibra óptica (306).
 2. Un aparato de tubería de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un primer procesador (324) acoplado al sensor óptico (304) y dispuesto para procesar la luz dispersa o reflejada para calcular un perfil de temperatura a lo largo de la longitud de la fibra óptica (306).
 3. Un aparato de tubería de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el primer procesador (324) se dispone para determinar la localización de una variación de temperatura a lo largo de la longitud de la fibra óptica (306).
 - 25 4. Un aparato de tubería de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un elemento de extremo (312) acoplado a un extremo del cuerpo de la tubería (302); en donde el tubo de metal FIMT (308) se aísla eléctricamente de los componentes estructurales del cuerpo de la tubería de metal dentro del espacio anular y el elemento de extremo (312) se construye de manera que el tubo de metal FIMT (308) pueda pasar a través del elemento de extremo (312) mientras que permanece aislado eléctricamente.
 - 30 5. Un aparato de tubería de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el elemento de extremo (312) o una porción de los componentes estructurales del cuerpo de la tubería de metal comprende el terminal separado acoplado al sensor eléctrico (314).
 - 35 6. Un aparato de tubería de acuerdo con la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en donde el tubo de metal FIMT (308) se recibe dentro de un aparato de envoltura (500) que se extiende a lo largo de al menos parte del cuerpo de tubería flexible (302) para aislar eléctricamente el tubo de metal FIMT (308), la envoltura (500) que comprende una porción del cuerpo alargada (504), que comprende una superficie exterior (506) y un canal (508) para recibir el tubo de metal FIMT (308), y que comprende además al menos una abertura (512) que conecta el canal (508) y la superficie exterior (506).
 - 40 7. Un aparato de tubería de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato de tubería comprende dos o más cuerpos de la tubería flexible (302), cada uno que tiene una FIMT óptica (306, 308) que se extiende al menos parcialmente a lo largo de su longitud; en donde el aparato de tubería comprende además un multiplexor óptico (305) y el sensor óptico (304) se acopla a cada fibra óptica (306) a través del multiplexor (305) de manera que el multiplexor óptico (305) se dispone para detectar la luz dispersa o reflejada dentro de una sola fibra óptica (306) a la vez; y
 - 45 en donde el sensor eléctrico (314) se dispone para acoplarse a un primer extremo de cada tubo de metal FIMT (308) para detectar a su vez la variación de una impedancia eléctrica entre un primer extremo del tubo de metal FIMT (308) y un terminal separado.
 - 50 8. Un aparato de tubería de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el aparato de tubería comprende dos o más cuerpos de la tubería flexible (302), cada uno que tiene una FIMT óptica (306, 308) que se extiende al menos parcialmente a lo largo de su longitud; en donde el aparato de tubería comprende además un multiplexor óptico (305) y el sensor óptico (304) se acopla a cada fibra óptica (306) a través del multiplexor (305) de manera que el multiplexor óptico (305) se dispone para detectar la luz dispersa o reflejada dentro de una sola fibra óptica (306) a la vez; y
 - 55 en donde el aparato de tubería comprende además dos o más medidores eléctricos (314) dispuestos para acoplarse a un primer extremo de un tubo de metal FIMT respectivo (308) para detectar la variación de una impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal FIMT respectivo (308) y un terminal separado.
 - 60 9. Un método para detectar defectos dentro de un cuerpo de la tubería flexible (302), el método que comprende:
 - 65 inyectar impulsos ópticos en un primer extremo de una fibra óptica en el tubo de metal, la FIMT, (306, 308) que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de un cuerpo de tubería flexible (302) posicionado dentro

5

de un espacio anular del cuerpo de tubería flexible (302) entre una capa barrera más interior (102) y una capa barrera más exterior (108);
detectar la luz dispersa o reflejada;
detectar la variación de una impedancia eléctrica entre el primer extremo del tubo de metal FIMT (308) y un terminal separado;
en donde la variación de impedancia es indicativa de una fuga a tierra a lo largo del tubo de metal FIMT (308); y
en donde la variación de la luz dispersa o reflejada es indicativa de una variación de temperatura a lo largo de al menos parte de la longitud de la fibra óptica (306).

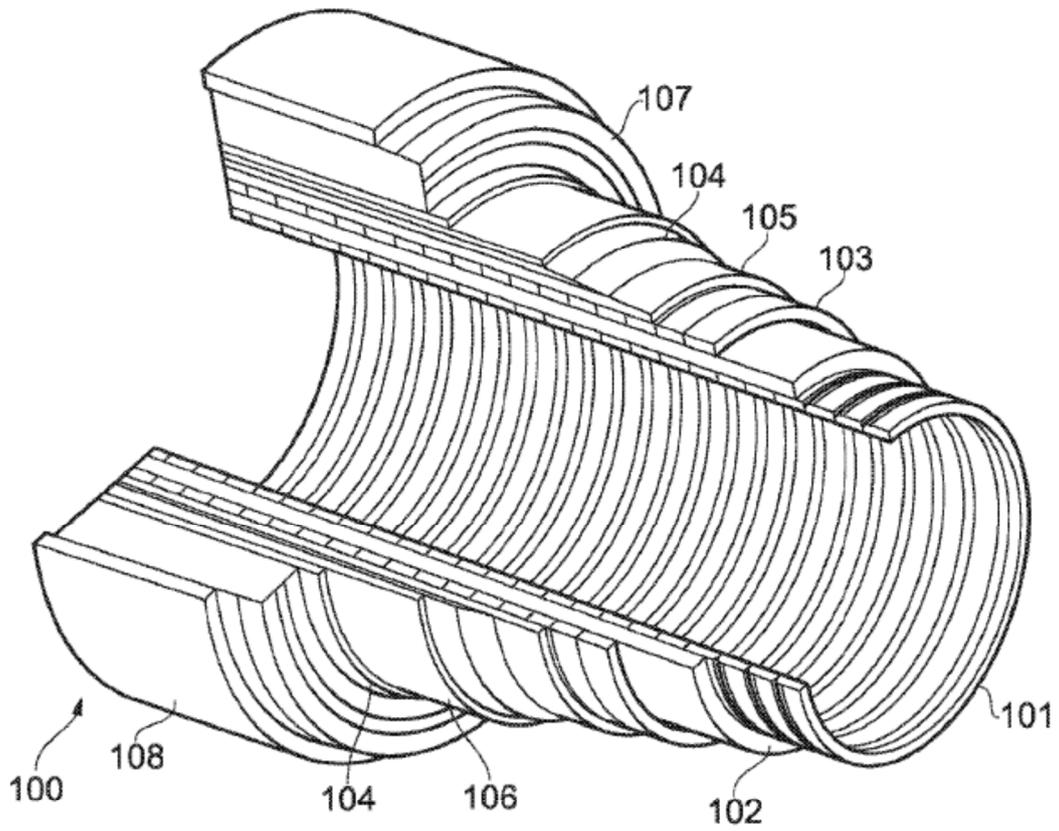


FIG. 1

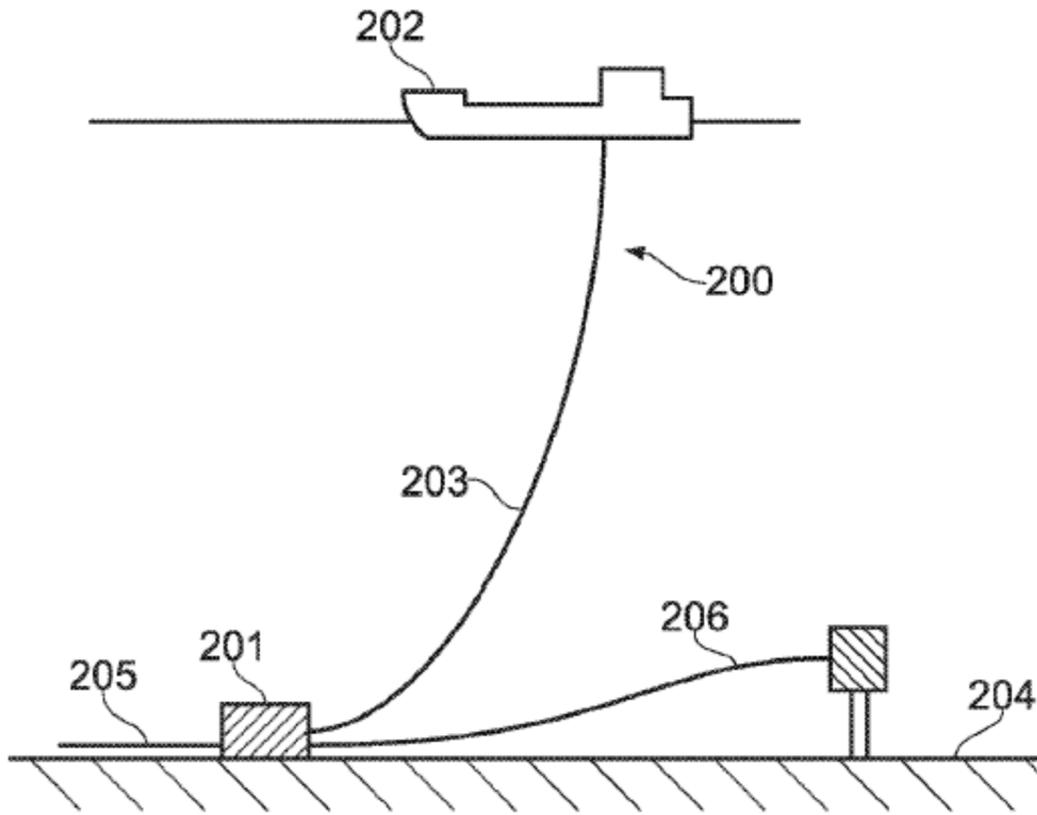


FIG. 2

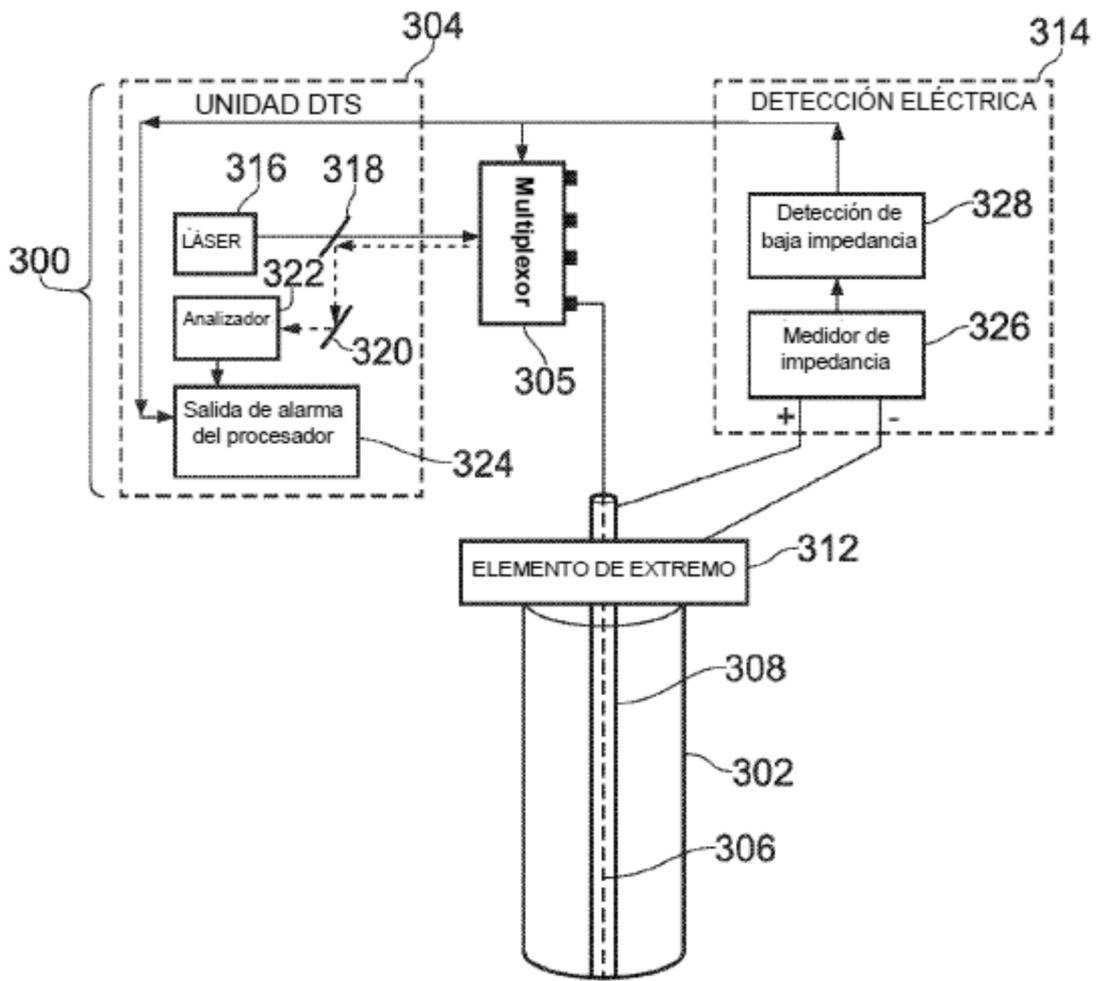


FIG. 3

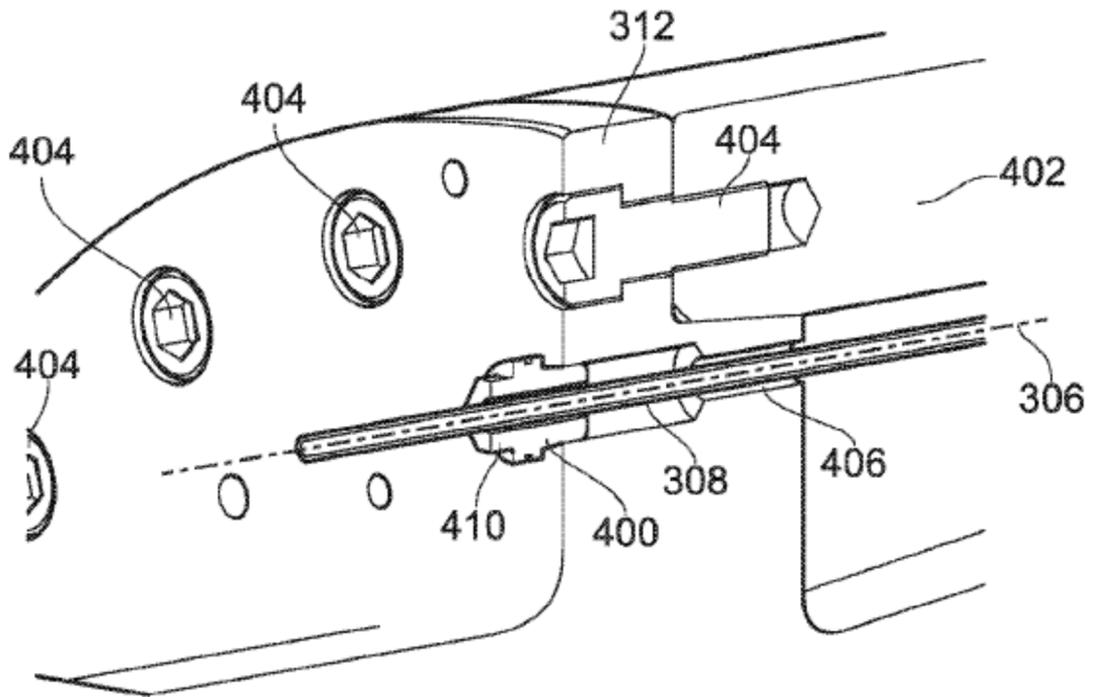


FIG. 4

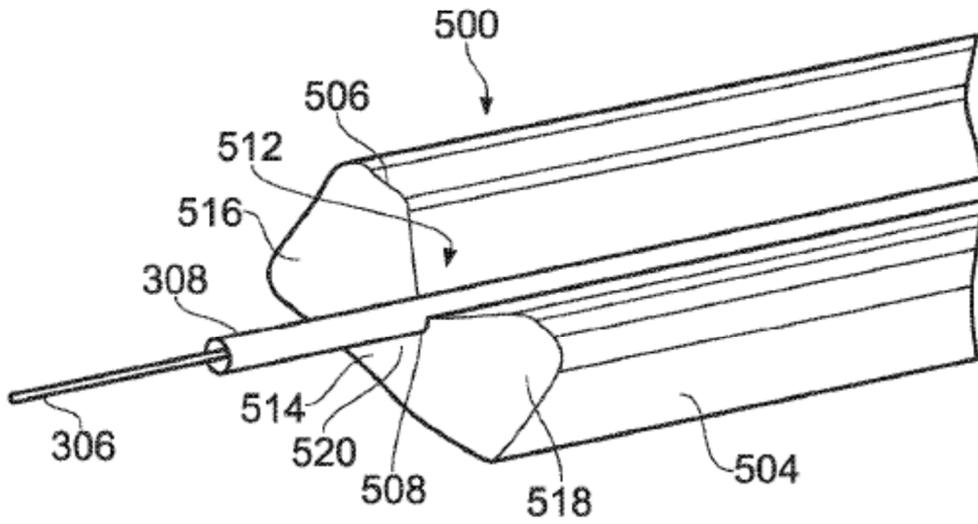


FIG. 5

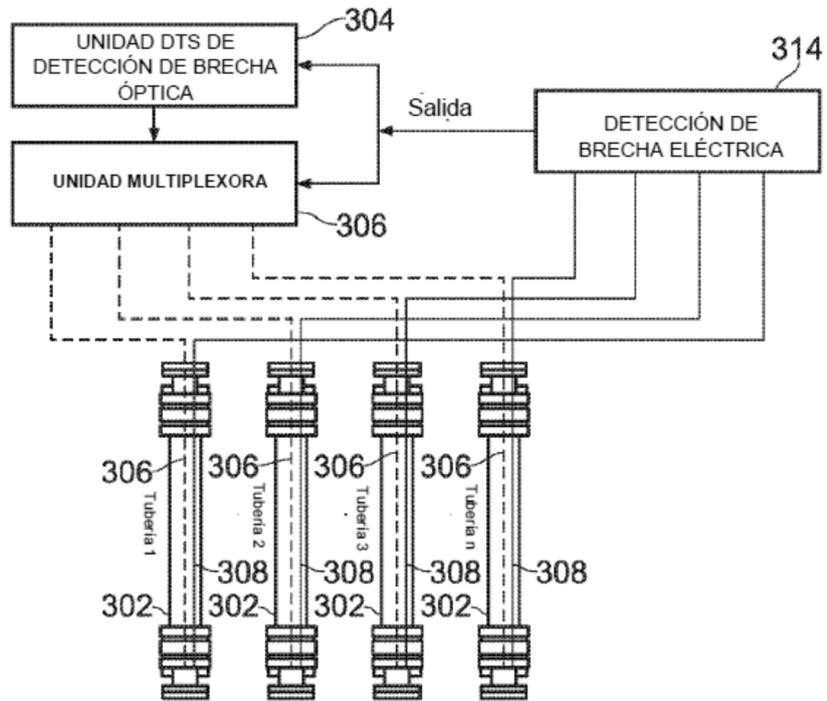


FIG. 6

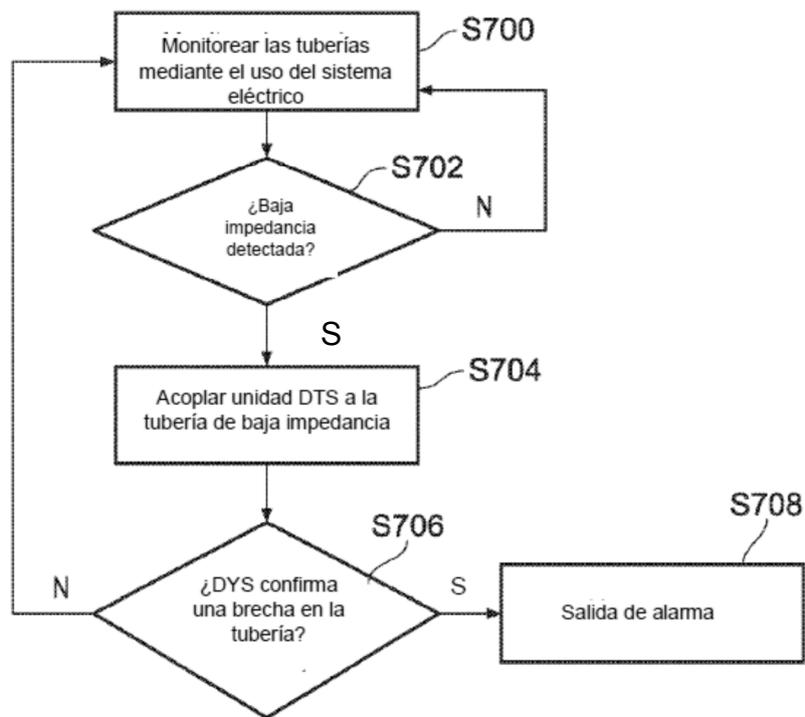


FIG. 7