

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 057**

51 Int. Cl.:

G01M 3/40 (2006.01)

G01N 17/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2012 E 13167142 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.01.2015 EP 2706339**

54 Título: **Aparato y método de detección**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.03.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SHEPHERD, WILLIAM JAMES;
HARLEY, PHILLIP EDWARD y
GRAHAM, GEOFFREY STEPHEN**

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 531 057 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 de detección

5 La presente invención se refiere a un método y aparato de detección. En particular, la presente invención se refiere a un aparato de detección dispuesto para detectar defectos dentro de un cuerpo de tubería flexible, y un método para detectar defectos o cambios de condición de un cuerpo de tubería. Las modalidades particulares se refieren a una tubería flexible que comprende un cuerpo de tubería flexible y el aparato de detección, un método para conformar tal tubería flexible, y un método de funcionamiento de tal tubería flexible. Ciertas modalidades de la presente invención se disponen también para detectar un cambio en la condición de un cuerpo de tubería.

10 Tradicionalmente se utiliza la tubería flexible para transportar los fluidos de producción, tales como petróleo y/o gas y/o agua, desde una localización a la 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 flexible 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 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 deformaciones sin provocar esfuerzos de flexión que afectan la funcionalidad de la tubería durante su vida útil. El cuerpo de tubería se construye generalmente como una estructura combinada que incluye capas metálicas y de polímeros.

20 En muchos diseños de tubería flexible conocidos el cuerpo de tubería incluye una o más capas de armadura de presión. La carga primaria de tales capas se forma a partir de las 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.

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 un fallo en la tubería flexible ya que tales condiciones se experimentan durante períodos de tiempo prolongados.

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 la creciente demanda de petróleo que provoca que la exploración se produzca en cada vez mayores profundidades donde son más extremos los factores ambientales. 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 aumenta también la presión asociada con el entorno en el que debe hacerse funcionar la tubería flexible. 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).

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. En última instancia 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 costes del material apreciablemente, lo que también es una desventaja.

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

5 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. Además, ciertos cambios en la condición de una tubería flexible, que incluyen flexión, compresión y grandes variaciones de temperatura pueden conducir a defectos, si no se controlan. Tales cambios en la condición a menudo solamente han sido detectados previamente a través de la inspección visual. La US-2009/223284-A1 describe un detector de fugas para detectar una fuga en una línea. El detector de fugas incluye un dispositivo de transmisión para la generación de la radiación que se acopla en la línea. Un dispositivo de recepción recibe la radiación que ha surgido de la línea a través de una fuga, como resultado de lo cual la fuga se vuelve detectable.

La WO 2008/083409 describe la detección de defectos en una tubería rodeada al menos parcialmente por agua de mar.

15 Ciertas modalidades de la invención proporcionan la ventaja de que puede detectarse un defecto dentro de un cuerpo de tubería sin que se requiera la inspección visual periódica. Pueden repararse los defectos, o reemplazarse el cuerpo de tubería. Los defectos detectables 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. Ciertas modalidades también pueden proporcionar una indicación de cambios en la condición del cuerpo de tubería, por ejemplo debido a la compresión o flexión aplicada al cuerpo de tubería, o variación en la temperatura a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería.

20 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un aparato de detección dispuesto para detectar defectos dentro de una tubería flexible rodeada al menos parcialmente por agua de mar, el aparato de detección que comprende: un monitor de impedancia dispuesto para medir la impedancia entre un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible y un electrodo separado de agua de mar en contacto con el agua de mar que rodea al menos parte de la tubería flexible en respuesta a una señal eléctrica de prueba aplicada al miembro eléctricamente conductor en las primera y segunda frecuencias; y un procesador dispuesto para detectar la variación de la impedancia medida por una señal eléctrica de prueba a una primera frecuencia, y si se detecta una variación de la impedancia medida, determinar si la variación indica un defecto en la tubería, y si es así determinar la distancia desde el electrodo para agua de mar hasta un defecto en la tubería mediante la comparación de las impedancias medidas en las primera y segunda frecuencias.

La tubería puede tener una capa exterior eléctricamente aislante de manera que antes que se produzca cualquier defecto no hay conducción eléctrica entre el miembro eléctricamente conductor y el agua de mar.

35 El monitor de impedancia puede disponerse para aplicar las señales eléctricas de prueba al miembro eléctricamente conductor en una pluralidad de frecuencias entre 10 Hz y 100 kHz.

40 El monitor de impedancia puede comprender una fuente de corriente dispuesta para suministrar una señal eléctrica de prueba al miembro eléctricamente conductor, y un medidor de tensión dispuesto para determinar la tensión generada en el miembro eléctricamente conductor con relación al electrodo para agua de mar.

45 El medidor de tensión puede ser un demodulador síncrono y el monitor de impedancia puede comprender además un controlador dispuesto para proporcionar una señal de control de frecuencia a la fuente de corriente y el demodulador síncrono para asegurar que las mediciones de tensión se sincronizan con la fuente de corriente.

50 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un método para detectar defectos dentro de una tubería flexible rodeada al menos parcialmente por agua de mar, el método que comprende: acoplar un monitor de impedancia entre un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible y un electrodo para agua de mar en contacto con el agua de mar que rodea al menos parte de la tubería flexible; generar una señal eléctrica de prueba en el monitor de impedancia y aplicar la señal de prueba al miembro eléctricamente conductor en las primera y segunda frecuencias; detectar la variación de la impedancia medida por una señal eléctrica de prueba a una primera frecuencia; y determinar si una variación de la impedancia detectada indica un defecto en la tubería, y si es así determinar una distancia desde el electrodo para agua de mar hasta un defecto en la tubería mediante la comparación de las impedancias medidas en las primera y segunda frecuencias.

60 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención se proporciona un aparato para tuberías que comprende: un cuerpo de tubería que incluye un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería; un elemento de extremo acoplado a al menos un extremo del cuerpo de tubería; un electrodo para agua de mar; y un aparato de detección de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención acoplado a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería, en donde el monitor de impedancia se acopla al miembro eléctricamente conductor y al electrodo para agua de mar.

5 El miembro eléctricamente conductor puede comprender un miembro estructural metálico del cuerpo de tubería. Alternativamente, el miembro eléctricamente conductor puede comprender otro elemento de cinta adecuadamente conductor (por ejemplo un alambre o cable metálico) que se extiende a través del cuerpo de tubería entre una capa de barrera más interior y una capa de barrera más exterior.

10 De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención se proporciona un método para conformar un aparato para tuberías, el método que comprende: proporcionar un cuerpo de tubería que incluye un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería; proporcionar un electrodo para agua de mar; y acoplar un elemento de extremo a al menos un extremo del cuerpo de tubería; en donde un aparato de detección de acuerdo con el primer aspecto de la presente invención se acopla a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería, el método que comprende además acoplar el monitor de impedancia al miembro eléctricamente conductor y al electrodo para agua de mar.

15 Se describe además en la presente un aparato de detección dispuesto para detectar defectos dentro de una tubería flexible, el aparato de detección que comprende: un generador de señal dispuesto para acoplarse a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible y se aíslan eléctricamente entre sí para conformar una línea de transmisión eléctrica, el generador de señal que se dispone para generar una señal eléctrica de prueba y aplicar la señal de prueba entre los primer y segundo miembros eléctricamente conductores, la señal de prueba que comprende una señal eléctrica modulada de código por pulso; un receptor dispuesto para acoplarse a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores y recibir una señal eléctrica de retorno que comprende un reflejo de la señal de prueba; un correlador dispuesto para correlacionar la señal de prueba con la señal de retorno y determinar una señal de correlación; y un procesador dispuesto para detectar la variación de la señal de correlación, y determinar si una variación detectada indica un defecto en la tubería.

25 La tubería puede ser para uso de alta presión en extracción de petróleo y gas.

30 El generador de señal puede disponerse para generar una señal de prueba que comprende una serie aleatoria o seudo aleatoria de pulsos. En particular, el generador de señal puede disponerse para generar una señal de prueba que comprende una señal eléctrica modulada de código por pulso continua o ráfagas de una señal eléctrica modulada de código por pulso.

35 El procesador puede disponerse para detectar una característica en la señal de correlación y para determinar una posición espacial correspondiente a lo largo del cuerpo de tubería flexible a partir del retardo de correlación que corresponde a la característica a partir de la velocidad de propagación predeterminada de la línea de transmisión eléctrica. El procesador puede disponerse además para determinar la magnitud de la característica en la señal de correlación y, para determinar una magnitud correspondiente de una variación local en las características de la línea de transmisión eléctrica. El procesador puede disponerse además para determinar la naturaleza del evento físico asociado con la característica.

40 El procesador puede disponerse para generar una señal de salida que indica que un indicativo de variación de la señal de correlación ha detectado un cambio o defecto de un cuerpo de tubería en la condición del cuerpo de tubería. El procesador puede disponerse además para generar una señal de salida que indica una posición espacial correspondiente a lo largo del cuerpo de tubería flexible para una variación local en la impedancia característica de la línea de transmisión eléctrica.

45 Se describe además en la presente un método para detectar defectos dentro de una tubería flexible, el método que comprende: acoplar un generador de señal a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible y se aíslan eléctricamente entre sí para conformar una línea de transmisión eléctrica; generar en el generador de señal una señal eléctrica de prueba que comprende una señal eléctrica modulada de código por pulso; aplicar la señal de prueba entre los primer y segundo miembros eléctricamente conductores; acoplar un receptor a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores; recibir una señal eléctrica de retorno que comprende un reflejo de la señal de prueba; correlacionar la señal de prueba con la señal de retorno para determinar una señal de correlación; detectar la variación de la señal de correlación; y determinar si una variación detectada indica un defecto en la tubería.

50 Se describe además en la presente un aparato para tuberías que comprende: un cuerpo de tubería que incluye los primer y segundo miembros eléctricamente conductores que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería y se aíslan eléctricamente entre sí para conformar una línea de transmisión eléctrica; un elemento de extremo acoplado a al menos un extremo del cuerpo de tubería; y un aparato de detección como se describió anteriormente acoplado a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería flexible, en donde el generador de señal se acopla a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores.

Al menos un miembro eléctricamente conductor puede comprender un miembro estructural metálico del cuerpo de tubería, aislado eléctricamente dentro de la estructura del cuerpo de tubería. Al menos un miembro eléctricamente conductor puede comprender un elemento de cinta adecuadamente conductor (por ejemplo un alambre o cable metálico) que se extiende a través del cuerpo de tubería entre una capa de barrera más interior y una capa de barrera más exterior. Un miembro puede comprender la estructura de la tubería, por ejemplo una capa o alambre de armadura y el otro miembro puede comprender un elemento estructural el cual se aísla eléctricamente de los elementos estructurales circundantes.

Se describe además en la presente un método para conformar un aparato para tuberías, el método que comprende: proporcionar un cuerpo de tubería que incluye los primer y segundo miembros eléctricamente conductores que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería y se aíslan eléctricamente entre sí para conformar una línea de transmisión eléctrica; y acoplar un elemento de extremo a al menos un extremo del cuerpo de tubería; en donde un aparato de detección como se describió anteriormente se acopla a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería, el método que comprende además acoplar el generador de señal a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores.

Las modalidades 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 tubería flexible;

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

La Figura 3 ilustra un aparato de detección;

La Figura 4 ilustra de manera gráfica la salida de un correlador que forma parte del aparato de detección de la Figura 3;

La Figura 5 ilustra un aparato de detección de acuerdo con una modalidad de la invención;

La Figura 6 es un gráfico que ilustra la atenuación de una señal eléctrica con relación a la frecuencia de la señal para tres distancias diferentes;

La Figura 7 ilustra un monitor de impedancia que forma parte del aparato de detección de la Figura 5;

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método de detección; y

La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra un método de detección de acuerdo con una modalidad de la invención.

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 y uno o más elementos de extremo en cada uno de los cuales se termina un extremo respectivo del cuerpo de tubería. La Fig. 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 Fig. 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 observarse además que los grosores de la capa se muestran sólo con fines ilustrativos.

Como se ilustra en la Fig. 1, un cuerpo de tubería incluye una capa de carcasa más interna opcional 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 de presión interna 102 debido a la descompresión de la tubería, presión externa, y cargas de presión de armadura de tensión y de compresión mecánica. 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).

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 refiere a

menudo por los expertos en la materia como una capa de barrera. En funcionamiento sin tal carcasa (llamada operación de agujero liso) la cubierta de presión interna puede denominarse como un revestimiento.

5 Una capa de armadura de presión opcional 103 es una capa estructural con un ángulo colocado próximo a 90° que aumenta la resistencia de la tubería flexible a las cargas de presión interna y externa y de compresión mecánica. La capa también soporta estructuralmente la cubierta de presión interna, y consiste típicamente de una construcción entrelazada.

10 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 mantener las cargas de tensión y la presión interna. Las capas de armadura de tensión a menudo se enrollan contrarias en pares.

15 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.

20 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.

25 Cada tubería flexible comprende al menos una porción, denominada a veces como un segmento o sección de cuerpo de tubería 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 tubería flexible y un conector. Las diferentes capas de la tubería como se muestran, por ejemplo, en la Fig. 1 se terminan en el elemento de extremo de tal manera que transfiere la carga entre la tubería flexible y el conector.

30 La Fig. 2 ilustra un ensamble elevador 200 adecuado para el transporte de los fluidos de producción tales como petróleo y/o gas y/o agua desde una localización submarina 201 a una instalación flotante 202. Por ejemplo, en la Fig. 2 la localización submarina 201 incluye una línea de flujo submarina 205. La línea de flujo flexible 205 comprende una tubería flexible, en su totalidad o en parte, que se apoya sobre el fondo del mar 204 o se entierra debajo del fondo del mar y se usa en una aplicación estática. La instalación flotante puede proporcionarse por una plataforma y/o boya o, como se ilustra en la Fig. 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 Fig. 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 elevador, como es bien conocido por los expertos en la materia. Las modalidades de la presente invención pueden usarse con cualquier tipo de elevador, tales como un elevador suspendido libremente (elevador catenario, libre), un elevador restringido en cierta medida (boyas, cadenas), elevador totalmente restringido o encerrado en una tubería (tuberías I o J).

40 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 de barrera más interior y la capa exterior resistente al agua de mar. Con referencia a la Fig. 1 la capa exterior resistente al agua de mar puede comprender la cubierta exterior de polímero 108 y la capa de 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 Fig. 1. Tales componentes frecuentemente se forman de acero u otros metales y son susceptibles a la corrosión rápida en presencia de agua de mar. Se describirán ahora los aparatos y métodos de detección que pueden detectar una brecha de una capa exterior resistente de un cuerpo de tubería flexible. 50 Ciertas modalidades también pueden detectar otras variaciones en la condición de un cuerpo de tubería flexible, que incluye compresión, flexión y variación de temperatura.

55 La Fig. 3 ilustra un aparato de detección acoplado a un cuerpo de tubería flexible. El aparato de detección se dispone para detectar un cambio en un cuerpo de tubería flexible que puede indicar o bien un defecto (y particularmente una brecha que permite el agua de mar u otros fluidos en el espacio anular del cuerpo de tubería) o cierta forma de cambio de condición como se describió anteriormente. El aparato de detección 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.

60 La Fig. 3 muestra una tubería flexible 300, que como se describió anteriormente puede formar un elevador. La tubería se rodea al menos parcialmente por agua de mar, se ilustra esquemáticamente por la tubería que se extiende debajo del nivel de la superficie 302 del mar. Como se describió anteriormente, un cuerpo de tubería flexible se construye a partir de múltiples capas de barrera de polímero, que incluyen una capa exterior resistente al agua de mar 304 y al menos las

primera y segunda capas de elementos estructurales metálicos coaxiales indicadas 306, 308. Los elementos estructurales metálicos, por ejemplo las capas de armadura de tensión 105, 106 de la Fig. 1, se diseñan para satisfacer las propiedades puramente mecánicas de la estructura del cuerpo de tubería. Sin embargo, se proporciona al menos dos de los componentes metálicos, por ejemplo capas de alambre de armadura de tensión individuales o capas de alambre de armadura separadas como se muestran en la Fig. 3, se aíslan eléctricamente entre sí por un medio aislante, por ejemplo las capas de cinta 104 de la Fig. 1, entonces puede considerarse que los componentes comprenden los primer y segundo miembros eléctricamente conductores 306, 308 que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud de un cuerpo de tubería flexible. Se apreciará por la persona apropiadamente experta que los miembros eléctricamente conductores 306, 308 forman una línea de transmisión eléctrica capaz de transmitir señales eléctricas. Particularmente, si los componentes metálicos seleccionados comprenden las primera y segunda capas dentro de la estructura del cuerpo de tubería entonces los miembros eléctricamente conductores 306, 308 forman una línea de transmisión eléctrica coaxial.

Los expertos apreciarán que un par de miembros eléctricamente conductores 306, 308 que se aíslan entre si y que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible transmitirán señales eléctricas de alta frecuencia que se aplican en un primer extremo de la tubería, como es el caso para cualquier línea de transmisión eléctrica. Las señales eléctricas se suministran por un generador de señal eléctricamente acoplado a ambos miembros de manera que se aplica la señal eléctrica entre los miembros 306, 308. A altas frecuencias las líneas de transmisión poseen propiedades resonantes asociadas con su longitud, diámetro, construcción, y las propiedades dieléctricas de un aislante entre los miembros conductores, que pueden caracterizarse por la impedancia y la velocidad de propagación de la señal (usualmente expresada como una fracción de la velocidad de la luz, c).

Una característica notable de las líneas de transmisión eléctricas es que a menos que el extremo se termine correctamente con una adaptación de impedancia, la energía eléctrica se refleja de nuevo a lo largo de la línea hacia la fuente. Para una tubería flexible, típicamente los miembros eléctricamente conductores 306, 308 no se acoplan eléctricamente en cada extremo de la tubería flexible. Incluso si se proporciona acoplamiento eléctrico en un extremo submarino de la tubería, es poco probable que el acoplamiento eléctrico tenga una impedancia adaptada a la impedancia característica de la línea de transmisión. La energía eléctrica reflejada puede recibirse en un receptor. Los expertos apreciarán que el generador de señal y el receptor pueden combinarse, en la forma de un transceptor. La energía eléctrica también se refleja por las variaciones en la impedancia característica a lo largo de la longitud de la línea. Específicamente, las reflexiones parciales de la señal eléctrica de prueba suministrada se generan cada vez que hay un cambio en la impedancia característica a lo largo de la longitud de una línea de transmisión. Para el ejemplo de un cuerpo de tubería flexible, si el agua de mar entra al espacio anular del cuerpo de tubería debido a una brecha parcialmente a lo largo del cuerpo de tubería el agua de mar afectará directamente a la impedancia de la línea de transmisión en ese punto ya que el agua de mar comienza a saturar el vacío o el material dieléctrico entre los miembros eléctricamente conductores.

Pueden analizarse las reflexiones obtenidas a partir de una señal eléctrica de prueba introducida en una línea de transmisión para determinar los fallos en la línea de transmisión. Típicamente se recibe una fuerte reflexión después de un retardo de propagación conocido que corresponde a la señal eléctrica de prueba que se propaga al extremo opuesto de la línea de transmisión y que se refleja de nuevo a partir de la impedancia no adaptada en el extremo opuesto. Pueden analizarse otras reflexiones que retornan de las variaciones de impedancia a lo largo de la línea de transmisión desde por ejemplo, una falla estructural. Dado el conocimiento de la velocidad de propagación eléctrica de una línea de transmisión, el tiempo para que la reflexión retorne puede usarse para determinar la localización de la variación de impedancia. Típicamente la señal eléctrica de prueba introducida es muy estrecha, se introduce el pulso de energía alto en un extremo de la línea de transmisión. Puede observarse que el pulso reflejado retorna a lo largo de la línea de transmisión. El tiempo de retorno del pulso indica la distancia de la línea de transmisión donde caen las fallas (en base a la velocidad de propagación y por lo tanto del tiempo para que la señal viaje hasta la variación de impedancia y retorne). Puede usarse la amplitud de pulso para dar una indicación de la gravedad de la falla, y la polaridad de la reflexión determina si la falla tiende a un circuito abierto, o un corto circuito. Esta técnica se denomina convencionalmente como reflectometría de dominio temporal (TDR). Se apreciará que en el caso de un cuerpo de tubería, el agua de mar que entra provocará que la línea de transmisión tienda hacia un corto circuito.

El generador de señal y el receptor se combinan para conformar un transceptor 310 que se acopla por los alambres 312, 314 a los primer y segundo miembros eléctricamente conductores 306, 308 dentro del cuerpo de tubería 300. El transceptor 310 se acopla a un correlador 316 dispuesto para correlacionar una señal eléctrica de prueba transmitida y una señal eléctrica de retorno reflejada recibida. El correlador 316 proporciona una señal de correlación que se suministra a un procesador 318 para su análisis. El transceptor 310, el correlador 316 y el procesador 318 pueden denominarse como un reflectómetro de dominio temporal (TDR) 320. Se apreciará que alternativamente el generador de señal (o un transmisor) y el receptor pueden separarse.

La señal eléctrica de prueba aplicada entre los miembros conductores 306, 308 por el transceptor 310 se dispone para que varíe con el tiempo. Una señal eléctrica de prueba de variación de tiempo permite al correlador 316 generar una

5 señal de correlación que indica el grado de correlación con la señal eléctrica de retorno a un intervalo de retardos de correlación que corresponde directamente a la distancia a lo largo del cuerpo de tubería (estrictamente, los retardos de correlación corresponden a dos veces la distancia a lo largo del cuerpo de tubería para una falla que da lugar a una reflexión de la señal). Pueden determinarse en consecuencia múltiples reflexiones de la señal eléctrica de prueba, tanto desde el extremo del cuerpo de tubería como de las variaciones de impedancia a lo largo del cuerpo de tubería. La señal de prueba puede ser una señal de pulso de alta frecuencia. Específicamente, la señal de prueba comprende una señal modulada de código de pulsos. Particularmente la señal eléctrica de prueba puede comprender una señal codificada pseudo aleatoria continua. Sin embargo, se apreciará que la señal de prueba puede ser discontinua, por ejemplo una ráfaga pseudo aleatoria o señal chirp en la que se transmite un código pseudo aleatorio durante un corto período de tiempo de acuerdo con una frecuencia de repetición de pulsos y un ciclo de trabajo. Además la señal de prueba puede no ser pseudo aleatoria: podría ser verdaderamente aleatoria o podría ser un patrón de señal predeterminado (que puede repetirse). Tal señal de prueba puede considerarse que es una señal de prueba de espectro ensanchado. En el caso de repetición de la señal de prueba, es deseable que el intervalo de repetición sea más largo que el retardo de propagación máximo para que la señal de prueba se refleje desde el extremo opuesto del cuerpo de tubería. La señal eléctrica de prueba puede generarse por el transceptor 310 bajo el control del procesador 318.

20 Debe entenderse que las variaciones de impedancia dentro de una línea de transmisión formada a partir de los miembros eléctricamente conductores que se extienden a lo largo de un cuerpo de tubería flexible pueden deberse a una brecha de la capa exterior resistente al agua de mar del cuerpo de tubería. El agua de mar que entra en el cuerpo de tubería es responsable de acoplar eléctricamente los miembros conductores en el punto de la brecha, lo que provoca un cambio en la impedancia característica de la línea de transmisión en el punto de la brecha, lo que resulta en una reflexión de la señal que puede identificarse en la señal de correlación como un pico u otra característica discernible en la señal de correlación. El pico puede ser adicional a una reflexión esperada desde el extremo opuesto de la línea de transmisión. Se apreciará que tal cambio en la impedancia característica también puede deberse a una brecha de una capa de barrera que provoca que los fluidos de producción entren el espacio anular del cuerpo de tubería. El procesador 318 se dispone para determinar la posición de una variación de la impedancia detectada del retardo de correlación del pico detectado, y la magnitud de la impedancia de cambio (indicativo de la gravedad de la brecha) a partir del tamaño del pico. Como se señaló anteriormente, otros factores pueden dar lugar a un cambio en la impedancia, por ejemplo daños físicos a los miembros eléctricamente conductores debido a la compresión o flexión del cuerpo de tubería, o variación de temperatura significativa. Tales factores pueden aumentar la susceptibilidad de un cuerpo de tubería a los daños, que incluye una brecha, y de esta manera es deseable que sea capaz de detectar tal cambio en la condición.

35 Se apreciará que debido a una señal de variación de tiempo, tal como una señal de prueba de código pseudo aleatorio, puede correlacionarse y procesarse de esta manera, pueden detectarse múltiples reflexiones (y por lo tanto múltiples cambios en la condición o defectos a lo largo del cuerpo de tubería). Además puede determinarse la localización de tal defecto de cambio en la condición lo que permite una inspección visual y, si es necesario, que tenga lugar el mantenimiento. De manera favorable, el método y aparato de detección permite que la condición de un cuerpo de tubería sea monitoreada continuamente o bien mediante la aplicación de una señal eléctrica de prueba continua a los miembros conductores, o mediante la aplicación de una señal de prueba de pulsos discontinua a intervalos regulares. Además el uso de una señal de variación de tiempo es ventajosa particularmente comparada con el uso de un pulso de alta energía, como se usa en la TDR convencional para cables coaxiales, debido a que la energía pico introducida en el cuerpo de tubería es inferior considerablemente, que es intrínsecamente más seguro en un entorno petroquímico.

45 Se describirá ahora una señal de prueba. La señal de prueba aplicada a la línea de transmisión se comprende de una serie de secuencias binarias aparentemente aleatorias; un código pseudo aleatorio (PRC). Un PRC es una secuencia de valores binarios que se seleccionan de manera que su secuencia binaria no se repite a lo largo del período del código, y la longitud del código se selecciona para que sea lo suficientemente larga para que durante un período de interés no haya repetición. Aunque cada secuencia de bits es aparentemente aleatoria, se genera el PRC por un algoritmo computacional mediante el uso de la información determinística precargada. Por lo tanto, aunque dentro de la secuencia binaria la señal parece ser aleatoria, la secuencia en sí misma puede repetirse a intervalos regulares. Comúnmente los PRC se generan mediante el uso de un registro de desplazamiento con retroalimentación adecuada. Adecuadamente, el PRC puede generarse en el código incrustado dentro de una matriz de puertas programables de campo (FPGA). La señal recibida se correlaciona contra la señal transmitida. Como las secuencias se repiten periódicamente, los resultados de las autocorrelaciones secuenciales pueden compararse por un microprocesador para examinar los cambios a la línea de transmisión. Puede usarse una secuencia binaria pseudo aleatoria de 1024 bits con una frecuencia máxima o bien de 10MHz o 20MHz. Se agrega la secuencia binaria durante un mínimo de 216 repeticiones. Se presenta la señal resultante a la estructura de tuberías en típicamente $6 V_{p-p}$ en una estructura de línea de transmisión que tiene una impedancia característica típica de 36 Ω .

60 Se entenderá por los expertos que la selección cuidadosa de las propiedades de la señal eléctrica de prueba pseudo aleatoria puede afectar la sensibilidad del aparato de detección, mientras que también se afectan los requisitos de potencia del aparato. Se apreciará que la resolución requerida para determinar la posición de un defecto en un cuerpo de tubería (que puede ser más de 1 km de longitud) podría ser relativamente baja. Por ejemplo, puede ser suficiente

identificar la posición de un defecto dentro de 5 m que permite la inspección visual o manual para identificar la localización exacta. Una frecuencia de pulso de 50 MHz a 100 MHz proporcionará una resolución de detección del orden de 50 cm (dependiendo de la impedancia característica de la línea de transmisión antes de que se produzca un fallo y la velocidad de propagación).

5 La salida de señal de correlación del correlador 316 se analiza en el procesador 318, que alternativamente se denomina como un analizador de señal. Un ejemplo de una salida de señal de correlación del correlador 316 se muestra en la Fig. 4 que ilustra la señal de correlación como un grado de trazado de matriz bidimensional de correlación contra las muestras de correlación. Las muestras de correlación son representativas del tiempo de retardo entre la señal eléctrica de prueba transmitida y la señal eléctrica de retorno recibida. Dado el conocimiento de la velocidad de propagación, las muestras de correlación son también representativas de la distancia a lo largo de la línea de transmisión a la variación de impedancia que da lugar a un reflejo (además se tiene en cuenta que la señal eléctrica debe atravesar la distancia hasta la doble anomalía). La distancia a lo largo de la línea de transmisión generalmente es igual a la distancia a lo largo del cuerpo de tubería, aunque esto puede variar por ejemplo si uno o ambos miembros conductores comprenden solo alambre de armadura de tensión cuyas espirales están alrededor del cuerpo de tubería. La Figura 4 traza el factor de correlación (la magnitud de correlación) contra las muestras de correladores que se relaciona con la distancia en metros. Puede verse que hay un pico de correlación significativo que corresponde a una anomalía que aparece en alrededor de 280 m. El procesador 318 puede disponerse además para determinar si un pico de correlación supera un umbral predeterminado antes de proporcionar una señal de salida que indica que se ha detectado un defecto (y opcionalmente que da lugar a la localización y magnitud del defecto).

En una alternativa, en lugar de usar los componentes estructurales de un cuerpo de tubería para conformar una línea de transmisión, uno o ambos miembros eléctricamente conductores pueden sustituirse por un elemento de cinta eléctricamente conductor separado. El elemento de cinta puede tomar la forma de un cable de sensor, un alambre conductor, o cualquier otra estructura eléctricamente conductora alargada adecuadamente. De manera favorable, esto permite que el aparato de detección se use en tuberías flexibles sin capas metálicas o componentes estructurales. Adicionalmente, el elemento de cinta puede usarse en cuerpos de tuberías donde no es posible aislar eléctricamente dos componentes estructurales eléctricamente conductores. El rendimiento de un elemento de cinta eléctricamente conductor separado puede optimizarse para fines específicos del sistema de detección en aislamiento de la especificación mecánica de los componentes estructurales de un cuerpo de tubería. El elemento o elementos de cinta pueden colocarse dentro de una capa de tensión de un cuerpo de tubería, u otra capa adecuada, con la cinta aislada eléctricamente de los alambres de estructuras metálicas circundantes. El aislamiento del elemento de cinta preferentemente es permeable al agua u otros fluidos. Esto puede lograrse mediante el uso de tela o aislamiento similar permeable o mediante la colocación de secciones de polímero de aislamiento a cada lado del elemento de cinta de manera que las cintas de capas intermedias separan el elemento de cinta de las capas subyacentes y de recubrimiento y las secciones de polímero de los alambres estructurales adyacentes. El aislamiento se configura y posiciona preferentemente de manera que en el caso de una brecha de una capa exterior resistente al agua de mar el aislamiento que rodea el elemento de cinta se satura por agua de mar. Para un cuerpo de tubería no metálica no se requiere aislamiento siempre que los elementos de cinta se separen dentro del espacio anular de la tubería. De manera favorable, el uso de uno o dos elementos de cinta separados puede reducir las modificaciones necesarias a los elementos de extremo de la tubería para acoplar la tubería al sistema de detección.

El estándar más bajo de la industria preferida para las líneas de transmisión es de 50 ohms, y el aparato de detección puede diseñarse aproximadamente de manera que permite que el uso de conducción estándar en cables y conectores para acoplar los elementos eléctricamente conductores que se extienden a lo largo de la tubería para conformar la línea de transmisión. Sin embargo, una estructura de tubería típicamente tiene una impedancia característica de aproximadamente 35 Ω o menos. Por lo tanto para adaptar el aparato de detección a la tubería se requiere un transformador de adaptación de impedancia en el elemento de extremo de la tubería. De manera favorable, el uso de elementos de cinta separados, tales como cables o alambres de sensor, que se extienden a lo largo de la tubería para conformar la línea de transmisión, en lugar del uso de elementos estructurales de la tubería, permite un mayor control sobre la impedancia característica de la línea de transmisión. La selección cuidadosa de elementos de cinta puede permitir que la línea de transmisión de la tubería tenga una impedancia característica que es compatible con el aparato de detección, por ejemplo 50 Ω , lo que elimina la necesidad de un transformador.

55 Como una alternativa adicional, en lugar de un elemento de cinta eléctricamente conductor separado, uno o más alambres o capas de armadura de tensión pueden ser galvanizados, por ejemplo con un recubrimiento de cobre, para reducir la resistencia del alambre de armadura. Las propiedades de la línea de transmisión de los alambres de armadura de tensión pueden por lo tanto controlarse estrechamente sin afectar las propiedades estructurales de los alambres de armadura. Además el aislamiento dentro de la línea de transmisión puede formarse de un material que es permeable a los fluidos, pero se dispone para bloquear selectivamente ciertos fluidos, por ejemplo H₂S que pueden ser deseables.

Se apreciará que en el caso de una brecha de una capa exterior resistente al agua de mar el espacio anular del cuerpo de tubería se llenará con agua. La consecuencia de esto es que, mientras que la impedancia de toda la línea de

transmisión se afectará, ya no va a ser una variación fuerte de la impedancia en el punto de la brecha inicial. En consecuencia, ciertas modalidades de la presente invención pueden monitorear preferentemente de manera continua un cuerpo de tubería para una indicación de un posible defecto y registrar reflexiones de la señal observada, que incluye registrar la magnitud de un reflejo y su localización, de manera que esta indicación de un defecto no se pierde cuando las porciones circundantes de la línea de transmisión asumen la misma, impedancia reducida.

Con referencia ahora al diagrama de flujo de la Fig. 8, se describirá ahora un método de detección de acuerdo con el aparato de detección de la Fig. 3. En la etapa 600 el aparato de detección ilustrado en la Fig. 3 se acopla a un miembro eléctricamente conductor dentro del cuerpo de tubería y a un electrodo para agua de mar. En la etapa 602 una señal eléctrica de prueba como se describió anteriormente se acopla entre los miembros eléctricamente conductores. En la etapa 604 se recibe una señal eléctrica de retorno. En la etapa 606 la señal de prueba y la señal de retorno se correlacionan para proporcionar una señal de correlación. En la 608 se procesa la señal de correlación para detectar las variaciones que pueden ser indicativas de un defecto del cuerpo de tubería u otro cambio de condición. En la 610 se determina la magnitud de una variación, particularmente la magnitud de un pico que aparece nuevamente en la señal de correlación, para proporcionar una indicación de la gravedad de un defecto o un cambio en la condición del cuerpo de tubería. En la 612 puede determinarse la localización de una anomalía detectada. Se apreciará que en la práctica el método de la Fig. 8 no es un proceso lineal y la señal de prueba puede aplicarse de manera continua o sustancialmente de manera continua a los miembros eléctricamente conductores. En consecuencia una señal de retorno puede recibirse de manera continua y la señal de correlación puede generarse y procesarse de manera continua.

La Fig. 5 ilustra un aparato de detección de acuerdo con una modalidad de la presente invención. Como para el aparato de detección de la Fig. 3, el aparato de detección se dispone para detectar un cambio en un cuerpo de tubería flexible que puede ser indicativo en caso de un defecto (y particularmente una brecha que permite agua de mar u otros fluidos en el espacio anular del cuerpo de tubería). El aparato de detección 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.

Ciertos aspectos de la presente invención son similares o idénticos a los aspectos del aparato de detección de la Fig. 3 y por lo que su descripción no se repetirá. Particularmente, la construcción de un cuerpo de tubería flexible que puede acoplarse al aparato de detección puede ser la misma. Como se describirá a continuación, el aparato de detección ilustrado en la Fig. 5 necesitará acoplarse solamente a un solo miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de un cuerpo de tubería. El miembro eléctricamente conductor puede comprender un componente estructural metálico tales como un solo alambre de armadura de tensión o capas de alambre de armadura de tensión, o un elemento de cinta separado como se describió anteriormente.

La capa exterior resistente al agua de mar de un cuerpo de tubería flexible puede fabricarse a partir de un material de polímero con propiedades de aislamiento eléctrico intrínsecas conocidas. El agua de mar tiene propiedades de conducción eléctrica conocidas, aunque esto puede variar de localización a localización, por ejemplo debido una variación en la salinidad del agua de mar, y por lo que la modalidad de la invención puede requerir calibración antes de su uso para adaptarla a las condiciones locales. Una brecha física en la forma de una abertura en la capa exterior resistente al agua de mar de una tubería flexible permite una trayectoria conductora entre el agua de mar y la estructura interna de acero del cuerpo de tubería. De acuerdo con la modalidad de la presente invención una medición de la impedancia eléctrica hecha entre el agua de mar que rodea una tubería flexible y la estructura metálica interna del cuerpo de tubería proporciona un medio para indicar la presencia de una brecha. Específicamente, en el caso en que la impedancia medida cae, puede inferirse que se ha producido una brecha y agua de mar está en contacto con la estructura metálica interna del cuerpo de tubería.

Con referencia a la Fig. 5, esta muestra un cuerpo de tubería flexible 400, que como se describió anteriormente puede comprender un elevador. El cuerpo de tubería se rodea al menos parcialmente por agua de mar, se ilustra esquemáticamente por el cuerpo de tubería que se extiende debajo del nivel de la superficie 402 del mar. Como se describió anteriormente, tal cuerpo de tubería flexible se construye a partir de múltiples capas de barrera de polímero, que incluye una capa exterior resistente al agua de mar 404 y al menos una capa de elementos estructurales metálicos 406, por ejemplo las capas de armadura de tensión 105, 106 de la Fig. 1. Un electrodo para agua de mar 408 está en contacto con el agua de mar en proximidad con el cuerpo de tubería 400. Un monitor de impedancia 410 se acopla al electrodo para agua de mar 408 y o bien a un componente estructural metálico 406 del cuerpo de tubería 400 o a un elemento de cinta separado dentro del cuerpo de tubería. El monitor de impedancia 410 proporciona una medición de la impedancia entre el electrodo para agua de mar 408 y el cuerpo de tubería 400. La medición de la impedancia se suministra a un procesador 412 que se dispone para detectar una caída de la impedancia, por ejemplo de aproximadamente 1 M Ω (aproximadamente igual a una impedancia de una capa de barrera de polímero) a aproximadamente 5 Ω (la impedancia aproximada del agua de mar). En una modalidad el monitor de impedancia 412 se dispone para medir la impedancia en el intervalo de 0-10 k Ω . Se registra una impedancia por encima de 10 k Ω como el máximo 10 k Ω debido a que el sistema de medición se satura en ese valor. De manera favorable, este registra con precisión la ausencia de una capa de barrera de polímero mientras que permite una mayor resolución de la medición en

valores de impedancia más bajos. Si hay alguna trayectoria de conductividad de agua de mar entre la estructura del cuerpo de tubería y el electrodo para agua de mar la impedancia medida está por debajo de 10 kΩ. El procesador 412 se dispone además para determinar si esta caída de la impedancia es indicativa de una brecha de la capa exterior resistente al agua de mar del cuerpo de tubería, por ejemplo mediante la determinación de si la magnitud de la caída de la impedancia supera un umbral predeterminado. El procesador 412 se dispone para proporcionar una señal de salida adecuada como se describió anteriormente en conexión con el procesador 318 de la Fig. 3.

A diferencia de la conducción de flujo predominantemente de electrones en los metales, la conducción eléctrica en agua de mar es dependiente de la movilidad de iones, y esto conduce a una variación significativa en la conductividad observada con la frecuencia de la excitación de medición aplicada. Esto se muestra esquemáticamente en la Fig. 6 que muestra la atenuación relativa de una señal de corriente alterna aplicada a diversas frecuencias bajas y entre electrodos separados a 10m, 100m, y 1Km. La modalidad de la presente invención se beneficia de los datos de atenuación de la Fig. 6 mediante la aplicación de excitación con agilidad de frecuencia del monitor de impedancia 410, se compara los resultados obtenidos en varias frecuencias, y a partir de esa información se determina una localización aproximada de la brecha. En ciertas modalidades la frecuencia de excitación del monitor de impedancia está en el intervalo de 10 Hz a 1 kHz. En otras modalidades la frecuencia de excitación máxima del monitor de impedancia puede ser 100 kHz. Se apreciará por los expertos que el sistema de detección de la Fig. 5 también podría funcionar mediante el uso de las señales de prueba de DC para determinar si hay un defecto en la tubería a través de la conducción de agua de mar detectada al electrodo para agua de mar. Sin embargo, debe entenderse que esto no permitiría la detección de localización del defecto. Además no habría complicaciones adicionales que deben superarse debido a las compensaciones electroquímicas, la polarización y la interferencia con el sistema de protección catódica de tuberías (descrito a continuación).

El monitor de impedancia se muestra en mayor detalle en la Fig. 7. Un primer electrodo 500 se acopla a tierra y un segundo electrodo 502 se acopla entre una fuente de corriente Howland 504 y un demodulador síncrono 506. Se apreciará que el primer electrodo puede ser el electrodo para agua de mar 408 y el segundo electrodo puede estar dentro del cuerpo de tubería. Específicamente, el electrodo para agua de mar puede ser la parte metálica (es decir "tierra") de la embarcación o plataforma de apoyo. El monitor de impedancia puede funcionar o bien en un modo de voltaje o de fuente de corriente. En la Fig. 7 se usa una fuente de corriente Howland 504 ya que proporciona mayor linealidad de respuesta. La fuente de corriente Howland 504 se muestra conectada al segundo electrodo. La fuente de corriente Howland 504 suministra una corriente al cuerpo de tubería en respuesta a una señal de entrada suministrada por un filtro síncrono 508. La corriente puede ser corriente AC. En una modalidad, preferentemente la señal puede ser una corriente AC de forma de onda sinusoidal. Podrían usarse otras formas de onda, por ejemplo una onda cuadrada, sin embargo se prefiere la sinusoidal debido a que entonces no hay armónicos presentes, lo que podría interferir con el funcionamiento del sistema de medición de intervalo dependiente de la frecuencia. Es decir, la señal de prueba eléctrica aplicada puede ser AC. En otras modalidades puede usarse una fuente de voltaje. El filtro síncrono 508 proporciona una señal bajo el control de una señal de control de pulsos desde el controlador 510, que adicionalmente suministra la misma señal de control al demodulador síncrono 506. El demodulador síncrono 506 se dispone para analizar el voltaje generado a través del límite aislante del cuerpo de tubería y el agua de mar en cada frecuencia. El demodulador síncrono 506 suministra una señal de salida al controlador 510, que es indicativo del voltaje del segundo electrodo 502 con relación a tierra. En el caso de una brecha de la barrera de polímero, el voltaje del segundo electrodo 502 es dependiente de la corriente aplicada y la impedancia de agua de mar entre los electrodos 500, 502 indicados por el símbolo de la resistencia 512. El controlador 510 se dispone para generar una señal de salida indicativa de la impedancia entre los electrodos 500, 502 mediante la comparación de la corriente suministrada y el voltaje medido. La señal de salida se proporciona al procesador 412, que se dispone para determinar si se detecta una brecha.

En el caso de que se detecte una brecha (esquemáticamente se muestra en 414 en la Fig. 5) a través de un cambio de etapa en la impedancia el procesador 412 se dispone para instruir al monitor de impedancia para realizar las mediciones de impedancia a un intervalo de las frecuencias de excitación (por ejemplo 10 Hz, 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz y 1 kHz), que por referencia cruzada a la gráfica de la Fig. 6 (o por referencia a una tabla de consulta dentro del procesador 412) permite que se determine una estimación de la posición de la brecha. La exactitud de este cálculo depende de un número de factores que incluyen el tamaño de la brecha, la salinidad y temperatura del agua de mar, la posición del cuerpo de tubería (por ejemplo vertical a horizontal) y la conductividad eléctrica de la estructura interior de acero.

Con referencia ahora al diagrama de flujo de la Fig. 9, se describirá ahora un método de detección de acuerdo con la presente invención. En la etapa 700 el aparato de detección ilustrado en la Fig. 3 se acopla a un miembro eléctricamente conductor dentro del cuerpo de tubería y a un electrodo para agua de mar. En la etapa 702 se mide la impedancia entre los electrodos en una primera frecuencia. En la etapa 704 se toma una determinación de si se ha detectado una brecha por la magnitud de cualquier caída detectada en la impedancia. En la etapa 706 si se detecta una brecha se mide la impedancia en un intervalo de frecuencias. En la etapa 708 los datos de frecuencia y de impedancia se usan para determinar la localización de una brecha. Si por el contrario en la etapa 704 se determina que no se ha detectado una brecha, el proceso vuelve a la etapa 702. De manera favorable, las modalidades de la presente invención descritas anteriormente no interfieren con los sistemas de protección catódicos activos acoplados a los cuerpos de

tubería si se usa la corriente AC. Las señales de AC, cuando se aplican a los miembros eléctricamente conductores o elementos de cinta separados dentro del cuerpo de tubería no tienen ningún efecto sobre un sistema de protección catódico de DC.

- 5 Con los defectos de arreglo descritos anteriormente que incluyen las brechas de una capa exterior resistente al agua de mar de un cuerpo de tubería, y otras variaciones de la condición de un cuerpo de tubería flexible pueden detectarse de manera oportuna, lo que permite la inspección adicional, y si es necesario, que tenga lugar el mantenimiento.
- 10 Será evidente para una persona experta en la materia que las características descritas en relación a cualquiera de los aparatos y métodos de detección descritos anteriormente pueden aplicarse de manera intercambiable entre los diferentes aparatos y métodos de detección. Los aparatos y métodos de detección descritos anteriormente son ejemplos para ilustrar diversas características de la invención. Será aún más evidente que en una modalidad de la invención pueden usarse en conjunto los aparatos y métodos de detección descritos en conexión con las Fig. 3 y Fig. 5. Por ejemplo el aparato de detección de la Fig. 5 puede usarse para detectar una brecha en una capa exterior resistente al agua de mar de barrera antes de implementar el aparato de detección de la Fig. 3 para determinar la localización de la brecha (lo que minimiza de esta manera el uso del sistema más intensivo de datos de la Fig. 3). Alternativamente, el aparato de detección de la Fig. 3 puede usarse para detectar una brecha en una capa exterior resistente al agua de mar de barrera antes de implementar el aparato de detección de la Fig. 5 para determinar la localización de la brecha. Como una alternativa adicional, puede usarse el aparato tanto de manera simultánea como alternativamente, para proporcionar redundancia, en el caso de falla de cualquiera de los aparatos, y mayor confianza en que se ha detectado y localizado correctamente una brecha de agua de mar. En el caso de que ambos aparatos de detección se apliquen a una sola tubería flexible, los miembros eléctricamente conductores pueden separarse para cada aparato o pueden superponerse.
- 20
- 25 A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de esta descripción, las palabras "comprenden" y "contienen" y variaciones de las mismas significan "que incluyen pero no se limitan a", y no se destinan a (y no lo hacen) excluir otras partes, aditivos, componentes, números enteros o etapas. A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de esta descripción, el singular abarca el plural a menos que el contexto requiera lo contrario. En particular, cuando se usa el artículo indefinido, la descripción debe entenderse como que contempla la pluralidad así como también la singularidad, a
- 30 menos que el contexto requiera lo contrario.

Reivindicaciones

- 5 1. Un aparato de detección dispuesto para detectar defectos dentro de una tubería flexible (400) rodeada al menos parcialmente por agua de mar (402), el aparato de detección que comprende:
- 10 un monitor de impedancia (410) dispuesto para medir (702) la impedancia entre un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible (400) y un electrodo para agua de mar (408) en contacto con el agua de mar (402) que rodea al menos parte de la tubería flexible (400) en respuesta a una señal eléctrica de prueba aplicada al miembro eléctricamente conductor en las primera y segunda frecuencias; y
- 15 un procesador (412) dispuesto para detectar la variación de la impedancia medida por una señal eléctrica de prueba a una primera frecuencia, y si se detecta una variación de la impedancia medida, determinar (704) si la variación indica un defecto en la tubería, y si es así determinar (708) la distancia desde el electrodo para agua de mar hasta un defecto en la tubería mediante la comparación de las impedancias medidas en las primera y segunda frecuencias.
- 20 2. Un aparato de detección de acuerdo con la reivindicación 1 en donde el monitor de impedancia (410) se dispone para aplicar las señales eléctricas de prueba al miembro eléctricamente conductor a una pluralidad de frecuencias entre 10 Hz y 100 kHz.
- 25 3. Un aparato de detección de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el monitor de impedancia (410) comprende una fuente de corriente (504) dispuesta para suministrar una señal eléctrica de prueba al miembro eléctricamente conductor, y un medidor de tensión dispuesto para determinar la tensión generada en el miembro eléctricamente conductor con relación al electrodo para agua de mar.
- 30 4. Un aparato de detección de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el medidor de tensión es un demodulador síncrono (506) y el monitor de impedancia (410) comprende además un controlador (510) dispuesto para proporcionar una señal de control de frecuencia a la fuente de corriente (504) y el demodulador síncrono (506).
- 35 5. Un método para detectar defectos dentro de una tubería flexible (300) rodeada al menos parcialmente por agua de mar (402), el método que comprende:
- 40 acoplar un monitor de impedancia (410) entre un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud de una tubería flexible (400) y un electrodo para agua de mar (408) en contacto con el agua de mar que rodea al menos parte de la tubería flexible (400); generar una señal eléctrica de prueba en el monitor de impedancia (410) y aplicar la señal de prueba al miembro eléctricamente conductor en las primera y segunda frecuencias;
- 45 detectar la variación de la impedancia medida por una señal eléctrica de prueba a una primera frecuencia; y determinar (704) si una variación de la impedancia detectada indica un defecto en la tubería, y si es así determinar (708) una distancia desde el electrodo para agua de mar (408) hasta un defecto en la tubería mediante la comparación de las impedancias medidas en las primera y segunda frecuencias.
- 50 6. Un aparato para tuberías que comprende:
- un cuerpo de tubería (400) que incluye un primer miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería (400);
- un elemento de extremo acoplado a al menos un extremo del cuerpo de tubería (400);
- un electrodo para agua de mar (408); y
- un aparato de detección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 acoplado a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería (400), en donde el monitor de impedancia (410) se acopla al primer miembro eléctricamente conductor y al electrodo para agua de mar (408).
- 55 7. Un aparato para tuberías de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el primer miembro eléctricamente conductor comprende un miembro estructural metálico (406) del cuerpo de tubería (400).
- 60 8. Un aparato para tuberías de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el primer miembro eléctricamente conductor comprende un elemento de cinta que se extiende a través del cuerpo de tubería entre una capa de barrera más interior y una capa de barrera más exterior (404).

9. Un aparato para tuberías de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además un segundo aparato de detección, el segundo aparato de detección que comprende:

5 un generador de señal acoplado (600) a un par de miembros eléctricamente conductores que se extienden al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería (400) y se aíslan eléctricamente entre sí para conformar una línea de transmisión eléctrica, el generador de señal que se dispone para generar una señal eléctrica de prueba y para aplicar (602) la señal de prueba entre el par de miembros eléctricamente conductores, la señal de prueba que comprende una señal eléctrica modulada de código por pulso;

10 un receptor acoplado al par de miembros eléctricamente conductores y dispuesto para recibir (604) una señal eléctrica de retorno que comprende un reflejo de la señal de prueba;

15 un correlador (316) dispuesto para correlacionar (606) la señal de prueba con la señal de retorno y para determinar una señal de correlación; y

un procesador (318) dispuesto para detectar (608) la variación de la señal de correlación, y para determinar si una variación detectada indica un defecto en la tubería.

10. Un aparato para tuberías de acuerdo con la reivindicación 9 cuando depende de la reivindicación 7, en donde el par de miembros eléctricamente conductores comprenden el primer miembro estructural metálico (406) del cuerpo de tubería (4001) y un segundo miembro estructural metálico del cuerpo de tubería (400).

11. Un método para conformar un aparato para tuberías, el método que comprende:

25 proporcionar un cuerpo de tubería (400) que incluye un miembro eléctricamente conductor que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la longitud del cuerpo de tubería (400);

proporcionar un electrodo para agua de mar (408); y

30 acoplar un elemento de extremo a al menos un extremo del cuerpo de tubería (400);

en donde un aparato de detección de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 se acopla a un elemento de extremo acoplado a un extremo del cuerpo de tubería (400), el método que comprende además acoplar el monitor de impedancia (410) al miembro eléctricamente conductor y al electrodo para agua de mar (408).

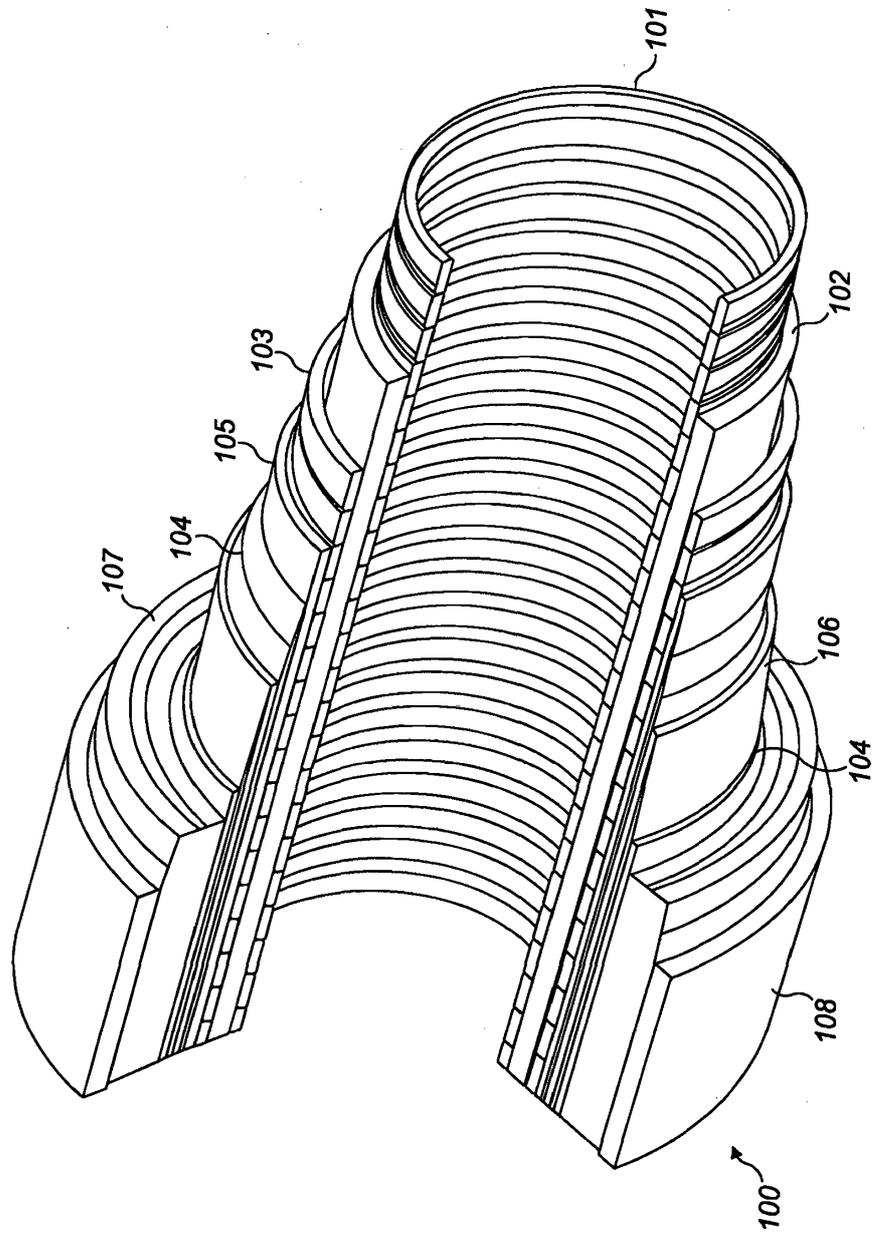


FIG. 1

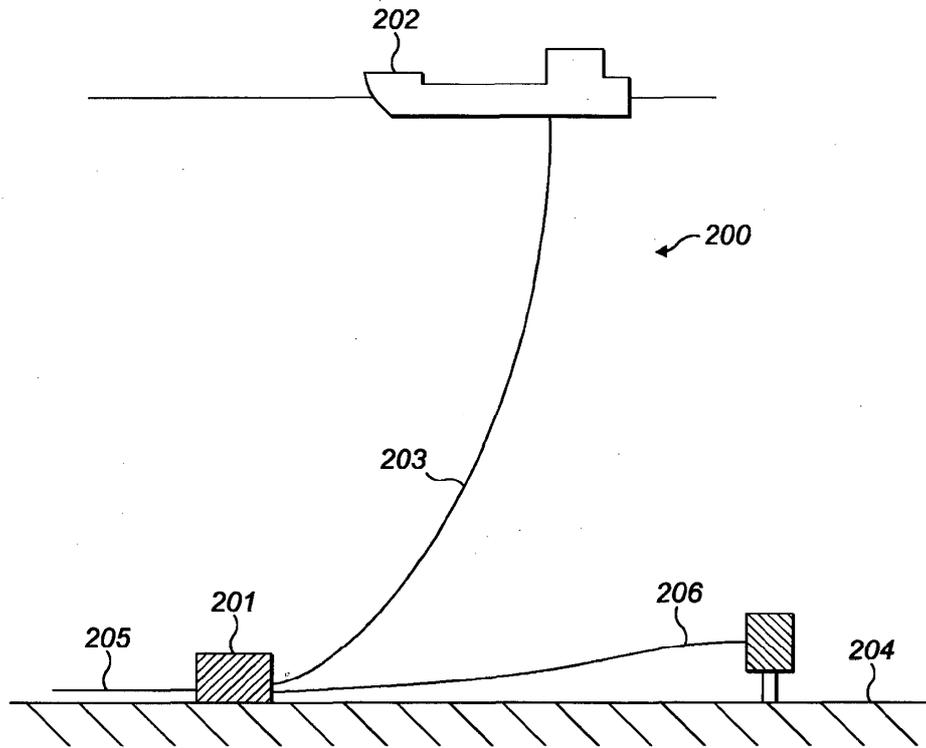


FIG. 2

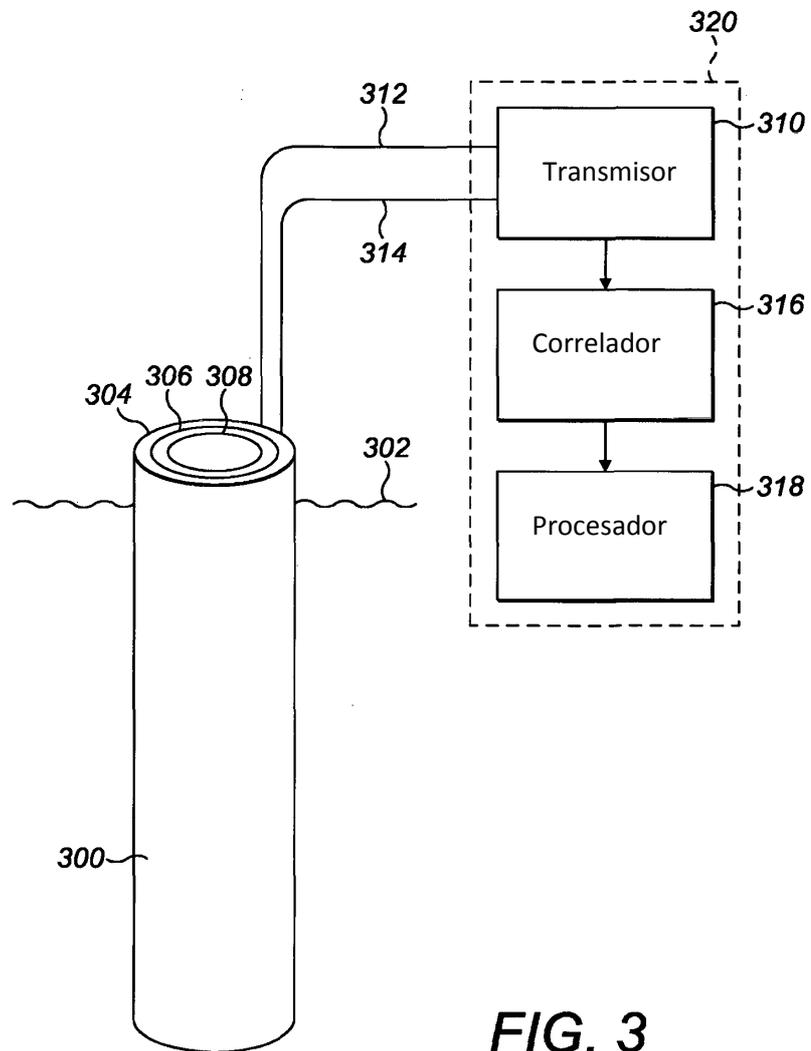


FIG. 3

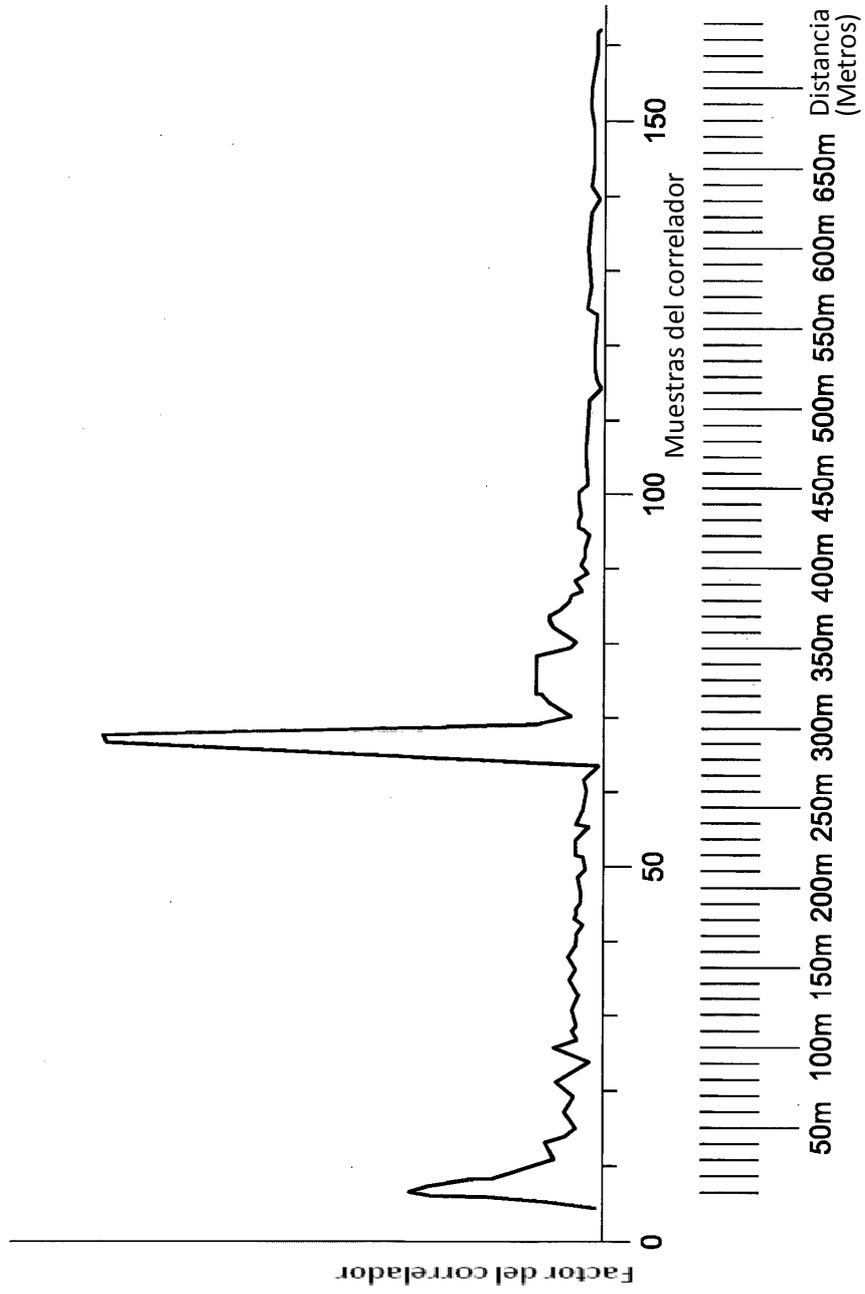


FIG. 4

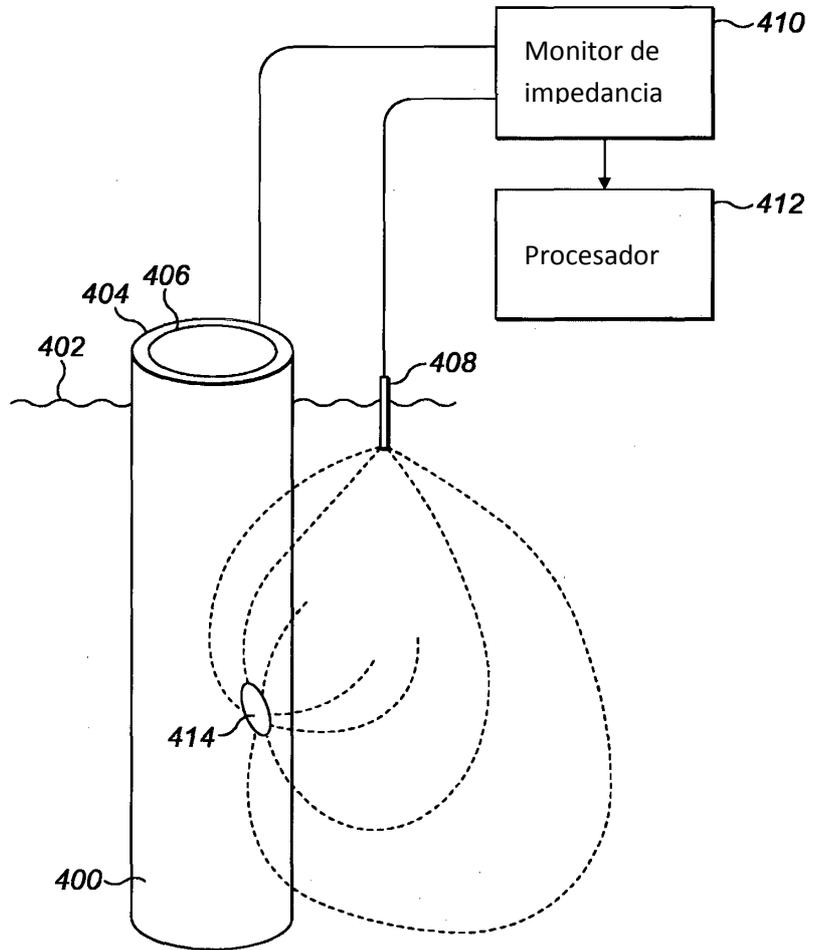


FIG. 5

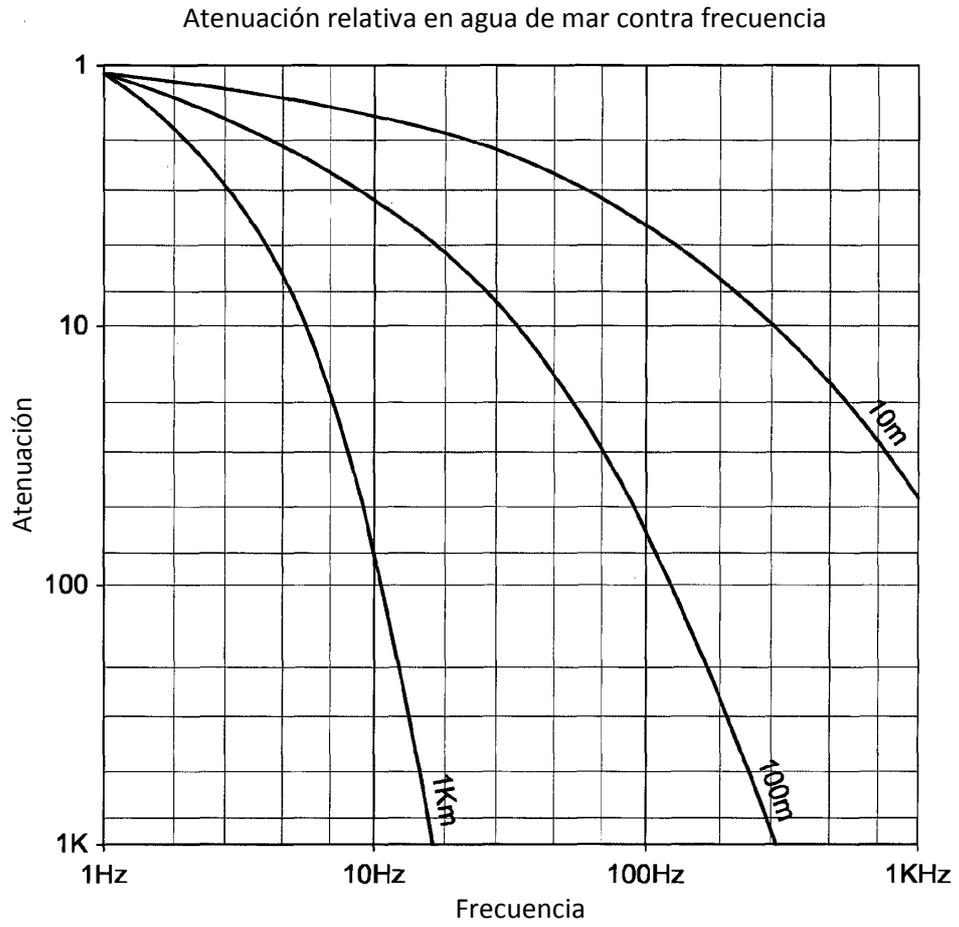


FIG. 6

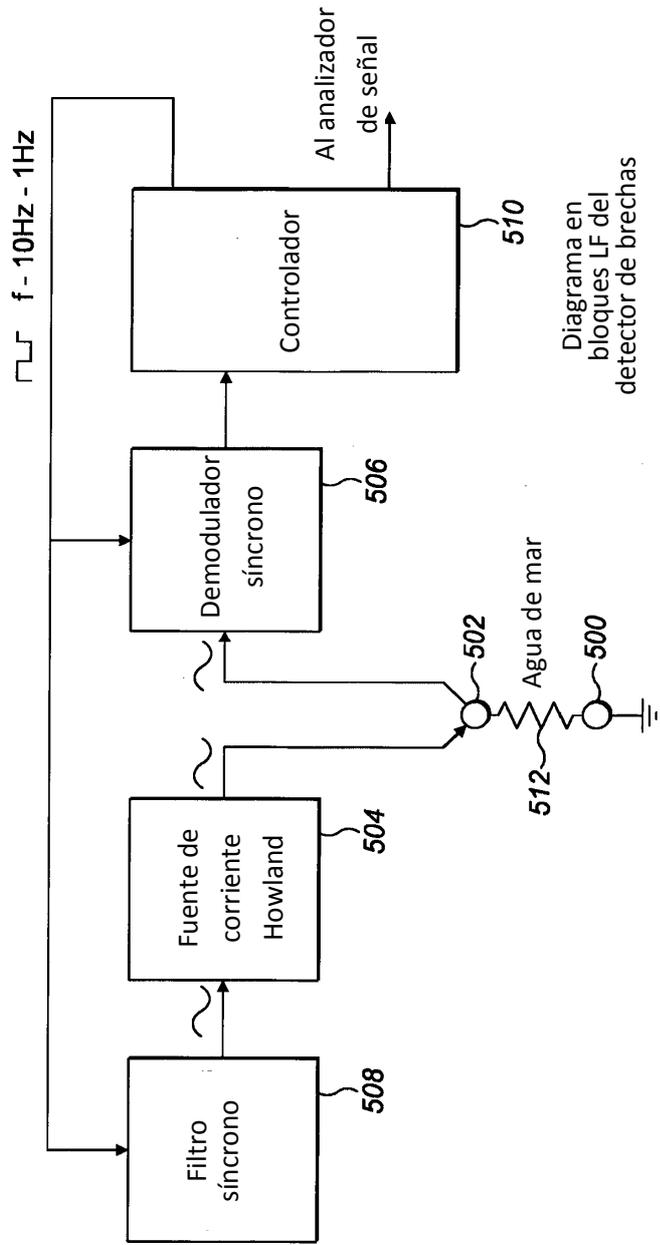


Diagrama en bloques LF del detector de brechas

FIG. 7

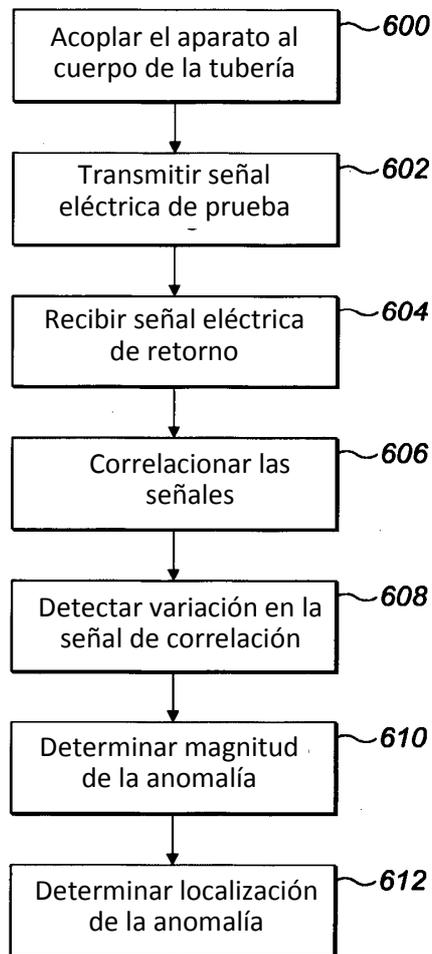


FIG. 8

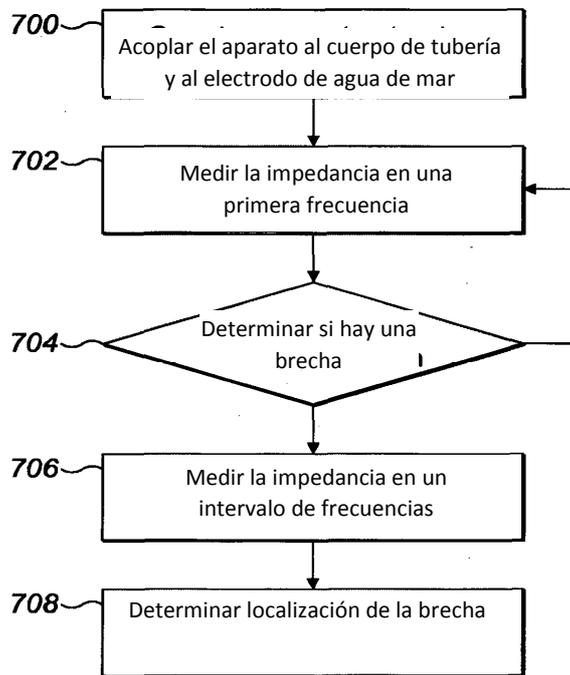


FIG. 9