DISPOSITIVO PARA DETECTAR CONEXIONES FRAUDULENTAS EN TUBERÍA DE TRANSPORTE USANDO ONDAS GUIADAS

SECTOR TECNOLÓGICO

La presente invención pertenece al campo de la física relacionada con la metrología y ensayos acerca de medidas medida de la longitud, espesor o dimensiones lineales análogas; medida de ángulos; medida de áreas; medida de irregularidades de superficies o contornos, específicamente a disposiciones de medida caracterizadas por la utilización de medios eléctricos o magnéticos. Es un dispositivo que permite detectar conexiones fraudulentas en tramos de tuberías al aire libre o cubiertas bajo tierra o sumergidas usando las características de la propagación de las ondas guiadas por ultrasonido de baja frecuencia, donde la propagación puede alcanzar distancias de cientos de metros desde el sitio de disparo de la onda permitiendo desde una sola posición de disparo cubrir longitudes considerables de tubería

ESTADO DE LA TÉCNICA

En el estado de la técnica se conoce la patente No. US20150338378A1 “Descomposición de señal frecuencia-tiempo ultrasónica para evaluación de pozos o inspección de tuberías”, publicada el 26 de noviembre de 2015 y cuyo titular es Yinghui Lu, describe un método para la evaluación del pozo o la inspección de la tubería, el método comprende: recibir una señal ultrasónica; descomponer la señal ultrasónica en al menos una wavelet usando una descomposición de frecuencia de tiempo y un conjunto de funciones básicas; determinación de parámetros asociados con cada wavelet; y realizar la evaluación del pozo o la inspección de la tubería en función de los parámetros. En algunas realizaciones, los métodos, aparatos y mecanismos pueden operar para lanzar ondas acústicas a lo largo de una primera longitud de camino acústico desde un transductor acústico. El aparato recibe una señal reflejada en respuesta

a cada onda acústica, incluyendo cada señal reflejada al menos un eco. La señal reflejada se descompone, utilizando un método de descomposición de tiempo-frecuencia con funciones básicas, en una wavelet asociada con cada eco. Se determinan los parámetros que describen cada wavelet asociada y se realiza una evaluación de pozo o inspección de tubería en función de los parámetros. La nueva invención difiere con el antecedente en la forma como se implementa la generación de la onda guiada y en el algoritmo para procesar la reflexión, el cual se basa en Wavelets. La nueva invención corresponde a un mecanismo dedicado a la detección de la conexión fraudulenta que surge al comparar la señal base de reflejo con la señal actual. El reflejo particular asociado a la conexión fraudulenta se caracteriza de tal forma que el dispositivo pueda discriminar la presencia de esta condición específica sin emitir falsos positivos debido a otras condiciones anormales en la tubería.

También se encuentra la solicitud de patente No. US10429176B2 “Detección de grietas profundas en tuberías”, publicada el 13 de diciembre de 2018, cuyos titulares son Jochen Uwe Giese, Olaf Mueller, se refiere a un sistema de inspección de tubería que incluye un cerdo de tubería (pigging) que tiene un controlador y una pluralidad de elementos de transductor ultrasónico situados en una matriz. Cada uno de la pluralidad de elementos transductores ultrasónicos emite una señal ultrasónica en una pared de una tubería y recibe ecos de la señal ultrasónica desde la pared de la tubería. El controlador selecciona un primer subconjunto de la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico desde el cual emitir las señales ultrasónicas en la pared de la tubería a medida que el cerdo de la tubería pasa a través de la tubería, analiza los ecos de las señales ultrasónicas recibidas por la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico para detectar una característica en la pared de la tubería. Sistema de inspección de tuberías, que comprende: un cerdo de tubería, que comprende: una pluralidad de elementos transductores ultrasónicos situados en una matriz, en donde cada

uno de la pluralidad de elementos transductores ultrasónicos está configurado para emitir una señal ultrasónica en una pared de una tubería y recibir ecos de la señal ultrasónica desde la pared de la tubería; y un controlador configurado para: seleccione un primer subconjunto de la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico desde el cual emitirá las primeras señales ultrasónicas en la pared de la tubería a medida que el cerdo de la tubería pasa a través de la tubería; analizar los ecos de las primeras señales ultrasónicas recibidas por la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico para detectar una característica en la pared de la tubería; y seleccione un segundo subconjunto de la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico para emitir segundas señales ultrasónicas en la pared de la tubería a medida que el cerdo de la tubería pasa a través de la tubería cuando se detecta la característica en la pared de la tubería; en el que el controlador está configurado para ajustar una serie de elementos del transductor ultrasónico en el segundo subconjunto de la pluralidad de elementos del transductor ultrasónico si la profundidad de la característica no se puede determinar basándose al menos en parte en los ecos de las segundas señales ultrasónicas emitidas por el segundo subconjunto de elementos del transductor ultrasónico. En la nueva invención no se hace uso de un dispositivo que viaja junto al producto transportado por la tubería para realizar su inspección. El amortiguamiento de la onda que se propaga se limita al efecto visco-elástico del material de la tubería y al posible acople mecánico entre la tubería (3) y el medio exterior a esta.

Igualmente se conoce la solicitud de patente No AU2016263168A1 “Sistema y método para la medición remota en tiempo real de parámetros geométricos de una tubería en el paso de lanzamiento, a través de ondas sonoras”, publicada el 30 de noviembre de 2017 y cuyos titulares son Giancarlo Bernasconi, Adriano Calzavara, Massimo Signori; describen un sistema 100 para la medición remota en tiempo real, a través de ondas de sonido, de parámetros geométricos de una

tubería 2 en el paso de lanzamiento. El sistema 100 comprende una unidad transceptora acústica que se puede colocar en la tubería 2 y una unidad de control. La unidad transceptora acústica 1 comprende una unidad de transmisión acústica 4 configurada para emitir una señal acústica de entrada sa1 en la tubería 2, basada en una señal piloto eléctrica sp; y además comprende una unidad de recepción acústica 5, distinta de la unidad de transmisión acústica 4, configurada para detectar la señal acústica de entrada sa1 y generar una primera señal de medición eléctrica se1, dependiente de la señal acústica de entrada sa1 La unidad de recepción acústica 5 está configurada adicionalmente para recibir una señal de retorno de entrada sa2, generado en la tubería 2 y dependiente de la señal acústica de entrada sa1 y de los parámetros geométricos de la tubería 2, y para generar una segunda señal de medición eléctrica se2 basada en la señal acústica de retorno sa2. La unidad de control 3 está configurada para generar la señal piloto eléctrica sp y está conectada operativamente a la unidad transceptora acústica 1 para proporcionar la señal piloto eléctrica sp y recibir la primera señal de medición eléctrica se1 y la segunda señal de medición eléctrica se2. Además, la unidad de control 3 está configurada para medir los parámetros geométricos de la tubería 2 basándose en las señales de medición eléctrica primera y segunda (se1, se2). La nueva invención usa ondas guiadas que son ondas que se transmiten por la sección transversal del tubo en el rango de frecuencias entre los 20 kHz y los 200 kHz. Igualmente, el hardware utilizado como los transductores difieren significativamente por el tipo de señal que se transmite.

Por otro lado, se encuentra en el estado del arte la solicitud de patente No. KR20120108001A “Transductor ultrasónico, medidor de flujo y método”, publicada el 4 de octubre de 2012 y cuyos titulares son AUGENSTEIN DONALD R; GRIFFITH BOBBIE W, proporciona un método para detectar un caudal de fluido en un tubo. El ultrasónico transductor para tuberías incluye una fuente ultrasónica para generar plano olas. El transductor incluye una carcasa que tiene

una cara, en la que al menos una parte de la cara está curvada, a través de la cual el plano olas generados a partir de una fuente dispuesta en la carcasa se emiten y se dirigen hacia el exterior hacia la pared interna del tubo, lo que lleva a una superficie de corte dentro del tubo. Esto se puede medir. Se proporciona un medidor de flujo para detectar el caudal de fluido en el tubo. En una realización, la disposición actual del medidor de flujo ultrasónico usa dos transductores en los extremos opuestos del tubo/ tubo, uno aguas arriba del flujo de fluido y el otro aguas abajo del flujo de fluido, con ambos transductores transmitiendo y recibiendo señales. Cada transductor genera una onda plana en el fluido. La diferencia en el tiempo de tránsito entre las señales aguas arriba y aguas abajo se usa para calcular la velocidad entre los dos transductores. Esta diferencia en el tiempo de tránsito refleja la velocidad de flujo promedio proyectada en el camino acústico. La nueva invención, a diferencia del antecedente permite identificar discontinuidades en la tubería que transporta el fluido. El algoritmo implementado emitirá una alarma de manera autónoma en presencia de la conexión fraudulenta como resultado de la evaluación de cómo evolucionó la discontinuidad y su magnitud.

La nueva invención está enfocada en la detección de conexiones fraudulentas haciendo uso de la tecnología de las ondas guiadas; para ello se implementa un mecanismo para generar ondas guiadas torsionales usando la tecnología magnetostrictiva. Aunque el mecanismo tiene la capacidad para detectar cualquier discontinuidad en la tubería tales como soldaduras o corrosión, la invención emitir una alarma cuando se presente una discontinuidad producto de una conexión fraudulenta, que se caracteriza por ser una reflexión con una amplitud considerable y que aparece repentinamente y no por situación prologada. Estas condiciones la diferencian de las otras discontinuidades las cuales evolucionan de manera progresiva y cuyas reflexiones se caracterizan por una razón de cambio de la amplitud del reflejo mucho más bajo que el que se

produce por una conexión fraudulenta. Para lograr la detección se requiere un continuo disparo de la onda guiada, lo cual es posible aún en tubería enterrada debido a que el sensor magneto-estrictivo es económico y con la debida protección puede ser mantenido permanentemente adherido a la tubería enterrada, con su respectivo cableado para que el lanzamiento de la onda guiada solo requiere la conexión de los cables del transductor al mecanismo de lanzamiento y adquisición de la onda guiada.

En la invención propuesta, se complementa con su propio algoritmo que emite una alarma de manera autónoma en presencia de la conexión fraudulenta como resultado de la evaluación de como evolucionó la discontinuidad y su magnitud.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Las figuras anexas ilustran el alcance que se propone la invención dentro de la siguiente propuesta del dispositivo para detectar conexiones fraudulentas en tubería de transporte usando ondas guiadas.

La figura 1 presenta el mecanismo de emisión y recepción de las ondas guiadas.
La figura 2 muestra el detalle del sensor magnetoestrictivo.
La figura 3 muestra la conexión de la tubería y el dispositivo.
La figura 4. Muestra una descripción del Módulo de adquisición y envió de señales digitales diferenciando sus etapas.
La figura 5. Muestra en detalle la Etapa 2 de transmisión del módulo de adquisición y envió de señales digitales.
La figura 6. Muestra en detalle la Etapa 5 de Recepción del módulo de adquisición y envió de señales digitales

El Dispositivo para detectar conexiones fraudulentas en tubería de transporte

usando ondas guiadas se compone de un mecanismo que genera un pulso eléctrico modulado, lo amplifica y lo envía hacia el transductor magnetoestrictivo para convertirlo en onda guiada y a su vez el mismo mecanismo se encarga de recibir la reflexión del pulso de onda guiada cuando este encuentra una discontinuidad normal o anormal, en este caso, una conexión fraudulenta.

El mecanismo se compone de un transductor LAUNCHXL-F28379D que cuenta con múltiples salidas y entradas, que es configurado para generar un pulso de alta frecuencia entre los 20-200 kHZ y baja amplitud < 5V, este pulso es entregado a una etapa de transmisión Tx con amplificador (11), la cual está constituida por amplificadores operacionales de alta potencia encargados de elevar la tensión al umbral necesario para excitar el transductor magnetoestrictivo (1).

La señal es transformada en una onda mecánica, que es una onda guiada (9) que viaja por la tubería (3) y al detectar una imperfección por conexión fraudulenta (7) se refleja en eco (8) y vuelve al transductor magnetoestrictivo (1), el cual genera una tensión atenuada debido a las perdidas mecánicas que es captada por el interruptor T/R (10), el cual se encuentra normalmente abierto para tensiones superiores a 2 V, y una vez detectada una tensión menor a este umbral, entra en funcionamiento la etapa de recepción Rx (12), que costa de un filtro activo analógico (13) y un amplificador de instrumentación (14) que adecua la tensión al umbral proporcionado por el ADC del microcontrolador (15).

La señal obtenida se resta con una señal de referencia que se obtiene al inicio del monitoreo y que se va actualizando cada vez que se verifique el estado de la tubería (3) y no se encuentre alguna conexión fraudulenta, la señal residuo se compara con un umbral preestablecido para identificar las conexiones fraudulentas. Si alguna de las señales residuo sobrepasa el umbral, el programa de monitoreo implementado enviará una señal de alarma y podrá determinar la

localización basado en el tiempo donde se presentó la discontinuidad y la velocidad de la onda propagada.

El dispositivo también se compone del transductor magnetoestrictivo (1) que es el componente que convierte el pulso eléctrico en una onda guiada (9) sobre la tubería (3). Esta onda guiada (9) se propaga a través de la sección transversal de la tubería (3) a una velocidad constante que corresponde a la velocidad transversal del ultrasonido sobre el material de la tubería (3). La configuración implementada asegura que el modo de onda generado corresponda al modo fundamental de torsión o T(0,1), el cual se propagará por la tubería (3) y responderá con una reflexión también onda guiada cuando en el camino de propagación interactúe con alguna discontinuidad acústica entre ellas la conexión fraudulenta. Aunque la corrosión y la erosión pueden generar reflexiones, estas son progresivas y se diferenciarían de la reflexión que produce una conexión fraudulenta (7) por la aparición repentina y de gran magnitud de un eco (8).

El transductor magnetoestrictivo (1) se compone de una cinta magnetoestrictiva (2) compuesta por una aleación Hierro-Cobalto (Fe-Co) que se instala alrededor de la tubería (3) y se magnetiza en dirección circunferencial. Sobre la anterior se instala una bobina (4) que se encargará de transmitir el pulso modulado para generar la onda guiada como resultado de la interacción del campo residual (5) en la cinta Fe-Co y el campo axial (6) producido por la bobina alrededor de la cinta. El anterior montaje sirve para producir la onda guiada (9) y para capturar las ondas guiadas de eco (8) de reflejo producidas por las distintas discontinuidades por conexión fraudulenta (7). Finalmente, el mecanismo dispone de un módulo (16) de adquisición (17) y envío de señales (18) a un computador (19) en el cual se registrarán las distintas señales disparadas y recibidas, lo umbrales y las señales de alarmas cuando se detecte la conexión fraudulenta (7).

La onda (9) se genera a través de un pulso modulado eléctrico con una frecuencia central de entre 1 kHz a 35 kHz que es enviado por un mecanismo que permite configurar el perfil de la señal a un mecanismo amplificador (11) que excita una bobina (4) alrededor de la tubería (3) y que junto al campo residual (5) que se configura circunferencialmente en la cinta magnetoestrictiva (2) cinta formada por una aleación de metales Fe y Co produce un campo helicoidal que gracias al efecto magnetoestrictivo en la tubería (3) produce la onda torsional de micro-deformaciones helicoidales que se propagan en la tubería (3).

Estas ondas se propagan por la tubería (3) sin ser transmitidas al fluido que se transporta por la incapacidad de los fluidos de soportar esfuerzos de corte que corresponden a los generados por las ondas torsionales. Por lo tanto, el amortiguamiento de la onda que se propaga se limita al efecto visco-elástico del material de la tubería y al posible acople mecánico entre la tubería (3) y el medio exterior a esta, como es el caso de la tubería enterrada o embebida en concreto.

En su propagación la onda torsional de reflejo en eco (8) será reflejada en presencia de una perdida de homogeneidad o de continuidad de la tubería (3) como aquella que se presenta cuando se perfora la tubería (3) para la realizar una conexión no planeada. El mecanismo detectará cualquier cambio en la tubería (3) al comparar la señal base que corresponde a los reflejos producto de discontuinades normales como las soldaduras de los tubos con la señal actual que presenta algún reflejo adicional producto de la perforación de esta. El reflejo eco (8) producido por la presencia de una conexión fraudulenta (7) tiene un comportamiento particular que va a permitir realizar una detección robusta. Esta señal reflejada eco (8) se captará con el mismo transductor magnetoestrictivo (1) esta vez funcionando en modo sensor, la cual pasará por una etapa de acondicionamiento después de lo cual alimentará a un circuito comparador que contiene la señal base, que es la señal reflejo de la tubería (3) en su condición

normal. La señal que resulta de la comparación de la señal actual con la señal base produce una señal de residuo que se utilizará para detectar la conexión no planeada a través de la magnitud del reflejo.

El mecanismo dispone de un computador (19) en el cual se registrarán las distintas señales transmitidas y recibidas, lo umbrales y las señales de alarmas cuando se detecte la conexión fraudulenta; así como el Software para el procesamiento de la señal.

Mejor manera de Ejecutar la invención

El Transductor Magnetoestrictivo (1) transforma el pulso eléctrico modulado en una microdeformación oscilatoria en la tubería (3), es decir, en una onda guiada (9) del tipo torsional, específicamente el modo fundamental de torsión o T(0,1). Este Transductor Magnetoestrictivo (1) se compone de una cinta magnetoestrictiva (2) de Fe-Co compuesta de una aleación Hierro-Cobalto que se enrolla alrededor del punto de la tubería (3) donde se hará el lanzamiento de la onda guiada (9). Para su instalación se requiere tener acceso físico a la superficie exterior (20) de la tubería (3), la cual se prepara a través de su limpieza y el retiro de material producto de la corrosión o cualquier otro desperfecto. Una vez se tiene la superficie limpia se procede a agregar grasa acoplante (21) para ultrasonido a la superficie del tubo y a la cinta magnetoestrictiva (2), la cual se ubica alrededor del tubo asegurando que la periferia de la tubería quede completamente cubierta por la cinta de manera que sus extremos se encuentren entre sí.

Una vez la cinta magnetoestrictiva (2) esté ubicada en el perímetro de la tubería (3), se frotará un imán (22) alrededor de esta tubería (3) para producir un campo magnético residual en la dirección perimetral. Finalmente se enrolla alrededor de la cinta magnetoestrictiva (2) una bobina (4) constituida por cable aislado (23) y

bobinado alrededor de la cinta magnetoestrictiva (2) para producir el campo magnético dinámico en dirección axial a la tubería (3) que es un campo magnético dinámico generado por la bobina (4) a través de la señal enviada por parte del módulo (16) de adquisición (17) y envió (18) de señales digitales de eco (8) y onda guiada (9). Este campo magnético en dirección axial se suma vectorialmente con el campo residual en la cinta magnetoestrictiva (2) de Fe-Co, en dirección circunferencial para producir un campo helicoidal que producirá micro-deformaciones en la tubería (3), lo cual constituye la onda guiada (9). Una vez se reciba la onda guiada (9) de reflejo en forma de microdeformación torsional, esta será transformada por el Transductor magnetoestrictivo (1) en una señal de voltaje que será amplificada y filtrada por el Módulo (16) de adquisición (17) y envió (18) de señales digitales.

De acuerdo con la Representación esquemática del transductor magnetoestrictivo (1), el módulo (16) de adquisición (17) y envió (18) de señales digitales, este módulo (16) se conecta al Transductor Magnetoestrictivo (1) con unos cables conectores (24) y en operación en la primera etapa se encarga de la generación del pulso modulado que excitará la onda guiada (9). Este pulso se amplifica y envía hacia el transductor magnetoestrictivo (1) a través de la Etapa de Transmisión, es decir, la onda guiada (9). Posteriormente, el mismo transductor magnetoestrictivo (1) se encarga de la adquisición de la señal leída por el mismo transductor magnetoestrictivo y que consiste en la señal proveniente de la onda guiada reflejada en presencia de la discontinuidad del material de la tubería (3), la cual puede ser resultado de condiciones normales como la soldadura de los tramos de la tubería (3) o anormales como es el caso de la conexión fraudulenta.

El módulo (16) de adquisición y envió de señales digitales tiene un mecanismo de procesamiento de señal (25) para la etapa para el procesamiento de la señal,

adecuación y almacenamiento de la señal; este incluye una computadora (19) que es usada para programar y visualizar por medio de Simulink – Matlab la información que transita por el microcontrolador (15) LAUNCHXL-F28379D que cuenta con múltiples salidas y entradas. La salida (27) del microcontrolador (15) es un pulso de alta frecuencia entre los 20-200 kHZ y baja amplitud < 5V,donde este pulso es entregado a una etapa de transmisión constituida por un mecanismo amplificador (11) operacional de alto voltaje y alta corriente OPA549 en una topología no inversora de ganancia $G = 1 + {R_2}/{R_1}$, encargada de elevar la tensión al umbral necesario > 20 V que excita el transductor magnetoestrictivo (1). La señal eléctrica es transformada en una onda mecánica, onda guiada (9) a través del transductor magnetoestrictivo (1).

Posteriormente, producto de las reflexiones la onda mecánica que pasan por el filtro activo analógico (13) y amplificador de instrumentación (14) vuelve la señal al transductor magnetoestrictivo (1), generando un pulso eco (8) con una tensión atenuada debido a las pérdidas mecánicas. Esta señal de baja intensidad es captada en la etapa 4 Rx (12) por el interruptor (10) T/R switch, que es un interruptor transmisor/receptor MD0100 que se encuentra abierto para tensiones superiores a 2 V, con el objetivo de proteger la etapa 5 de recepción. Una vez detectada una tensión menor a este umbral, entra en funcionamiento la etapa de recepción que consta de amplificador de instrumentación (14) INA128 con ganancia variable $\mathrm{G} = 1 + {50\ \mathrm{k\Omega}}/{\mathrm{Rg}}$, junto con filtro activo analógico (13) pasa altas, que emplea un amplificador operacional de alta precisión y bajo ruido OPA228 con ganancia y frecuencia de corte variable según el valor de los elementos pasivos como resistencias y capacitores; de maneta que una vez adecuada la tensión a un umbral apropiado entre 0 a 3.3 V es ingresada a la etapa inicial por medio de una entrada ADC (26) del microcontrolador (15) y finalmente la señal es mostrada y guardada para realizar su debido análisis.

Complementariamente, el Software para el Procesamiento de la Señal está en el computador (19) donde se procesa la señal recibida del Módulo (16) de adquisición (17) y envió (18) de señales cuyas señales son transmitidas al computador (19) vía puerto USB y que corresponde a la onda guiada reflejada eco (8). Esta señal de recibida es comparada con la señal de referencia y de su comparación o señal residuo si esta supera el umbral especificado, que depende del alcance configurado de la propagación de la onda guiada, produce la señal de alarma que corresponde a que la tubería (3) fue modificada sustancialmente en geometría y material, siendo claro indicio de que se produjo una conexión fraudulenta.