

HERRAMIENTA GEOMÉTRICA DE COMPLEJIDAD MEDIA E INTELIGENTE
QUE LOCALIZA RESTRICCIONES EN TUBERÍAS DE TRANSPORTE
MEDIANTE CAMBIOS DE ACELERACIÓN

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se relaciona con una Herramienta Geométrica de complejidad media que mediante el registro de cambios de aceleración, detecta, procesa y ubica las restricciones presentes en el interior de la tubería, restricciones a localizar como por ejemplo calajanes, abolladuras y curvas fuera de
10 norma. La herramienta tiene un sistema de sensado y un software de procesamiento que se encargan de detectar las abolladuras y deformaciones en las tuberías, analizando y caracterizando las variaciones anormales de aceleración que se presenten en el recorrido.

15 RESUMEN

La presente invención consiste en una Herramienta Geométrica diseñada para evaluar la geometría de una tubería de transporte de hidrocarburos como los poli-ductos, gaseoductos y oleo-ductos.

Esta herramienta a través de impactos registrados dados a las platinas instaladas
20 y por medio del algoritmo interno que maneja, la herramienta tiene la posibilidad de procesar los datos en línea, es decir, decidir los datos importantes que deben presentarse en campo y así determinar la ubicación lineal de abolladuras y deformaciones presentes en la tubería.

Este procesamiento hace que la descarga y la entrega de datos definitivos se
25 realicen en menos de una hora después de la inspección de la tubería. De igual forma, la herramienta tiene la capacidad de almacenar los datos de sus sensores en memorias para un análisis detallado de la tubería.

ESTADO DE LA TÉCNICA

En el estado del arte se conocen diversos sistemas de herramientas geométricas para la inspección de tuberías, es el caso de la patente de invención CO08-132101 que hace alusión a una herramienta inteligente para detección de perforaciones e interpretación de datos en línea de ECOPEROL que comprende un módulo de batería, un módulo de posicionamiento y control principal en donde se lleva a cabo el análisis, interpretación y filtrado de información en línea y un módulo de sensado magnético que tiene una configuración en la cual los elementos encargados de generar el campo magnético son imanes permanentes ubicados radialmente en una corona de sensado la cual está compuesta por seis secciones de corona, de tal manera que el polo norte de cada uno de ellos está confrontado con la cara posterior de los sensores de efecto Hall y caracterizada además porque los imanes utilizados en el módulo de sensado magnético pueden ser cerámicos, de alnico o de tierras raras.

De otra parte, el documento US6,243,657 hace referencia a un método y aparato para determinar la localización de características de una tubería, en donde el sistema de inspección y mapeo de defectos de tuberías incluye un marrano que tiene una unidad de medición inercial y una unidad de inspección de la tubería para registrar una ubicación del marrano y eventos de localización de defectos, cada registro tiene una señal de tiempo mediante un reloj a bordo altamente preciso. El sistema también incluye detectores magnéticos en ubicaciones precisas conocidas a lo largo de la tubería, cada una comprende un magnetómetro de flujo para detectar el paso del marrano a lo largo de la tubería y además contiene un reloj altamente preciso sincronizado con el reloj en el marrano. La ubicación de los diferentes detectores magnéticos es conocida en un sistema de coordenadas norte/este/abajo mediante un proceso de posicionamiento global diferencial. Finalmente, un sistema de computador de procesamiento posterior fuera de línea recibe las mediciones inerciales descargadas por el detector magnético y los datos del odómetro y mediante el uso de muchos filtros de Kalman, deriva la ubicación de los defectos detectados en el marco de coordenadas.

El documento de patente US4,495,775 se relaciona con un sistema de vigilancia de tuberías para determinar el perfil, ovalidad y el desplazamiento de los oleoductos de petróleo, gas y productos. El sistema comprende uno o más
marranos que alojan una pluralidad de sensores que incluyen un sistema de
5 medición inercial, un sistema de medición sonar secundaria, grabadora digital, detector de soldadura y un odómetro. El sistema de medición inercial detecta los datos de aceleración y orientación primaria del sistema de seguimiento dentro de una tubería y el sistema secundario genera datos redundantes para la verificación de la información de orientación de aceleración proporcionada por el sistema
10 inercial. El registrador digital registra toda la información generada por los distintos sistemas de medición y sensores para el análisis post-procesamiento de ceniza para determinar las características antes mencionadas de perfil, ovalidad y el desplazamiento de las tuberías.

15 El documento de patente US2009-101337 divulga un sistema sensor para detectar defectos en un hilo tubular mientras está posicionado en el pozo, incluye una herramienta de sensado que comprende una pluralidad de sensores separados circunferencialmente dispuestos en dos o más filas separadas axialmente. Una pluralidad de sensores está posicionada en cada fila, en donde
20 cada sensor está ubicado en uno de una pluralidad de almohadillas de soporte de sensor. Los sensores en una misma fila pueden incluir sensores con ejes inclinados en diferentes ángulos, y cada una de la pluralidad de almohadillas de sensores puede moverse desde una posición de entrada retraída radialmente a una posición de sensado extendida radialmente. Una línea flexible puede
25 emplearse para bajar la herramienta de sensado en el pozo y recuperar la herramienta de sensado del pozo.

La patente US20100313665 divulga un sistema para inspeccionar una tubería con ultrasonido, provisto con un dispositivo de transporte para moverse en una
30 dirección de transporte a través de una tubería, una pluralidad de transductores y un dispositivo de transmisión y recepción conectado con los transductores. Los transductores y el dispositivo de transmisión y recepción están montados en el dispositivo de transporte. El sistema está dispuesto para poner los transductores

de un primer juego, un segundo juego y un tercer juego en contacto con la pared interior de una tubería durante la medición del desempeño.

La patente US2004/0095137 divulga método y un aparato para implementar técnicas de sensado magneto-restrictivas para evaluación no destructiva de tubos y tuberías. Un sensor magneto-restrictivo genera ondas guiadas en un tubo o tubería, las cuales viajan a través del mismo en una dirección paralela al eje longitudinal del tubo o tubería. Esto se logra utilizando una banda ferromagnética que es presionada circunferencialmente contra el tubo o tubería. Para mejorar la eficiencia de la forma, la banda puede ser echa de una aleación de hierro-cobalto. Las ondas guiadas son generadas en la banda y se acoplan con la tubería o tubo y se propagan a lo largo de la longitud de dicha tubería o tubo. Para detección, las ondas guiadas en dicha tubería o tubo son acopladas a la delgada banda ferromagnética y son detectadas por un collar MsS. Las ondas guiadas reflejadas pueden representar defectos en la tubería o el tubo.

En este sentido, es importante señalar que los servicios de inspección de líneas para detección de eventos geométricos son costosos, requieren programar el servicio con antelación mayor a 2 meses y la entrega de resultados se da generalmente en término de 1 a 2 meses. Es aquí en donde la presente invención ofrece ventajas, ya que el servicio se encuentra disponible a nivel local y los resultados de la inspección con la herramienta de la presente invención se obtienen en un término no mayor a 1 semana. Por lo tanto, un operador/propietario de un ducto (oleoducto /poliducto) tiene una alternativa de detección de restricciones geométricas en su ducto a menor costo y con tiempos de respuesta inferiores a los tiempos obtenidos con dispositivos del mercado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA FIGURAS

La figura 1 muestra el esquema general de la Herramienta de la presente invención.

La figura 2 detalla los componentes del sensor autónomo, las copas y discos de la herramienta.

La figura 3 detalla los componentes presentes en cuerpo de baterías y tarjetas de la herramienta.

- 5 La figura 4 muestra los componentes de la junta articulada de la herramienta.

La figura 5 muestra el almacenamiento de datos de los sensores de movimientos inerciales en la tarjeta IMU;

La figura 6 presenta el almacenamiento de datos de los sensores de radiofrecuencia, presión y odometría en la tarjeta electrónica de odometría.

- 10 La figura 7 detalla los patines de prueba ensamblados a un cuerpo que contiene los componentes electrónicos de la herramienta para su calibración.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- 15 La presente invención en una de sus modalidades, está dirigida a la herramienta geométrica de complejidad media e inteligente la cual permite la detección y ubicación de restricciones internas de ductos con lo cual se puede programar su reparación de forma oportuna y a menor costo. Las principales restricciones a localizar son: calajanes, abolladuras, curvas fuera de norma y demás restricciones al diámetro interior del ducto.

- 20 En este sentido, la presente invención a través de la herramienta geométrica determina el porcentaje máximo de restricción presente. Además, permite la determinación del recorrido y/o trazado de la línea y registra y ubica los eventos de restricción de la tubería.

- 25 La herramienta de la presente invención contiene un conjunto de platinas de detección (304) que reciben el impacto de las restricciones de la tubería y a través de un sistema de microprocesadores y acelerómetros filtran y guardan la información útil, lo cual optimiza el procesamiento de la misma y permite la entrega de resultados entre 24 y 48 horas después de la inspección.

- 30 Desde el punto de vista mecánico la herramienta está compuesta por uno o más cuerpos metálicos (101 y (102) fabricados en acero al carbono, preferiblemente en

acero inoxidable. Este material evita la corrosión por humedad y soporta el contacto con petróleo crudo y sus derivados. El cuerpo metálico (101) y (102) es hueco para portar los componentes electrónicos y conjunto de sensores. Para la protección interna se cuenta con sellos que aseguren la hermeticidad, esto evita el ingreso de fluido y permite desplazarse por el interior del tubo a grandes presiones de operación, cuenta con una unión articulada (302) entre cuerpos que funcionan como elementos conectores que permiten giro y rotación al interior del tubo. Estos cuerpos metálicos (101 y 102) se muestran en la Figura 1.

A nivel electrónico, la herramienta está dotada de sensores que permiten medir la longitud que se ha desplazado la herramienta por el interior del tubo, mediante odómetros (204), un sistema de radiofrecuencia integrado y autónomo (201) que permite la detección y ubicación de la herramienta en caso de atascamiento. Los odómetros (204) cuentan con sensores de efecto para cuantificar el número de revolución como se muestra en la figura 6.

La herramienta utiliza sensores de movimientos inerciales (501), memorias de almacenamiento y tarjetas que soportan la electrónica instalada, cuenta con un sistema de alimentación de energía por baterías (301) con duración mínima de 24 horas y con la posibilidad de ampliación por adición de módulos adicionales para inspeccionar longitudes de tubería de hasta 120 kilómetros.

Los sensores de movimientos inerciales (501) están acoplados a las tarjetas electrónicas (303) y se encargan de medir el comportamiento cinemático de la herramienta durante su recorrido por la tubería y se componen de unidades de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro con respuesta en cada uno de los tres ejes XYZ, estos datos son registrados en la tarjeta IMU de la herramienta.

Los componentes antes mencionados son administrados por un microprocesador, o procesador. Este elemento de administración se encarga de adquirir los datos recogidos por el grupo de sensores, agruparlos y escribirlos en los medios de almacenamiento. Cuenta además con su propia señal de sincronización y puertos de adquisición de datos.

La herramienta posee un algoritmo interno que le da la posibilidad de procesar los datos en línea, es decir, decidir los datos importantes que deben presentarse en campo y así determinar la ubicación lineal de las restricciones o de elementos

extraños detectados en la inspección. Este procesamiento hace que la descarga de datos se realice en menos de 1 hora después de la inspección.

Desde el punto de la especialidad de sistemas, se toma de la herramienta la información obtenida en memorias extraíbles para un análisis detallado de la tubería inspeccionada. Todos los datos descargados pueden ser visualizados a través de la interfaz gráfica diseñada para organizar y mostrar los datos en forma sencilla y de fácil entendimiento para el usuario. El soporte lógico (software) de procesamiento cuenta con los algoritmos descritos anteriormente para la detección de abolladuras eventos de interés captados en las tuberías, análisis y caracterización de los movimientos que se presenten en el recorrido.

El resultado de los algoritmos matemáticos de detección es la descripción de las restricciones encontradas, tales como: tamaño, posición angular y distancia con respecto a una referencia.

La siguiente tabla resume el diseño de la herramienta de acuerdo con la presente invención:

Tabla 1. Especificaciones técnicas

ITEM	
Diseño Modular	SI, conexión de módulos adicionales de baterías.
Máxima Temperatura	60° Celsius
Presión de diseño	2500 PSIG (17.24 MPa)
Presión de operación	2200 PSIG (15.17MPa)
Radio de curvatura	1 Diámetro respecto a la tubería a inspeccionar
Máxima Velocidad	6 m/s
Máxima reducción de Diámetro	20% respecto al diámetro

	interno de la tubería
Máximo tiempo de inspección	24 Horas (24 Baterías), Módulos adicionales según longitud de línea a inspeccionar
Capacidad de Almacenamiento	16 Gbits x 4 memorias
Mapeo inercial (XYZ))	SI
Transmisor radio frecuencia (RF) integrado	SI
Odometría externa	SI

La herramienta además contiene:

- ✓ Puntera (305): Este elemento es la primera parte de la herramienta, permite el desplazamiento y arrastre del equipo en el interior del tubo.
- 5 ✓ Cuerpo de platinas y tarjetas: Este cuerpo aloja la instrumentación y los discos metálicos de impactos o platinas (304) en metal blando para realizar la calibración de la línea; las platinas pueden ser de aluminio, cobre, bronce o combinaciones de los mismos, que permita registrar los impactos. La dureza de las platinas deber ser inferior a la dureza del acero al carbono para evitar alguna ralladura a la tubería en caso de impacto (especialmente en las curvas).
10 Las tarjetas electrónicas (303) alojan los procesadores y las unidades de sensores de movimientos inerciales (501). Este cuerpo metálico está diseñado para operar hasta 2200 psig (15.17 MPa) y temperaturas de hasta 140 °F (60°C), el cuerpo debe estar totalmente sellado.
- 15 ✓ Copas (202) y discos (203) que permiten el desplazamiento de la herramienta al realizar el sello necesario para ser impulsada por el fluido.
- ✓ Cuerpo de odometría (204). Este cuerpo contiene los odómetros que permiten registrar el desplazamiento de la herramienta por el interior del tubo.
- ✓ Cuerpo de sensor autónomo (201). Este cuerpo contiene:
20 a. El sensor autónomo, que permite el rastreo de la herramienta, el cual funciona son baterías independientes y tiempo de duración de hasta 48 horas.

b. El conector de carga y transmisión de datos que permite conectarse a un equipo de cómputo portátil para el manejo de la información.

c. Conector ON/OFF para el encendido y apagado de la herramienta.

✓ Cuerpo de Baterías (301). Este cuerpo aloja las baterías que dan energía al sistema de instrumentación. Está diseñado para operar hasta 2500 psi (17.24 MPa) y temperaturas de hasta 140 °F (60°C), el cuerpo debe estar totalmente sellado.

✓ Unión articulada o junta (302). Este elemento permite la conexión entre cuerpos metálicos, así como la rotación y giros de la herramienta, también permite el paso del cableado de instrumentos, energía y datos. La unión articulada contiene dos elementos de acople (401 y 402) llamados jokers que tienen un diseño mecánico específico para resistir impacto de una tonelada-fuerza y permiten maximizar los movimientos de la junta articulada. Estos elementos de acople (401 y 402) tienen un diseño para disminuir la cantidad material requerido y además facilitar su proceso de construcción, figura (4). En caso que la herramienta requiera contar con cuerpo metálicos adicionales se podrán usar juntas para conectar estos módulos.

✓ Sensor de presión (306), el cual registra el perfil de presión de la tubería durante el recorrido de la herramienta.

Sin embargo de acuerdo al tamaño de la tubería a inspeccionar, la herramienta podrá estar compuesta de un único módulo metálico que albergue todos los componentes electrónicos y mecánicos para el funcionamiento adecuado de la misma.

La presente invención también está dirigida al método para la inspección de tuberías por las cuales pueden transportarse sustancias gaseosas o líquidas, en donde el método comprende las etapas de.

a. Calibrar los dispositivos electrónicos de la herramienta mediante la inclinación de la herramienta 15° y realizar rotaciones de 90° en sentidos derecha e izquierda,

b. Dejar en reposo de 5 a 10 minutos;

c. entrampar (introducir) la herramienta en la tubería por medio del uso de la trampa de despacho de raspadores;

d. Dejar en reposo entre 5 a 10;

- e. Mapeo de la línea o ducto a analizar y monitoreo de la herramienta en tiempo real;
- f. Llegada de la herramienta al sistema de desentrampe;
- g. Dejar en reposo 5 a 10 minutos, para verificar la transmisión de datos y señales;
- h. Retirar la herramienta de la tubería.

La etapa a) del método de acuerdo con la presente invención se puede llevar a cabo a través de un banco de prueba que consiste en un tramo de tubería de diámetro y longitud determinada en el cual se conocen las imperfecciones tales como abolladuras, calajanes, etc y su ubicación. Este banco de pruebas es el patrón que sirve para la calibración, bien sea de los componentes electrónicos de la herramienta de manera independiente, al poder ser colocados en un cuerpo (703) como el mostrado en la figura 7 o la calibración de la herramienta *per se*.

Las pruebas a nivel banco se desarrollan en dos circuitos de prueba donde un cuerpo metálico (703) que contiene los elementos electrónicos de la herramienta, es instalado en dos patines con ruedas que se deslizan por la tubería como se muestra en la figura 7. Los patines (701 y 702) son los encargados de deslizar de forma controlada el cuerpo metálico (703) o en su defecto, la herramienta completa que contiene los sensores, tarjetas electrónicas, baterías y demás componentes.

Los circuitos de prueba de tubería constan de segmentos de tubería de 3 y 6 metros que contienen defectos de tubería característicos como soldaduras, deformaciones, abolladuras, varios tipos de curva, ascensos y descensos, los segmentos están conectados por medio de bridas lo cual permite el cambio de segmentos según el tipo de defecto a caracterizar. Estas pruebas permiten realizar el proceso de caracterización y la obtención de los datos en línea se logra por transmisión vía sistema de radiofrecuencia, como se muestra en la figura 6.

Una vez obtenido los datos se realiza la decodificación de estos. La decodificación de los datos obtenidos se realiza tal y como se indica en las especificaciones del sensor.

El sistema de patines (701 y 702) puede ser colocado en el cuerpo (703) que contiene los componentes electrónicos de la herramienta, o puede ser instalado

directamente en la herramienta en sus extremos para realizar la calibración de acuerdo con el método de la invención.

La etapa b) del método de acuerdo con la invención, que corresponde al mapeo de la tubería o línea a analizar, comienza con la sub-etapa de incorporar la herramienta activada y ya calibrada en el segmento a estudiar. El almacenamiento de la información captada por los sensores inerciales (501) y acelerómetros dentro de la tarjeta IMU se hace durante todo el mapeo de la línea o ducto a analizar y monitoreo de la herramienta en tiempo real. En una modalidad de la invención, esta tarjeta es extraíble y se puede sacar luego de haber utilizado la herramienta.

- 10 El procesamiento de la información (datos) se realiza mediante un conjunto de filtros y algoritmos matemáticos que permiten eliminar el ruido captado por la herramienta durante la inspección y obtiene los datos de aceleración y desaceleración de interés. Las variables y constantes aplicadas en las ecuaciones matemáticas que componen el sistema de filtros de datos son validadas y
- 15 ajustadas mediante pruebas experimentales a nivel de banco de pruebas en el paso a) de calibración y a través de pruebas en campo, con el objetivo de disminuir el error inherente al desplazamiento de la herramienta dentro de la tubería.

Una vez se cuenta con los datos decodificados se procede a realizar el proceso de filtrado, que consta de aplicar técnicas matemáticas con las cuales se elimina el ruido que produce el desplazamiento de la herramienta dentro de la tubería.

Eliminando el ruido se procede a caracterizar las principales restricciones a localizar, el banco de prueba contiene elementos como calajanes, abolladuras, curvas fuera de norma y demás restricciones al diámetro interior del ducto. Este procedimiento se realiza mediante la señal de los sensores al detectar uno de estos elementos, con este comportamiento se determina la magnitud de la señal y se obtiene la diferencia de cada una de las respectivas restricciones.

La información de desplazamiento filtrada sirve, además, como entrada al algoritmo de estimación de la distancia recorrida.

Para el desarrollo de una corrida de campo se realiza una calibración antes de dar inicio a la prueba. Esta calibración consiste en la obtención de datos en línea a través del sistema de radiofrecuencia, como se muestra en la figura 6. El procedimiento incluye inclinar la herramienta 15° y realizar rotaciones de 90° en

sentidos derecha e izquierda. Luego se realiza un reposo de 5 a 10 minutos para proceder a entrapar (introducir) la herramienta en la tubería por medio del uso de la trampa de despacho de raspadores. Una vez dentro de la tubería y posterior al llenado del sistema de entrampe se deja en reposo entre 5 a 10 minutos para luego
5 ser enviada la herramienta por la tubería, el objetivo de este tiempo de reposo es verificar la transmisión de datos por el sistema de radiofrecuencia en tiempo real, lo cual permite monitorear cada uno de los sensores de la herramienta.

En el recibo de la herramienta una vez llega esta al sistema de desentrampe se deja en reposo 5 a 10 minutos, para verificar la transmisión de datos y señales y
10 luego se procede a retirar la herramienta de la tubería.

Con la herramienta en un lugar seguro se procede a realizar la descarga de datos. Los algoritmos de administración de la herramienta son los encargados de la descarga, decodificación, filtrado, estimación de recorrido y caracterización de las principales restricciones.

15 Una vez descifrada las principales restricciones de la tubería y reconstruida la trayectoria seguida por la herramienta, se procede a geo-referenciar cada uno de estos elementos con su longitud y latitud usando datos de seguimiento tomados durante la prueba en campo. La información de eventos geo-referenciados conforma el informe de resultados.