(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 982 999**

(51) Int. Cl.:

G01N 27/82 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2014 PCT/GB2014/053080**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2015 WO15055995**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2014 E 14795853 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 3058360**

(54) Título: **Aparato y método de detección del estado de la tubería**

(30) Prioridad:

14.10.2013 GB 201318096

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.10.2024

(73) Titular/es:

ADVANCED ENGINEERING SOLUTIONS LTD. (100.0%)
South Nelson Road, South Nelson Industrial Estate
Cramlington, Northumberland NE23 9WF, GB

(72) Inventor/es:

WAYMAN, MALCOLM y
TREECE, RICHARD

(74) Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

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 del estado de la tubería

La invención a la que se refiere esta solicitud es la provisión de un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 y un método para detectar el estado de una pared de tubería y análisis y estimación de la vida útil de la tubería de acuerdo con la reivindicación 9.

Es conocido proporcionar aparatos que pueden utilizarse para evaluar la calidad, daño y/o riesgo de falla de tuberías que han estado en servicio durante un período de tiempo y, a partir de la información proporcionada por el aparato y el método, para luego evaluar si la tubería se encuentra en una condición potencialmente peligrosa o necesita realizar un mantenimiento específico y/o puede permitir que se planifique y realice un mantenimiento programado sobre la base de la información detectada. Por lo tanto, esto evita la necesidad de reemplazar completamente la tubería innecesariamente y/o garantiza que, si la tubería se encuentra en un estado de deterioro peligroso, esto se puede identificar con la tubería in situ y sin necesidad de excavar extensamente la tubería y repararla o reemplazarla.

Un aparato de detección conocido se conoce normalmente como "raspador", que se pasa a lo largo del interior de la tubería siendo transportado el aparato por el flujo del gas o líquido a medida que fluye a lo largo del interior de la tubería. A medida que el raspador pasa por el interior de la tubería, los resultados de los medios de detección montados en el aparato permiten realizar un estudio del estado de la tubería. Sin embargo, un problema es que este tipo de aparato no siempre es adecuado o compatible con líquidos o gases particulares que pasan a lo largo del interior de la tubería debido al temor de contaminación y/o riesgo de seguridad. Por lo tanto, el uso de raspadores ubicados internamente y en movimiento generalmente se considera poco práctico o potencialmente peligroso, puede afectar la calidad de algunos líquidos que pasan a lo largo de la tubería y además los resultados obtenidos de la misma pueden ser inferiores o no lo suficientemente precisos como para permitir que se realice un estudio confiable de la tubería.

También es conocido proporcionar aparatos que pueden desplazarse a lo largo de la superficie exterior de una tubería. Esta forma de aparato puede estar provista de medios que permitan su movimiento a lo largo del exterior de la tubería.

Se genera un flujo magnético que pasa al interior de la tubería. A medida que el aparato se mueve a lo largo de la tubería, se monitoriza el nivel del flujo magnético para garantizar que se detecte cualquier cambio en el flujo. Este cambio puede deberse a una "fuga" y es indicativo de grosores de pared de tubería reducidos. Como resultado, se indica y mapea la posible corrosión o daño a la pared de la tubería con respecto a la posición del aparato en la tubería.

Con muchos tipos de tuberías, esta forma de aparato puede ser satisfactoria porque el flujo magnético indica la posición de un defecto y una inspección posterior de la superficie externa de la tubería indica al usuario si el defecto está en la superficie externa de la tubería. Si el defecto es visible entonces se puede utilizar el flujo magnético para determinar la profundidad de la falla pero, si el defecto no es visible, entonces se supone que la falla está en la pared interior de la tubería y el cambio de flujo magnético puede utilizarse nuevamente para determinar el tamaño y la profundidad de la falla. Por lo tanto, este aparato está disponible para su uso cuando se puede utilizar una verificación visual de la tubería externa para determinar la posición del defecto indicado por un cambio de flujo magnético.

Sin embargo, con ciertos materiales, tal como por ejemplo hierro fundido, puede haber defectos en o cerca del exterior de la tubería que no son visibles y, por lo tanto, no se pueden utilizar los aparatos convencionales, ya que una verificación visual de la superficie externa no garantiza identificar si existe o no un defecto externo o interno. Para superar este problema, se sabe proporcionar aparatos que incluyen tanto sensores de efecto Hall como sensores de proximidad para permitir detectar tanto el flujo magnético como el cambio en la condición de la pared de la tubería. La solicitud en tramitación del solicitante EP1262771 describe una forma de dicho aparato.

En la práctica, se ha descubierto que es deseable poder identificar y optimizar el tamaño de los defectos de las paredes de las tuberías, recopilando más datos de la pared de la tubería y relacionados con ella, lo que, a su vez, permite utilizar algoritmos y software más avanzados para generar posteriormente la identificación de defectos y el dimensionamiento de las tuberías.

Se ha descubierto que los aparatos convencionales tienen limitaciones en términos de detección de defectos particularmente, aunque no exclusivamente, cuando se utilizan en paredes gruesas de tuberías de hierro gris. También se ha descubierto que el aparato existente tiene problemas a la hora de poder identificar la amplitud de los defectos que se detectan. También se sabe que en ciertos casos los bordes de defectos grandes pueden confundirse y considerarse, incorrectamente, como pequeños defectos en las paredes de la tubería.

Un problema adicional es que la saturación magnética de la pared de la tubería que se prefiere lograr para permitir una medición precisa, no siempre se puede lograr, especialmente cuando la tubería que se está verificando tiene un diámetro relativamente grande. Si no se logra la saturación magnética total, esto puede afectar negativamente a la precisión del dimensionamiento del defecto que se realiza.

Otro problema que puede surgir es la manera en que se utilizan los datos obtenidos para poder predecir de forma fiable la vida útil estimada de la tubería que se ha comprobado.

El documento EP0193168 divulga un método para medir la carburación y la profundidad de la carburación en un miembro y utiliza una sonda con un imán y un elemento Hall.

El documento CN102192953 divulga un aparato de NDT que comprende una pluralidad de arreglos de sensores triaxiales para ubicar defectos dentro de una tubería.

El documento EP1262771 divulga un aparato de NDT que comprende una pluralidad de sensores dispuestos radialmente alrededor de una tubería, una pista para mover el aparato y un sensor de proximidad.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 9 lo que permite una detección mejorada de la condición de la pared de la tubería en términos de precisión de detección y la provisión de un estudio más preciso de la condición de la pared de la tubería.

En una realización, los sensores en cada arreglo están ubicados para proporcionar mediciones con respecto al eje longitudinal, circunferencial y radialmente respectivamente con respecto a la tubería.

En una realización, los sensores utilizados en los arreglos son sensores de efecto Hall que son transductores que varían su voltaje de salida en respuesta al campo o flujo magnético detectado.

En una realización, el aparato incluye un sensor para proporcionar una indicación del nivel de saturación magnética de la pared de la tubería. Normalmente, este sensor está ubicado delante de los arreglos de sensores con respecto a la dirección de movimiento del cuerpo a lo largo de la tubería o pista en la que está montado el cuerpo. El propósito de este sensor es determinar si la pared de la tubería está saturada magnéticamente o no y/o indicar cuando no está saturada magnéticamente.

En una realización, este sensor es un sensor de campo magnético Gaussímetro.

En una realización adicional, el aparato incluye medios para medir y/o monitorizar la distancia entre la parte inferior del cuerpo del aparato y la superficie de la pared de la tubería a lo largo de la pared de la tubería en la que se mueve el cuerpo.

La provisión de medios de medición de distancia permite tener en cuenta los efectos de la rugosidad y/o corrosión de la superficie de la pared de la tubería, ya que estos pueden introducir variaciones en la distancia y, por lo tanto, en la brecha de aire entre la parte inferior del cuerpo y la superficie de la pared de la tubería que, a su vez, puede introducir ruido de señal en las salidas de la herramienta de inspección y errores en el dimensionamiento de los defectos detectados.

En una realización, los medios de medición de distancia incluyen una rueda que hace contacto con la pared de la tubería, una caja de engranajes conectada a la rueda y un potenciómetro.

En una realización, el aparato está previsto para moverse alrededor y/o a lo largo de una longitud de tubería con cambios en el flujo magnético y los medios de detección siendo monitorizados a medida que el aparato se mueve a lo largo de la tubería.

Normalmente, la pista y el aparato se pueden posicionar selectivamente en la tubería. La pista puede estar provista de una o más ruedas para permitir que la pista sea transportable junto con el aparato montado en ella.

En una realización, la pista se puede posicionar en ubicaciones seleccionadas alrededor de la circunferencia de la longitud de la tubería para permitir que se complete el estudio de la tubería para una porción de la tubería previamente identificada.

En una realización el cuerpo del aparato está provisto a una distancia espaciada de la pared de la tubería sobre la cual se proporciona el mismo para moverse y el cuerpo está provisto de una pluralidad de miembros que se extienden desde la parte inferior del cuerpo hasta la superficie externa de la tubería. Normalmente, dichos miembros se proporcionan en forma de cerdas que son flexibles a lo largo de su eje longitudinal.

Normalmente, las cerdas se proporcionan para que sean suficientemente flexibles para permitir que el mismo se doble hacia abajo sobre la pared de la tubería en al menos una dirección para permitir que el cuerpo se mueva a lo largo de la tubería en al menos una dirección y las cerdas puedan luego mantenerse en contacto con la tubería.

Normalmente, los miembros alargados se proporcionan para "cerrar" efectivamente la brecha de aire y, por lo tanto, aumentar la capacidad de aumentar los niveles de flujo magnético logrados por el aparato y, por lo tanto, aumentar la posibilidad de lograr la saturación magnética de paredes de tubería aún más gruesas y/o más grandes. Esto, a su vez, permite aumentar la precisión de los datos obtenidos.

En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un método para el análisis y detección de cambios en la condición de al menos una porción de la pared de una tubería de acuerdo con la reivindicación 9.

En una realización, el método incluye recuperar datos de medios de detección de modo que los cambios en la estructura del material en o cerca de la superficie externa puedan diferenciarse de los cambios en la condición en la superficie interna de la tubería y por lo tanto se proporciona una indicación precisa de la ubicación del cambio en la condición del material de la tubería. Además, el grado de cambio en el sensor de proximidad y también el grado de cambio del flujo magnético se pueden utilizar para determinar el tamaño y la profundidad del cambio en la condición.

En una realización, la tubería está hecha de hierro fundido y el sensor de proximidad indica la existencia de áreas de grafito en lugar de material de hierro fundido sobre o cerca de la superficie externa de la tubería que de otro modo no serían detectables.

Con el tiempo, el método incluye el paso de construir un historial de fallas y defectos que están representados por cambios de flujo magnético y/o cambios de sensor de proximidad particulares detectados y, en el análisis posterior de nuevas muestras de ductos se hace referencia a los datos históricos para llegar a una conclusión sobre el tipo y efecto del cambio de condición que representan las lecturas detectadas.

En una realización, las lecturas ultrasónicas se realizan en un número de ubicaciones en la pared de la tubería para permitir que se retiren los valores atípicos del grosor de la pared y que se utilicen patrones de grosor de pared locales en los algoritmos de dimensionamiento de defectos aplicados a las salidas de la herramienta magnética.

Normalmente, los datos generados a partir de los arreglos de sensores se procesan mediante medios de procesamiento que utilizan algoritmos para determinar las características de la tubería que están representadas por los datos proporcionados por los sensores.

El uso de arreglos de sensores, tal como el arreglo de sensores triaxiales, mejora la precisión de la inspección de la tubería que se logra y, en particular, mejora la capacidad de inspección en relación con tuberías de paredes relativamente gruesas y aún más cuando se investiga la corrosión en la cara de la pared interior de la tubería.

En una realización, se identifican las fallas que se han detectado como fallas ubicadas internamente y que se consideran fuera del patrón estadístico esperado y se proporciona un escáner ultrasónico para ubicar estas fallas. A partir del escaneo generado a partir de los datos del escáner ultrasónico se puede identificar si el defecto se encuentra en la superficie de la pared interna de la tubería o si de hecho se encuentra dentro de la pared de la tubería y que, por lo tanto, es indicativo de una falla en forma de vacío o inclusión de escoria y luego se puede evaluar con precisión.

Realizaciones específicas de la invención con referencia a las figuras adjuntas; en donde

Las figuras 1a y b ilustran el aparato de la invención ubicado en una tubería para inspeccionarla;

La figura 2 ilustra el aparato de las figuras 1a y b con mayor detalle y en sección;

Las figuras 3 y 4 ilustran la información que se recibe desde un arreglo de sensores según una realización de la invención;

La figura 5 ilustra el arreglo de sensores que proporciona la información ilustrada en las figuras 3 y 4;

La figura 6 ilustra un trazado de escaneo que se puede lograr utilizando los arreglos de sensores según una realización de la invención; y

La figura 7 indica la estimación de la vida útil de la tubería calculada según una realización de la invención.

La invención está relacionada con la provisión de aparatos y un método para permitir que la detección de cambios en la condición de la pared de una tubería se determine con precisión y permitir que se proporcionen datos que permitan lograr el análisis preciso continuo de la condición de la pared de la tubería. Esto puede ser difícil de conseguir, especialmente con tuberías de hierro fundido y aún más con tuberías que tienen paredes relativamente gruesas.

El material de hierro fundido tiene un número de inclusiones no metálicas que pueden enmascarar señales de defectos más pequeñas y, por lo tanto, dificultan la detección precisa y confiable de defectos, y la metalurgia de estas tuberías puede variar entre tuberías y en todo el grosor de la sección de la tubería. Las inclusiones y huecos internos no metálicos pueden identificarse potencialmente como defectos internos y, por tanto, se apreciará que la detección precisa de defectos ha sido convencionalmente un problema importante. Además, las tuberías de paredes gruesas son más difíciles de saturar completamente magnéticamente y esto puede dar como resultado una repetibilidad reducida en el tamaño de los defectos y el grosor de la pared en sí puede variar significativamente en piezas fundidas de paredes gruesas debido a las grandes irregularidades de la superficie y a las tuberías fundidas excéntricamente. Además, las diferencias en las condiciones de la superficie, incluidas áreas relativamente grandes de corrosión superficial, pueden influir en los resultados de las herramientas de inspección y los algoritmos de dimensionamiento, y la corrosión en la cara exterior de la tubería puede aumentar la brecha de aire entre los cabezales de inspección y la pared de la tubería en el circuito magnético.

Es conocido poder utilizar técnicas matemáticas para procesar datos de aparatos de detección con el fin de intentar permitir que se proporcione un estudio lo más preciso posible del estado de la pared de la tubería. Sin embargo, en cada caso, lo mismo depende de la precisión de los datos de detección iniciales y, por lo tanto, el aparato y método como se describe ahora tiene como objetivo tratar de identificar los medios para proporcionar datos más precisos que puedan procesarse posteriormente.

La figura 1b ilustra de manera esquemática una longitud de tubería 4 con la provisión del aparato 2 según la invención. El alzado final de la figura 1a muestra el aparato 2 dispuesto en su ubicación con respecto a parte de la tubería 4 y el aparato está previsto para permitir un estudio del estado de al menos una porción de la pared de la tubería que se va a lograr. El aparato está provisto de un cuerpo 6 que está ubicado sobre una pista o marco 8 que está ubicado con la tubería de forma fija. Luego se proporciona el cuerpo 6 para que pueda deslizarse a lo largo de la pista o marco, en este caso hacia el observador de la figura 1a, y normalmente a lo largo del eje longitudinal de la pista 8 como lo indica la flecha 10 en las figuras 1b y 2 para permitir que se realice el estudio.

La figura 2 ilustra el cuerpo 6 del aparato con más detalle según la invención. El cuerpo está provisto de correderas 12 que incluyen una pluralidad de rodillos 14 que se enganchan con dicha pista o marco 8 (no mostrado en la figura 2) y que permiten que el cuerpo se mueva a lo largo del mismo en la dirección 10.

Se proporciona una brecha 18 de aire entre la parte inferior del cuerpo 6 y la cara 22 externa de la tubería 4. Se ha descubierto que esta brecha de aire puede significar que no se logra la saturación magnética a través de la profundidad de la pared de la tubería y esto puede introducir errores cuando se utilizan algoritmos de dimensionamiento de defectos utilizando los datos del aparato. Cuando no se logra la saturación, realizar escaneos de calibración en tuberías del mismo grosor de pared con defectos mecanizados puede mejorar la precisión del tamaño y, dado que los datos de inspección se conservan después de informar, esto se puede llevar a cabo retrospectivamente. Sin embargo, para mejorar aún más la inspección a medida que se produce, el cuerpo 6, como se muestra en la figura 2, está provisto de un medio 21 sensor montado antes del mismo con respecto a la dirección del movimiento 10. Este medio de detección, normalmente un gaussímetro, detecta si la pared de la tubería está saturada o no y monitoriza lo mismo a medida que el cuerpo se mueve a lo largo de la pared de la tubería.

La provisión del sensor 21 adicional para medir la saturación del flujo magnético de la pared de la tubería permite utilizar un bucle de retroalimentación para optimizar la corriente de la bobina electromagnética requerida, con base en el control del nivel del flujo acoplado por aire que corre paralelo a la pared de la tubería. El sensor 21 está montado en una cubierta no ferrosa directamente delante del cabezal 23 de inspección y en la orientación adecuada para medir el flujo acoplado de aire que corre paralelo a la pared de la tubería.

Además, y no se muestra, se puede proporcionar una serie de miembros alargados en forma de cerdas que penden hacia afuera del cuerpo de la herramienta y hacia la cara externa de la pared 22 de la tubería para hacer contacto con la misma. La inclusión de las cerdas elimina las brechas de aire entre los polos magnéticos de los medios inductores de flujo en el cuerpo y por lo tanto permite lograr una mayor saturación de la pared de la tubería y por lo tanto mejora la saturación a través de la porción de la pared de la tubería que se está inspeccionando.

El aparato mostrado en la figura 2 proporciona dos zapatas 24, 26 para inducir el campo magnético desde una de las zapatas 24 hacia la pared de la tubería y luego de regreso a través de la zapata 26. Normalmente, las zapatas están conectadas a electroimanes proporcionados en el aparato que permiten que se induzca el campo magnético y, normalmente, las dimensiones de las zapatas son tal como que tienen sustancialmente el mismo ancho que los electroimanes para reducir la influencia del flujo de aire.

También es necesario permitir que se cambien las zapatas para permitir que el aparato se adapte para su uso con tuberías de diferentes diámetros y/o para permitir que los sensores se retiren y reemplacen según sea necesario. Para adaptarse a esto y permitir que el cambio se realice relativamente rápido, el aparato, en una realización, se proporciona en conexión con el marco 8 a lo largo del cual se desplaza el mismo y el marco puede simplemente girarse y obtener acceso para reemplazar las zapatas y/o sensores según sea necesario. Esto evita la necesidad convencional de tener que desmontar sustancialmente el aparato para realizar los cambios y/o realizar el mantenimiento general.

En la figura 5 se ilustran dos arreglos 30, 30' de sensores que están dispuestos dentro del cuerpo 6 y en el cabezal 23 de inspección. Los sensores proporcionados en cada arreglo suelen ser sensores de efecto Hall, que permiten la detección del flujo magnético en la pared de la tubería que subyace al cabezal 23 de inspección y detecta cambios en el mismo para permitir que los datos se utilicen para indicar la presencia de defectos en la pared de la tubería. Según la invención, cada arreglo 30 de sensores incluye tres sensores Hall, 32,34,36 como se muestra en la figura 5. Se verá que los respectivos ejes 38, 40, 42 longitudinales de cada uno de los sensores están dispuestos con un desplazamiento de 90 grados con respecto a los otros sensores en el arreglo y esto permite recibir un arreglo tridimensional de señales de datos desde la combinación de sensores en cada arreglo de sensores.

Las señales de datos tridimensionales que se reciben de los sensores en cada arreglo se ilustran en la figura 3. La figura 3a indica el trazado obtenido a partir de los datos de un sensor en el arreglo a lo largo de la tubería en la dirección de la flecha 39, la figura 3b indica el trazado circunferencial obtenido a partir de los datos del arreglo de sensores en la dirección de la flecha 41 y la figura 3c indica el trazado transversal obtenido a partir de los datos del

arreglo de sensores en la dirección de la flecha 43, todo con respecto a la tubería que se está analizando y cuya longitud se extiende paralela a la flecha 39.

En la figura 4 se ilustran en el lado derecho los trazados gráficos recibidos del arreglo 30 de sensores según la invención y en el lado izquierdo, un solo trazado gráfico que recibiría de un convencional, un solo aparato que contiene un sensor de efecto Hall y así se ve al proporcionar el arreglo de sensores triaxiales de la presente invención de modo que se puede proporcionar un nivel de detalle significativamente mayor y por lo tanto una granularidad más fina de análisis y detección de los defectos en la tubería. Cada arreglo 30 de sensores, en esta realización, proporciona tres salidas de señal que, cuando se detecta que existe un defecto en la pared de la tubería debido a cambios en el flujo magnético detectado, luego, también permita que se identifique la longitud, el ancho y la altura del defecto a partir de las tres lecturas de datos axiales diferentes obtenidas de los sensores en el arreglo. Como los sensores de cada arreglo están ubicados cerca, cada sensor del arreglo pasará en el mismo plano a través del "bulto" de flujo magnético que se crea cuando hay un defecto en la pared de la tubería, y así los sensores proporcionan datos que se relacionan con la longitud, el ancho y la altura del "bulto" respectivamente. Luego se puede utilizar el software de análisis para tener en cuenta el ligero desplazamiento longitudinal de las posiciones de los tres sensores en el arreglo y cualquier efecto que esto tenga en la lectura de los sensores respectivos.

La provisión de arreglos de sensores según la invención mejora en gran medida la identificación de defectos y la posterior precisión de los procesos de dimensionamiento de defectos. La disposición en cada arreglo de sensores instalados en diferentes ángulos con respecto al flujo magnético y, en particular, a las condiciones de flujo cuando hay un defecto presente en la pared de la tubería, proporciona un mayor nivel de información sobre los patrones de fuga de flujo magnético. Un ejemplo de esto se ilustra en el trazado ilustrado en la figura 6 que se relaciona y se identifica como un defecto relativamente largo y estrecho en la pared de la tubería según la invención.

Así, la provisión de los arreglos de sensores proporciona una mejora en las señales obtenidas como resultado del flujo desplazado resultante de defectos en las paredes de la tubería al permitir la medición de profundidad, ancho y largo y esto, en arreglo con los sensores de proximidad, que permiten identificar si el defecto identificado está en la superficie interna o externa de la pared de la tubería proporciona una mejora significativa en la precisión de los datos que se obtienen. El sensor 44 de proximidad se muestra en la figura 5 y esto permite determinar si el defecto detectado por el arreglo 30 de sensores está ubicado en el exterior o en el interior de la pared de la tubería, ya que si el sensor de proximidad cambia, entonces se considera que el defecto está en la superficie externa de la pared de la tubería y si el arreglo de sensores identifica el defecto como presente pero la condición del sensor de proximidad no cambia, entonces se determina que el defecto es interno o en la cara interna de la pared de la tubería. En cualquier caso, los datos de los sensores del arreglo de sensores se pueden utilizar para determinar la longitud, anchura y profundidad del defecto.

En una realización existe la posibilidad de que se pueda indicar que una falla en la pared de la tubería que se detecta está ubicada en la superficie interior de la pared, cuando en realidad la falla está realmente dentro de la pared. Es más probable que esto ocurra cuando el aparato se utiliza para la detección de fallas en tuberías de paredes relativamente gruesas. En este caso, una vez que se ha realizado el análisis utilizando el aparato como se describe en este documento, se identifican las fallas que se han detectado y que se consideran fuera del patrón estadístico esperado y se proporciona un escáner ultrasónico para la ubicación de estas fallas. A partir del escaneo generado a partir de los datos del escáner ultrasónico se puede identificar si la falla se encuentra en la superficie de la pared interna de la tubería o, de hecho, se encuentra dentro de la pared de la tubería y que por lo tanto es indicativo de una falla en forma de vacío o inclusión de escoria y la misma puede entonces evaluarse con precisión.

En una realización, cuando el aparato se va a utilizar en análisis de tuberías relativamente peligrosas, tales como tuberías utilizadas para transportar gas, la seguridad eléctrica es primordial. En este caso, el aparato se proporciona de tal manera que no hay conectores eléctricos montados directamente en el cuerpo de la herramienta y en su lugar se puede proporcionar una toma al final de la pista del aparato con la que se puede conectar y bloquear en su posición un conector conectado al suministro de potencia. Esto permite que el cable se suministre al cuerpo según sea necesario pero sin conexiones eléctricas proporcionadas en el cuerpo. Además, el propio cuerpo puede estar provisto de una cavidad en la que se sitúa el aparato electrónico de procesamiento y control y dicha cavidad se purga con un gas tal como hidrógeno y mantenido con hidrógeno en su interior para evitar el riesgo de que se produzcan chispas u otra combustión y, por lo tanto, permitir que el aparato se utilice en entornos peligrosos.

Con respecto al análisis de los datos que se han obtenido utilizando el aparato, los mismos pueden utilizarse para determinar una estimación de la vida útil probable de la tubería que ha sido monitorizada. Se puede considerar que la falla ocurre cuando la corrosión ha avanzado hasta tal punto que el grosor promedio de la pared restante en una sección de tubería se ha reducido a la profundidad de grosor crítica tc. Luego, el proceso de corrosión de la tubería se puede modelar como una distribución de valores extremos, con base en pozos o fallas observadas en una longitud de 1 metro. Luego, el usuario puede seleccionar modelar las tasas de crecimiento de la profundidad del pozo como una ley de potencia, digamos proporcional al tiempo^0.5, y también se pueden modelar las tasas de crecimiento del ancho del pozo, y se puede aplicar una tasa lineal directamente proporcional al tiempo. Cuando se ha ajustado un modelo de distribución a los datos, se puede aplicar para calcular el número total de pozos de cada profundidad dentro de un área de interés, digamos de 1 metro de longitud.

Utilizando la ecuación:

$$i_t = M \times \left| \frac{(d - \xi_1)}{\left(\frac{\alpha_a t^b}{k} \right)} \right|^{1/k}$$

Se puede estimar el ancho y el volumen de todos estos pozos y derivar el volumen total de material perdido por corrosión. Este volumen, aplicado sobre el área de 1 metro de longitud, proporciona una estimación de la pérdida neta de grosor de la pared. Este cálculo se puede aplicar en ocasiones en el futuro para estimar el probable aumento en el tamaño del pozo y el volumen total corroído. Al final se pierde tanto material que se predice que el grosor medio de la pared de 1 metro de longitud alcanzará el grosor de pared crítico en todas partes.

La siguiente tabla muestra un modelo generado utilizando datos obtenidos de la monitorización de la longitud de una tubería y el modelo incorpora una tasa de corrosión en profundidad, tiempo ^ 0,5 y una tasa de corrosión en ancho que es lineal con el tiempo.

Edad de la tubería en la que se evaluará la corrosión total del pozo	profundidades del pozo a contar	recuento estimado de pozos en cada profundidad	Número aproximado de pozos de esta profundidad	Radio estimado de pozos, con base en la tasa de corrosión lineal con el tiempo	volumen estimado de cada pozo supuesto cónico (1/3 pi r^2 h) mm^3	volumen total de pozos de esa profundidad
40	1	400.0	88.5	6	42	3707
	1.5	311.5	68.9	9	141	9745
	2	242.6	53.7	13	335	17991
	2.5	188.9	41.8	16	654	27368
	3	147.1	32.6	19	1131	36831
	3.5	114.5	25.4	22	1796	45546
	4	89.2	19.7	25	2681	52942
	4.5	69.4	15.4	28	3817	58696
	5	54.0	12.0	32	5236	62690
	5.5	42.1	9.3	35	6969	64963
	6	32.7	7.3	38	9048	65659
	6.5	25.5	5.6	41	11503	64986
	7	19.8	4.4	44	14368	63180
	7.5	15.4	3.4	47	17671	60486
	8	12.0	2.7	51	21447	57134
	8.5	9.3	2.1	54	25724	53334
	9	7.3	1.6	57	30536	49269
	9.5	5.7	1.3	60	35914	45091

	10	4.4	1.0	63	41888	40923
	10.5	3.4	0.8	66	48490	36860
	11	2.7	0.6	70	55753	32973
	11.5	2.1	0.5	73	63706	29311
	12	1.6	0.4	76	72382	25907
	12.5	1.3	0.3	79	81812	22778
	13	1.0	1.0	82	92028	89611
	13.5	0.8	0.8	85	103060	78035
	14	0.6	0.6	89	114940	67671
	14.5	0.5	0.5	92	127701	58456
	15	0.4	0.4	95	141372	50312
	15.5	0.3	0.3	98	155985	43156
	16	0.2	0.2	101	171573	36900
	16.5	0.2	0.2	104	188166	31456
3 mm del volumen de todos los pozos en 1 metro de longitud mm^3						1483967.49
Área de superficie de tubería de 1 metro de largo, mm^2						1570796.33
Pérdida efectiva de superficie de la pared, mm						0.94

Los cálculos pueden repetirse en ocasiones en el futuro, dando los resultados indicados en la figura 7. En los resultados que se muestran en la figura 7 y en la tabla sobre la pared de la tubería es de aproximadamente 16 mm y aproximadamente 10 mm, por lo que una pérdida promedio de la pared de 6 mm indicaría una falla en 2035. En resumen, la falla se puede predecir con base en la integración de toda la corrosión por pozo prevista en una longitud de 1 metro. La extrapolación a longitudes más largas dará prácticamente el mismo resultado, porque estamos ante un proceso más relacionado con la condición "promedio" del activo, estimando la llegada a un estado en el que toda el área de la tubería está sustancialmente degradada. También se debe señalar que si bien el valor promedio no cambia a medida que se analizan más muestras, la estimación del promedio mejora, mientras que la probabilidad de que ocurra un único valor profundo aumenta a medida que se considera más superficie.

Por lo tanto, según la invención se proporciona un aparato que puede utilizarse para proporcionar una detección precisa de defectos en las paredes de la tubería sin la necesidad de colocar el aparato dentro de la tubería.

REIVINDICACIONES

1. Sistema que comprende un aparato (2) y una pista (8) para el análisis del estado de al menos parte de una pared de tubería (4),

incluyendo dicho aparato un cuerpo (6) que tiene un eje longitudinal sustancialmente paralelo a la pista que define la dirección de inspección; la pista (8) está configurada para ser montada en una superficie (22) externa de la tubería y

el cuerpo (6) del aparato está configurado para montarse y moverse sobre la pista (8), medios para inducir un flujo magnético dentro y a través de, la pared de la tubería adyacente a la ubicación del aparato, incluyendo dicho aparato (2) una primera zapata (24) para inducir un flujo magnético en una brecha (18) de aire entre una parte inferior del cuerpo y la superficie externa de la tubería, y al menos parcialmente a través, de la pared de la tubería adyacente a una ubicación del aparato y luego de regreso a través de la brecha (18) de aire entre la parte inferior del cuerpo y una segunda zapata (26) del aparato (2), espaciados de la primera zapata, y medios de procesamiento para proporcionar datos relacionados con el flujo magnético y dichos medios de procesamiento incluyen un segundo arreglo (30; 30') de sensores, cada uno de los cuales incluye tres sensores (32, 34, 36) configurados en un arreglo de sensores triaxial configurados con sus respectivos ejes desplazados 90 grados entre sí para detectar variación en dicho flujo magnético a lo largo de dichos al menos tres ejes con respecto a la pared de la tubería (4) para proporcionar datos representativos del estado de la pared de la tubería y se proporciona al menos un sensor (44) de proximidad que se utiliza para detectar y determinar un cambio en la condición de la tubería en, o cerca de la superficie externa de la tubería y en donde

dichos al menos primer y segundo arreglos (30, 30') de sensores triaxiales están dentro del cuerpo (6) y espaciados a lo largo de un eje perpendicular a dicho eje longitudinal de dicho cuerpo (6) y dichos sensores en cada arreglo de sensores triaxiales están espaciados a lo largo de ejes respectivos que son sustancialmente paralelos a dicho eje longitudinal de dicho cuerpo (6) y los medios de procesamiento están adaptados para recibir datos de dichos sensores (32,34,36) para su análisis, y los cambios en los datos se utilizan para proporcionar información que muestra los componentes de longitud, anchura y altura de un defecto detectado en la pared de la tubería que ha provocado una variación detectada en el flujo magnético.

2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque dichos sensores (32,34,36) en cada arreglo (30; 30') de sensores triaxiales proporcionan mediciones con respecto al eje longitudinal de la tubería, circunferencial y radialmente respectivamente con respecto a la tubería (4).

3. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los sensores (32,34,36) de dichos arreglos (30; 30') de sensores triaxiales son sensores de efecto Hall.

4. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el aparato incluye un sensor (21) adaptado para proporcionar una indicación del nivel de saturación de flujo magnético de la pared de la tubería.

5. Aparato de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque dicho sensor es un sensor de campo magnético Gaussímetro.

6. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque el aparato incluye medios adaptados para medir y monitorizar la distancia entre la parte inferior del cuerpo (6) del aparato y una superficie externa de la pared de la tubería y detectar variaciones en la distancia y la brecha de aire entre la parte inferior del cuerpo y la pared de la tubería.

7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque los medios de medición de distancia incluyen una rueda que hace contacto con la pared de la tubería, una caja de engranajes conectada a la rueda y un potenciómetro.

8. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la pista está provista de una o más ruedas para permitir que la pista sea transportable junto con la carrocería montada en la misma.

9. Un método para el análisis y detección de cambios en la condición de al menos una porción de la pared de una tubería (4), dicho método comprende los pasos de posicionar una pista (8) sobre la superficie externa de la pared de la tubería, montar un cuerpo (6) del aparato (2) que contiene un inductor de flujo magnético que comprende una primera zapata (24) y una segunda zapata (26) y medios (30, 30') de detección ubicados dentro del cuerpo (6) en dicha pista y moviendo dicho cuerpo a lo largo de dicha pista para mover el cuerpo a lo largo y/o alrededor de una porción de dicha tubería, e inducir un flujo magnético desde dicha primera zapata y hacia una brecha (18) de aire entre una parte inferior del cuerpo y la superficie externa de la tubería, y al menos parcialmente a través de, la pared de la tubería adyacente a una ubicación del aparato y luego de regreso a través de la brecha (18) de aire entre la parte inferior del cuerpo y una segunda zapata (26) del cuerpo, espaciado de la primera zapata, monitorizando las lecturas de los medios (30; 30') de detección de flujo magnético,

identificando cambios en el flujo magnético a partir de los datos recibidos de los medios (30, 30') de detección para identificar un cambio en la condición de la pared de la tubería y proporcionar al menos un sensor (44) de proximidad

para detectar y determinar un cambio en la condición de la tubería en, o cerca de la superficie externa de la tubería y en donde

dichos medios (30, 30') de detección incluyen cada uno al menos tres sensores (32,34,36) montados en un arreglo triaxial configurado con sus respectivos ejes desplazados 90 grados entre sí para detectar la variación en el flujo magnético y espaciados a lo largo de un eje perpendicular a un eje longitudinal de dicho cuerpo (6) y dichos sensores en cada arreglo de sensores triaxiales están espaciados a lo largo de ejes respectivos que son sustancialmente paralelos a dicho eje longitudinal de dicho cuerpo (6), siendo el eje longitudinal de dicho cuerpo (6) sustancialmente paralelo a dicha pista (8), y los datos de dichos sensores (32,34,36) se pasan a medios de procesamiento de datos para su análisis, y los cambios en los datos de dichos arreglos (30) de sensores triaxiales se utilizan para proporcionar información que muestra los componentes de longitud, anchura y altura de un defecto detectado en la pared de la tubería que ha provocado la variación detectada en el flujo magnético.

10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9 caracterizado porque el sensor (44) de proximidad se utiliza para monitorizar el cambio en la condición de la superficie externa de la tubería (4), de modo que los cambios en la estructura del material en o cerca de la superficie externa puedan diferenciarse de los cambios en la condición en la superficie interna de la tubería.

11. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-10, caracterizado porque se construye un historial de fallas y defectos que están representados por cambios de flujo magnético detectados particulares y/o cambios de sensor de proximidad y, en el análisis posterior de nuevas muestras de tuberías, se hace referencia a los datos históricos para llegar a una conclusión sobre el tipo y efecto del cambio de condición que representan las lecturas detectadas.

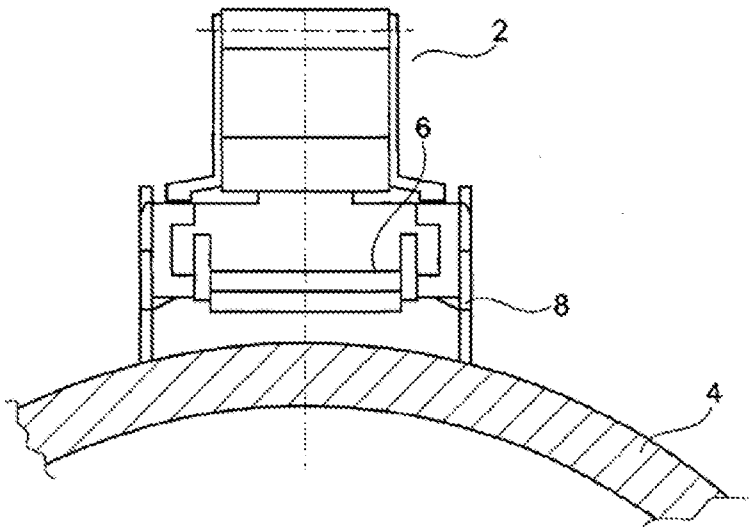


Fig. 1a

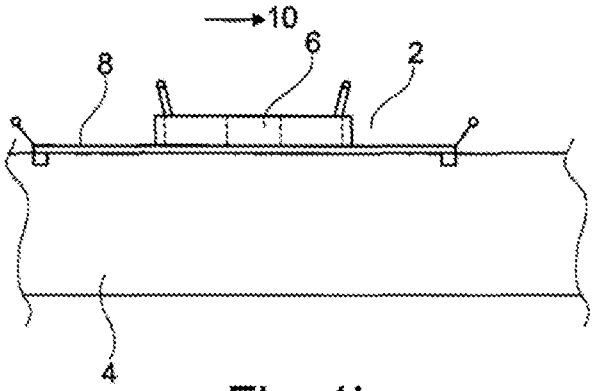


Fig. 1b

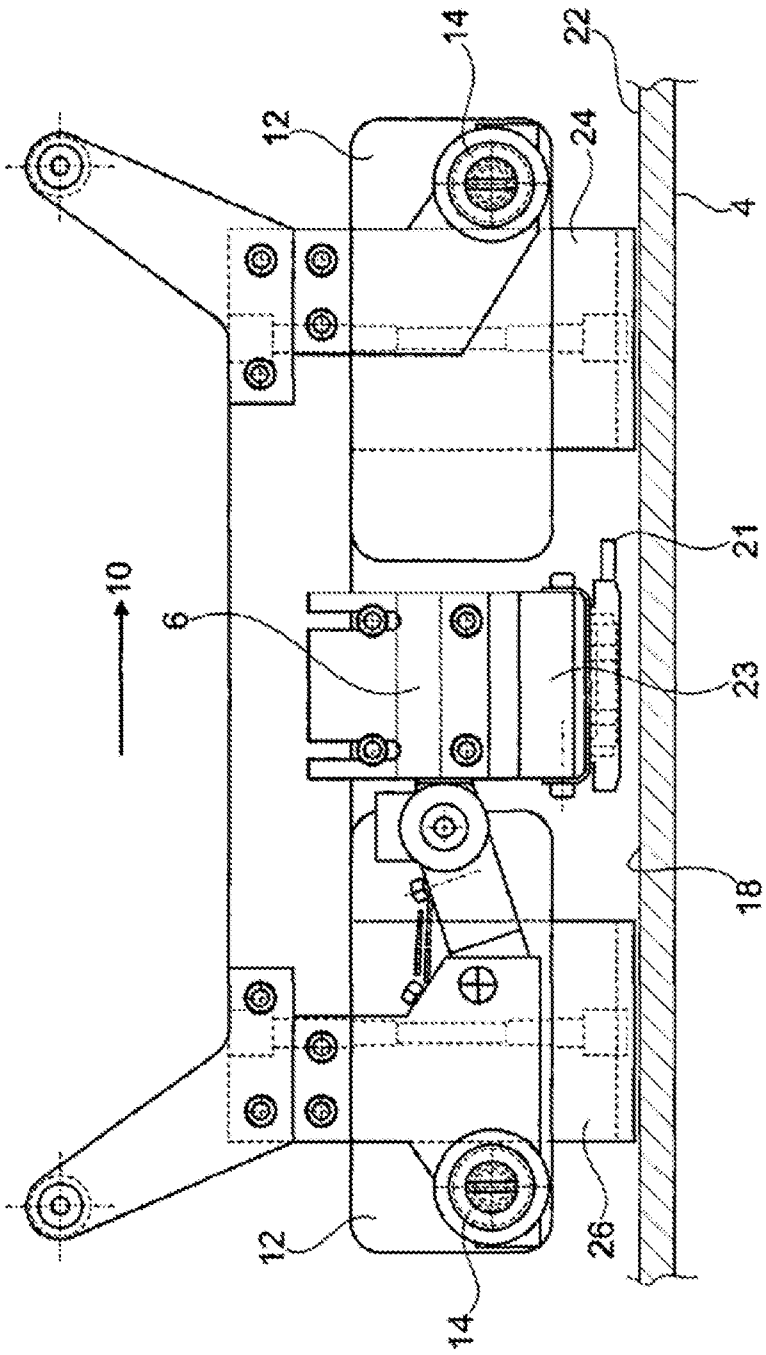


Fig. 2

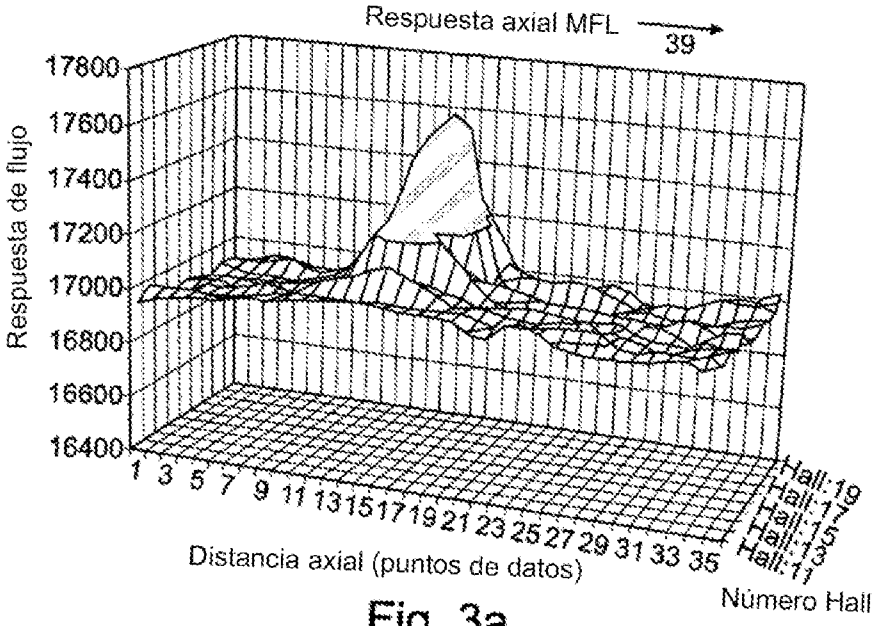

Respuesta axial MFL
39
17800
17600
17400
17200
17000
16800
16600
16400
Respuesta de flujo
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35
Distancia axial (puntos de datos)
Hall:19
Hall:17
Hall:15
Hall:13
Hall:11
Número Hall

Fig. 3a

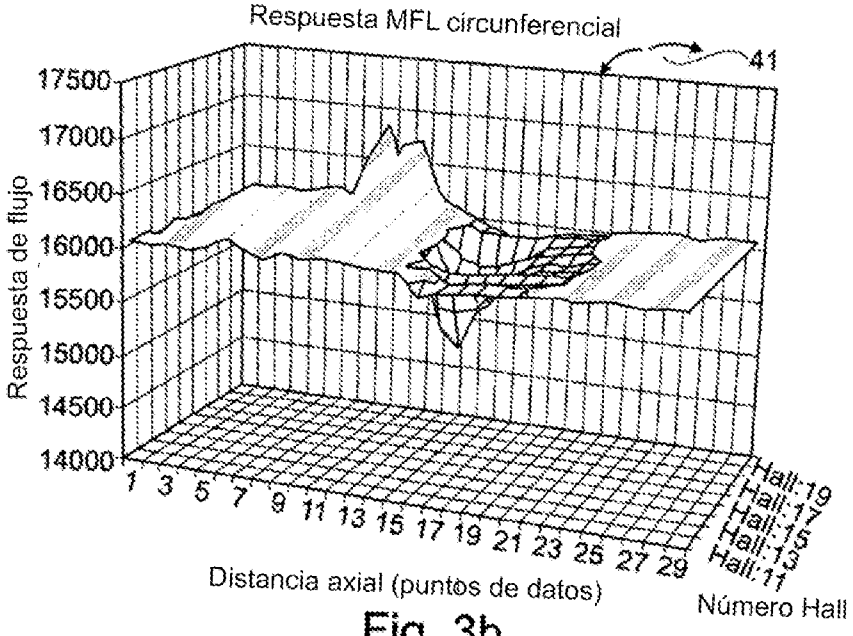

Respuesta MFL circunferencial
41
17500
17000
16500
16000
15500
15000
14500
14000
Respuesta de flujo
1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29
Distancia axial (puntos de datos)
Hall:19
Hall:17
Hall:15
Hall:13
Hall:11
Número Hall

Fig. 3b

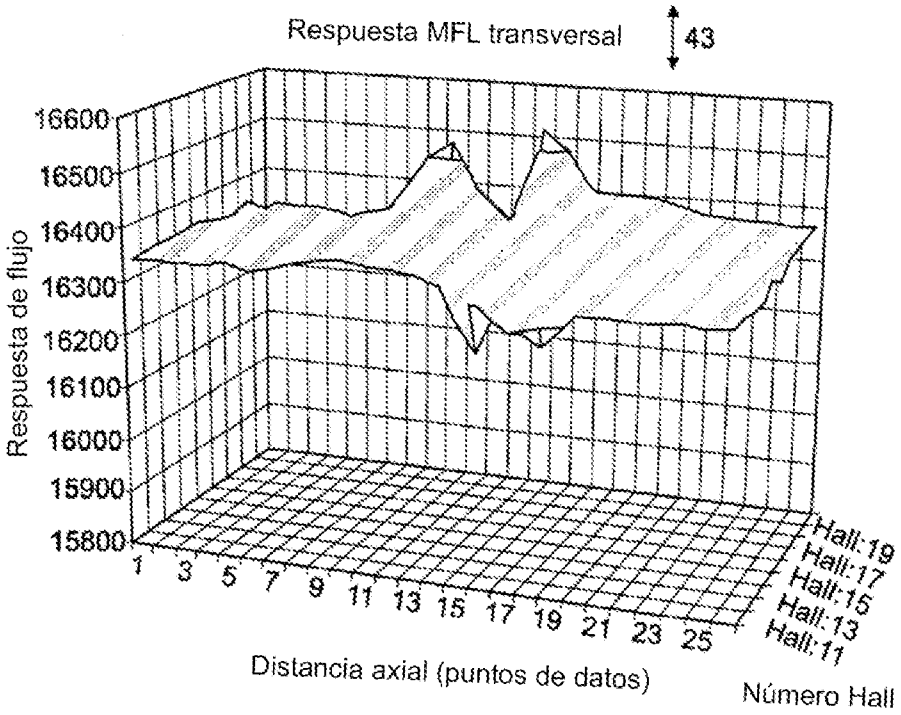

Respuesta MFL transversal
43
16600
16500
16400
16300
16200
16100
16000
15900
15800
Respuesta de flujo
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
Distancia axial (puntos de datos)
Hall:19
Hall:17
Hall:15
Hall:13
Hall:11
Número Hall

Fig. 3c

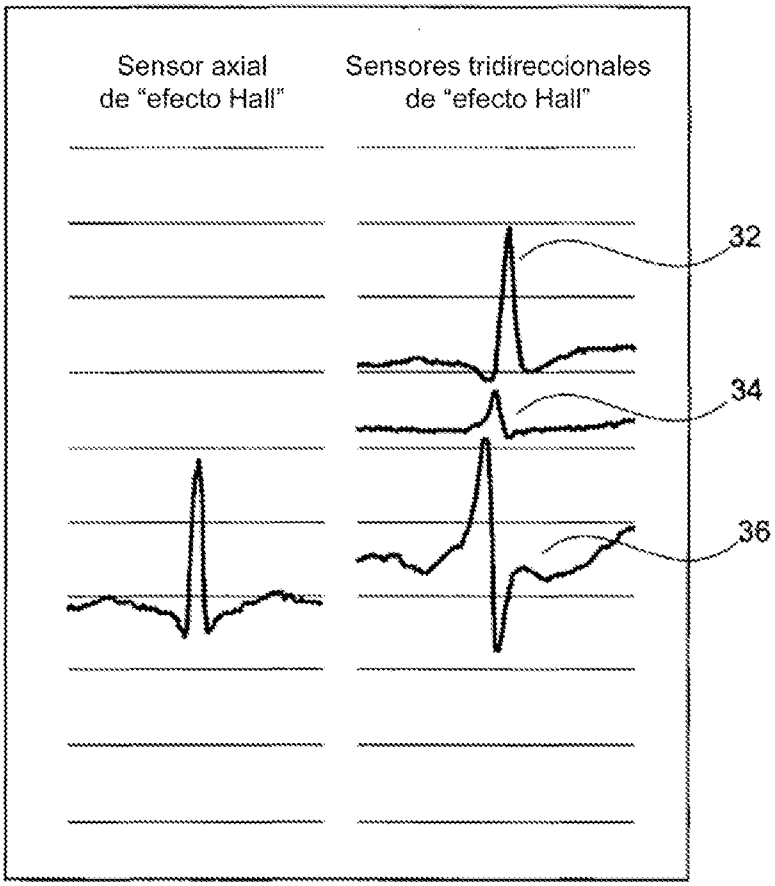

Sensor axial
de "efecto Hall"
Sensores tridireccionales
de "efecto Hall"
32
34
36

Fig. 4

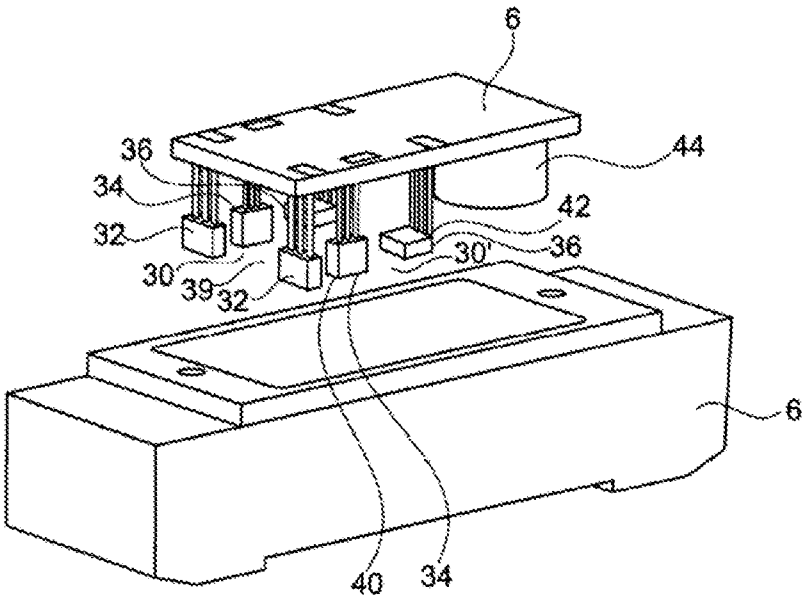
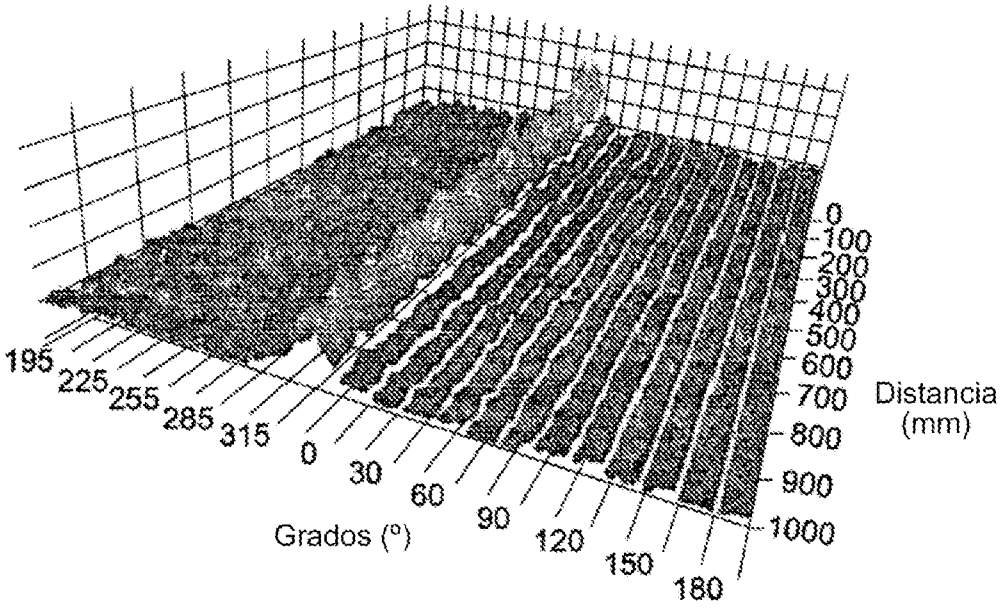


Fig. 5



Trama de escaneo de corrosión axial con SmartCAT™

Fig. 6

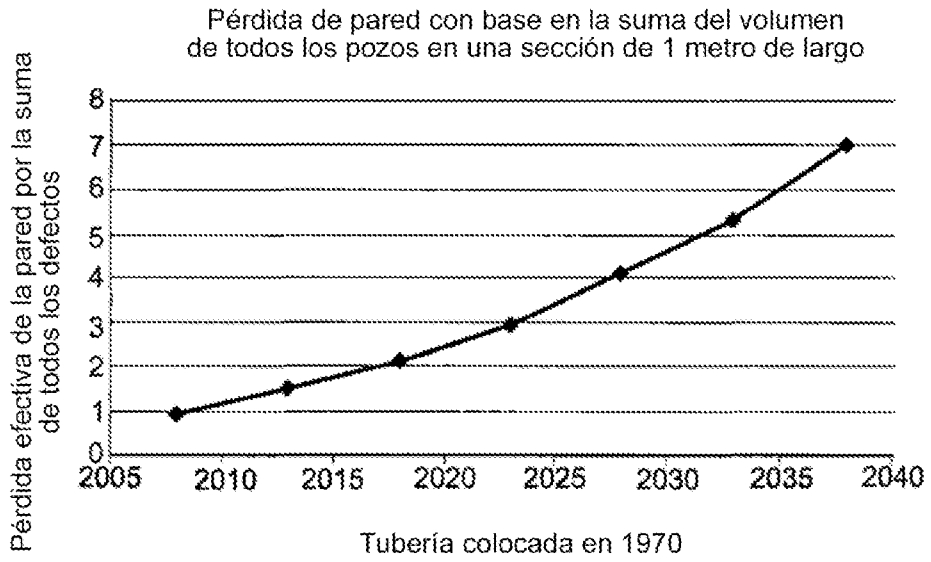

Pérdida de pared con base en la suma del volumen
de todos los pozos en una sección de 1 metro de largo
Pérdida efectiva de la pared por la suma de todos los defectos
0
1
2
3
4
5
6
7
8
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040
Tubería colocada en 1970

Fig. 7