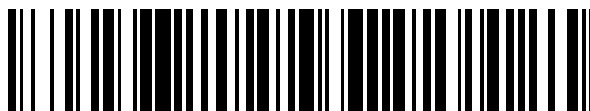


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 975**

51 Int. Cl.:

G01B 17/02 (2006.01)

G01B 17/06 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/07 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2014 PCT/GB2014/050957**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2014 WO14167285**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2014 E 14715074 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 2984447**

54 Título: **Detección ultrasónica de un cambio en una superficie de una pared**

30 Prioridad:

08.04.2013 GB 201306304

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

26.07.2017

73 Titular/es:

**PERMASENSE LTD (100.0%)
Century House 100 Station Road
Horsham RH13 5UZ, GB**

72 Inventor/es:

**CEGLA, FREDERIC, BERT y
GAJDACSI, ATTILA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 626 975 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Detección ultrasónica de un cambio en una superficie de una pared

5 Esta invención se refiere al campo de los ensayos ultrasónicos. Más específicamente, esta invención se refiere a la detección de un cambio en una superficie de una pared.

10 Se conoce a partir del documento WO-A-2007/051959 proporcionar detectores ultrasónicos que pueden usarse para realizar ensayos no destructivos. Un tipo deseable de ensayos es detectar un cambio en una superficie de una pared. Tal pared puede ser, por ejemplo, la pared de una tubería que contiene un fluido, tal como un fluido corrosivo o un fluido multifásico. Tales fluidos pueden corroer o erosionar la superficie interior de la pared y puede desearse monitorizar tales cambios en el espesor de la pared o los cambios en la rugosidad de la pared interior. Al monitorizar de esta manera, los posibles fallos y riesgos pueden identificarse antes de que surja un problema. A modo de ejemplo, el uso de técnicas de monitorización para rastrear la corrosión o la erosión de las superficies internas de las tuberías en una refinería puede permitir el refinado seguro del petróleo que de otro modo sería considerado demasiado difícil debido a la forma en que corroe o erosiona las tuberías de la refinería.

20 Un problema con el tipo de medición anterior es que la superficie interna de la tubería puede corroerse o erosionarse para formar una superficie rugosa que tiene el efecto de dispersar las vibraciones ultrasónicas que se usan para medir el espesor de pared de una manera que resulta en una inexactitud inaceptable en las mediciones de espesor de pared. Puede encontrarse una exposición de tal dispersión superficial rugosa en "Application Of The Distributed Point Source Method To Rough Surface Scattering And Ultrasonic Wall Thickness Measurement" por Jarvis y Cegla, Journal of the Acoustical Society of America 132 (3), Septiembre de 2012, páginas 1325 a 1335.

25 El documento JP-A-2011 141236 desvela un método de cálculo de espesor de un material de atenuación, y un dispositivo para el mismo, capaz de medir apropiadamente un espesor del material de atenuación usado para una estructura de material compuesto. El dispositivo de cálculo de espesor del material de atenuación incluye sondas ultrasónicas para transmitir una onda ultrasónica a la estructura de material compuesto que incluye un material metálico y el material de atenuación, una parte de operación de señal para procesar una señal procedente de las sondas ultrasónicas y una parte de cálculo de espesor para procesar los datos procedentes de la parte de operación de señal. El dispositivo está constituido de la siguiente manera: las sondas ultrasónicas hacen oscilar una onda ultrasónica que tiene una frecuencia a la que se reduce, o es menor, la reflexión múltiple del material metálico; la parte de operación de señal realiza el análisis de ondiculas de una señal de un eco de reflexión por la onda ultrasónica y extrae un componente de frecuencia específico, al medir el espesor del material de atenuación; y la parte de cálculo de espesor calcula el espesor del material de atenuación basándose en una señal en el componente de frecuencia específico.

40 El documento US-A-4.669.310 desvela un método para detectar y medir ultrasónicamente la escala de óxido en la superficie cilíndrica interior de un tubo de caldera que contiene un fluido, in situ, dentro de una caldera. Un pulso ultrasónico se dirige dentro del tubo. Se determina el tiempo de vuelo del pulso ultrasónico dentro de la escala. El tiempo determinado se correlaciona con el espesor de la escala.

45 Visto desde un aspecto, la presente invención proporciona un método para detectar un cambio en una superficie de una pared, comprendiendo dicho método las etapas de:

transmitir un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a una superficie proximal de dicha pared, propagando dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal;
 50 recibir vibraciones ultrasónicas en dicha superficie proximal;
 comparar dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

55 La presente técnica reconoce que la dispersión superficial rugosa puede alterar significativamente la forma de un pulso detectado de vibraciones ultrasónicas (por ejemplo, cambios de fase, cambios de forma de onda, dispersión, etc.) de una manera que hace difícil detectar con precisión y fiabilidad el tiempo de llegada de un pulso de vibraciones ultrasónicas de salida que se usa para detectar un cambio en una superficie de una pared. Puede encontrarse un tiempo de llegada más preciso de un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida comparando las vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida. El pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida tendrá probablemente una forma similar a un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida a detectar y, en consecuencia, la comparación con este pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida puede usarse para identificar con mayor precisión el tiempo de llegada del pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida. Por lo tanto, las vibraciones ultrasónicas recibidas en las que se desea identificar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida se comparan con un pulso detectado histórico de vibraciones ultrasónicas que probablemente habrá estado sujeto a cambios de fase, dispersiones y cambios de forma de onda similares que la dispersión de superficie rugosa impondrá.

Con el fin de medir el espesor de la pared, el pulso de las vibraciones ultrasónicas de entrada se propaga a través del espesor de la pared, se refleja desde una superficie distal de la pared y retorna a través del espesor de la pared a la superficie proximal con el fin de formar el pulso actual de las vibraciones ultrasónicas de salida. De este modo, la superficie proximal de la pared en la que se envía el pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada puede ser la superficie exterior de una tubería y la superficie distal puede ser la superficie interna de una tubería que puede estar sujeta a corrosión o erosión dando como resultado una dispersión de superficie rugosa de esa superficie distal.

Las vibraciones ultrasónicas de entrada se producen en la superficie proximal de la pared ya que esta es accesible. Las vibraciones ultrasónicas de entrada pueden aplicarse directamente a la superficie proximal o pueden aplicarse a través de cuñas, fluidos de acoplamiento u otros mecanismos indirectos que serán familiares a los expertos en la materia. Estas diversas maneras indirectas de transmitir y recibir vibraciones ultrasónicas de las paredes están todas abarcadas en las técnicas presentes.

En algunas realizaciones el pulso de entrada de las vibraciones ultrasónicas también puede propagarse a partir de una ubicación de entrada de la superficie proximal en una dirección sustancialmente paralela a la superficie proximal antes de que se reciba en una ubicación de salida de la superficie proximal como un pulso de referencia de las vibraciones ultrasónicas de salida que se reciben antes del pulso actual de vibraciones ultrasónicas en la ubicación de salida. La propagación directa a lo largo de la superficie proximal de la pared genera un pulso de referencia que puede usarse para compensar las variaciones en las operaciones de transmisión y recepción y así aislar más exactamente una medida relativa a la propagación de las vibraciones ultrasónicas a través del espesor de la pared a una superficie distal de la pared.

La comparación de las vibraciones ultrasónicas recibidas con el pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas puede tomar una variedad de formas diferentes. La comparación podría calcular valores de correlación cruzada, valores de covarianza cruzada o valores de similitud usando diferentes desplazamientos de tiempo y a continuación usar un máximo en estos valores para identificar el tiempo de llegada del pulso actual de vibraciones ultrasónicas. La correlación de un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida es más probable que identifique con precisión el tiempo de llegada (tiempo de correlación máxima) ya que los dos pulsos que se comparan probablemente estarán sujetos a influencias de dispersión de superficie rugosa similares.

Los diferentes desplazamientos de tiempo para los que se determinan los valores de correlación, como se ha tratado anteriormente, corresponden a diferentes tiempos de propagación de las vibraciones ultrasónicas a través de la pared que se monitoriza. Tales retardos de propagación pueden ser normalmente un retardo de propagación de primer orden en el que las ondas ultrasónicas atraviesan la pared una vez en cada dirección, pero también es posible que se detecten retardos de propagación de orden superior en los que las ondas ultrasónicas atraviesan la pared más de una vez en cada dirección (aunque los efectos crecientes de dispersión superficial rugosa son probablemente para hacer que estos pulsos sean cada vez más difíciles de medir el tiempo con exactitud).

Es posible que la comparación entre las señales ultrasónicas recibidas y el pulso detectado previamente de las señales ultrasónicas de salida pueda realizarse comparando directamente los valores de muestra detectados para las vibraciones de interés. Sin embargo, también es posible que esta comparación pueda realizarse en otro dominio, tal como por transformación de Fourier de las vibraciones o sometiendo las vibraciones a la transformación de onduladas antes de realizar la comparación. Tales variaciones en el procesamiento de señales asociadas con la comparación están todas incluidas en las técnicas actuales.

El cambio en la pared que se detecta mediante las técnicas actuales puede ser un cambio en el espesor de la pared como se ha tratado anteriormente. También es posible que el cambio en la pared pueda ser un cambio en el perfil superficial de la pared que surja sin ningún cambio significativo en el espesor total de la pared. Tales cambios en el perfil de la pared pueden indicar, por ejemplo, la naturaleza de cualquier proceso no deseado que se produce sobre una superficie distal que es inaccesible, ya que diferentes procesos pueden dar lugar a diferentes cambios en el perfil de la superficie distal.

La comparación puede requerir almacenar una representación de un pulso anterior de vibraciones ultrasónicas de salida para servir como el pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida. Esta representación puede ser, por ejemplo, una secuencia de valores de muestra (posiblemente por muestreo) o puede ser una representación almacenada en otro dominio, tal como el dominio de frecuencia o el dominio asociado con una transformación de onduladas.

La representación puede ser directa en el sentido de comprender una secuencia de valores de muestra capturados a partir del pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida. En otras realizaciones, la representación puede ser un pulso modelado de vibraciones ultrasónicas de salida que se ha obtenido de un pulso detectado previamente de las vibraciones ultrasónicas (por ejemplo, un pulso detectado previamente podría usarse para generar un modelo de la superficie distal de una tubería y este modelo de la superficie a su vez usarse para modelar un pulso de salida de vibraciones ultrasónicas que puede compararse con las vibraciones ultrasónicas recibidas de un pulso posterior.

El pulso anterior de vibraciones ultrasónicas de salida usado para la comparación puede ser un pulso inmediatamente anterior de vibraciones ultrasónicas de salida, ya que es probable que tenga una correlación más alta con un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida, pero es posible que los pulsos previos más separados en el tiempo podrían utilizarse con resultados aceptables.

5 Cuando se determina el espesor de la pared de una tubería, entonces el espesor medido puede usarse a lo largo del tiempo para monitorizar una tasa de corrosión interna de la tubería de una manera que avise con anticipación del posible fallo de dicha tubería.

10 Visto desde otro aspecto, la invención proporciona un método de procesamiento de señales para detectar un cambio en una superficie de una pared usando un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada transmitidas a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal y unas vibraciones ultrasónicas recibidas en dicha superficie proximal, comprendiendo dicho método la etapa de:

15 comparar dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

20 Se apreciará que la transmisión y la recepción de las vibraciones ultrasónicas puede tener lugar en una ubicación de sensor que está muy alejada de una ubicación en la que se realiza la comparación que detecta el tiempo de llegada de un pulso de vibraciones ultrasónicas y la detección correspondiente, por ejemplo, el espesor de pared. Los sensores podrían realizar la transmisión y la recepción de las vibraciones ultrasónicas y transmitir las señales capturadas a una instalación remota que a continuación realiza la comparación y detecta el cambio deseado en la pared antes de devolver este resultado al sitio original o potencialmente a un sitio diferente para la interpretación y la acción por un usuario del sistema de monitorización.

25 Visto desde otro aspecto, la presente invención proporciona un sistema para detectar un cambio en una superficie de una pared, comprendiendo dicho sistema:

30 un transmisor configurado para transmitir un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a una superficie proximal de dicha pared, propagando dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal;
 35 un receptor configurado para recibir vibraciones ultrasónicas en dicha superficie proximal;
 un conjunto de circuitos de procesamiento configurado para comparar dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared

40 Visto desde un aspecto adicional, la presente invención proporciona un aparato de procesamiento de señales para detectar un cambio en una superficie de una pared usando un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada transmitidas a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal y unas vibraciones ultrasónicas recibidas en dicha superficie proximal, comprendiendo dicho aparato de procesamiento de señales:

45 un conjunto de circuitos de procesamiento configurado para comparar dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

50 A continuación se describirán unas realizaciones de la invención, solo por medio de un ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

55 la figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema para monitorizar el espesor de la pared de tubería;
 la figura 2 ilustra esquemáticamente la propagación de los pulsos de vibraciones ultrasónicas a través de una pared de tubería;
 la figura 3 ilustra esquemáticamente la reflexión de las vibraciones ultrasónicas desde una superficie lisa;
 la figura 4 ilustra esquemáticamente la reflexión de las vibraciones ultrasónicas desde una superficie rugosa;
 la figura 5 ilustra esquemáticamente la recepción de un pulso de referencia y un pulso detectado reflejado desde una superficie distal de una pared;
 60 la figura 6 ilustra esquemáticamente la correlación cruzada entre un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida y de vibraciones ultrasónicas recibidas;
 la figura 7 es una representación matemática de la etapa de comparación cuando se realiza una correlación cruzada (producto escalar desplazado); y
 la figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente el uso de vibraciones ultrasónicas y la correlación cruzada con un pulso detectado previamente para determinar el espesor de la pared de tubería.

La figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema 2 para monitorizar el espesor de pared de tubería que comprende una pluralidad de sensores 4, 6, 8 conectados cada uno a una tubería respectiva 10, 12, 14. Cada tubería tiene una superficie externa que corresponde a una superficie proximal a la que uno de los sensores 4, 6, 8 está unido y una superficie interior correspondiente a una superficie distal a partir de la que se detectan las reflexiones de los pulsos de vibraciones ultrasónicas. La tubería puede transportar un fluido corrosivo o un fluido en fase mixta que somete la superficie interna de la tubería a corrosión y/o erosión (por ejemplo, la arena dentro del petróleo crudo puede erosionar la superficie interior de la tubería). Cada uno de los sensores 4, 6, 8 se comunica de manera inalámbrica con una pasarela 16, o directamente o a través de una red de malla formada por los sensores. La pasarela 16 a su vez se comunica con un servidor 18. Los sensores 4, 6, 8 ilustrados en la figura 1 son sensores de guía de ondas bien adaptados a aplicaciones de alta temperatura, pero son posibles otros tipos de sensores, tales como los sensores de modo de eco de pulso (el mismo transductor envía y recibe) que pueden ser adecuados para entornos de baja temperatura.

A intervalos periódicos, tales como cada 12 horas (o menos si se requiere una monitorización más frecuente), cada uno de los sensores 4, 6, 8 puede realizar una determinación del espesor de pared de tubería de la tubería 10, 12, 14 a la que está unido. Este ensayo puede realizarse transmitiendo un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a una superficie proximal de la pared de la tubería (o directa o indirectamente a través de una cuña o un fluido de acoplamiento) y a continuación las vibraciones ultrasónicas reflejadas se devuelven de nuevo a la superficie proximal. Las vibraciones recibidas pueden muestrearse con un convertidor analógico a digital de alta tasa y a continuación transmitirse inalámbricamente a través de la pasarela 16 al servidor 18. A continuación, el servidor 18 puede realizar el procesamiento de señal sobre estas señales que representan las vibraciones ultrasónicas recibidas en la superficie proximal con el fin de identificar un retardo de propagación de los pulsos ultrasónicos a través de las paredes de tubería y, en consecuencia, los espesores de pared de tubería. Este procesamiento de señal usa una comparación de las vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida que fue recibido en la superficie proximal con el fin de identificar un tiempo de llegada de un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida. Esta comparación puede usar una correlación cruzada, una covarianza cruzada, una función de similitud u otras formas de comparación que busquen igualar las vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida. El análisis realizado puede determinar el espesor de pared de tubería, pero también o alternativamente puede usarse para detectar otros cambios en la superficie distal (interna) de la tubería, tal como cambios en el perfil de la superficie interna de la tubería debido a diferentes tipos de corrosión/erosión.

Los resultados del análisis realizado por el servidor 18 pueden enviarse a un terminal de usuario 20 donde pueden visualizarse e interpretarse por un usuario del sistema. Se apreciará que las tuberías 10, 12, 14, los sensores 4, 6, 8 y la pasarela 16 pueden estar en una ubicación física diferente (tal como en un país completamente diferente) del servidor 18 y del terminal de usuario 20. Las presentes técnicas son adecuadas para la monitorización remota de plantas a gran escala, tales como refinerías de petróleo o plantas de procesamiento químico.

La figura 2 ilustra esquemáticamente la propagación de un pulso de vibraciones ultrasónicas a través de una pared de tubería. El pulso de vibraciones ultrasónicas puede transmitirse a lo largo de una guía de ondas de transmisión 22 a una superficie proximal 24 de la pared de la tubería. El acoplamiento a la superficie proximal 24 puede ser directo o indirecto. Las vibraciones ultrasónicas recibidas pasan a una guía de ondas de recepción 26 desde la superficie proximal 24 algún tiempo después de que el pulso de entrada fuese enviado a la pared de la tubería.

Se ilustra en la figura 2 una trayectoria directa 28 entre la guía de ondas de transmisión 22 y la guía de ondas de recepción 26. Esta trayectoria directa da lugar a un pulso de referencia de vibraciones ultrasónicas que puede usarse para compensar los tiempos de transmisión a lo largo de las guías de onda 22, 26, así como otros efectos, tales como los retardos en el accionamiento y la transmisión del pulso. (Otros transductores que funcionan en un modo de eco de pulso pueden usar la reflexión desde la superficie proximal como el accionamiento de temporización). Se ilustra una trayectoria de reflexión de primer orden 30 a través de la pared que muestra las vibraciones ultrasónicas de entrada que se propagan a través del espesor de la pared, reflejándose desde una superficie distal 32 de la pared y volviendo a continuación a través del espesor de la pared de nuevo a la superficie proximal 24 donde forman el pulso actual de las vibraciones ultrasónicas de salida para las que se detecta el tiempo de llegada usando la correlación cruzada, la covarianza cruzada, las funciones de similitud u otras formas de comparación como se ha tratado anteriormente. La determinación del tiempo de llegada de este pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en relación con el tiempo de llegada del pulso de referencia permite calcular un tiempo de retardo de propagación correspondiente a la propagación a través del espesor de la pared de tubería usando trigonometría convencional. Este retardo de propagación puede usarse, en cambio, para determinar un espesor de pared y monitorizar factores tales como la tasa de corrosión o la tasa de erosión de la pared.

La figura 3 ilustra esquemáticamente la reflexión de un pulso de vibraciones ultrasónicas desde una superficie distal lisa 32. En este caso, cuando la superficie distal 32 es lisa (al menos a una escala relativa a la longitud de onda de las vibraciones ultrasónicas), entonces la reflexión será uniforme y las ondas ultrasónicas reflejadas no sufrirán cambios impredecibles en la fase, una dispersión indeseable u otros cambios en su forma de onda.

La figura 4 ilustra esquemáticamente la reflexión de un pulso de vibraciones ultrasónicas desde una superficie distal rugosa 32. La superficie distal rugosa 32 da lugar a una dispersión de superficie rugosa en la que las reflexiones desde los picos y canales de la superficie rugosa interfieren entre sí y producen un pulso reflejado de vibraciones ultrasónicas que están sometidas a cambios de fase, dispersión y otros cambios en su forma de onda que varían considerablemente con la forma de pared posterior. Estos cambios en la forma de onda del pulso reflejado de vibraciones ultrasónicas que resultan de los cambios impredecibles en la forma de la pared posterior hacen difícil identificar con precisión un tiempo de llegada de ese pulso reflejado de vibraciones ultrasónicas.

La figura 5 ilustra esquemáticamente las vibraciones ultrasónicas de salida recibidas en una superficie proximal. Un corto tiempo después de que el pulso de las vibraciones ultrasónicas de entrada se transmita a la pared, se recibirá un pulso de referencia de vibraciones ultrasónicas correspondiente a la propagación de esas vibraciones ultrasónicas paralelas a la superficie de la pared. En un momento posterior se recibe el pulso detectado reflejado desde la superficie distal de la pared. El pulso reflejado de primer orden será el primero que se recibirá. En la práctica, los pulsos de segundo orden y de orden superior pueden estar demasiado dispersos/confundidos para detectarse con precisión cuando la pared posterior no es lisa, pero para las paredes posteriores lisas puede proporcionar información adicional útil. La figura 5 ilustra esquemáticamente que el pulso detectado reflejado desde la superficie distal de la pared ha estado sujeto a cambios de fase y dispersión debido a la reflexión desde la superficie distal no uniforme de una manera que alarga el pulso en el tiempo y cambia la fase detallada de la señal. El resultado de estas distorsiones introducidas por la reflexión desde la superficie distal no uniforme es que una correlación del pulso detectado con un pulso de entrada o un modelo del pulso de entrada produciría un tiempo de llegada no fiable.

La figura 6 ilustra esquemáticamente cómo las vibraciones ultrasónicas recibidas del pulso detectado reflejado desde la pared de superficie distal pueden compararse con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida usando una técnica tal como la correlación cruzada para determinar el tiempo de llegada del pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en las vibraciones ultrasónicas recibidas. Ya que el pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas probablemente habrá estado sometido a distorsiones similares como el pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida (ya que los cambios en la rugosidad de la pared distal son relativamente lentos), entonces puede obtenerse un resultado más preciso a partir de la comparación de correlación cruzada y un tiempo de llegada determinado más preciso. Este tiempo de llegada corresponde aproximadamente al retardo de propagación del pulso a través de la pared de tubería y, en consecuencia, puede usarse para determinar el espesor de la pared y factores tales como la tasa del espesor variable debido a la corrosión/erosión.

El pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida ilustrado en la parte superior de la figura 6 puede almacenarse como una secuencia de valores de muestra dentro del servidor 18 a partir del pulso detectado inmediatamente anterior. La comparación ilustrada en la figura 6 es una comparación directa de valores muestreados que varían con el tiempo. La comparación también podría realizarse en un dominio diferente, tal como transformar tanto las vibraciones ultrasónicas recibidas como el pulso detectado previamente usando una transformación de ondículas y a continuación realizar la comparación en ese dominio diferente o transformándose al dominio de frecuencia y realizar la comparación en ese dominio diferente. Otra alternativa es que en lugar de realizar la comparación directamente contra el pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida o una versión transformada de ese pulso, también es posible que la comparación pueda realizarse contra un pulso modelo que se ha obtenido del pulso detectado previamente de las vibraciones ultrasónicas de salida. Este pulso modelo puede estar destinado a modelar las variaciones en la forma de onda que están produciéndose por el estado actual de rugosidad de la pared distal a partir de la que se está haciendo la reflexión. En el caso de determinar la rugosidad, la comparación entre las señales sucesivas puede ser indirecta, por ejemplo, comparar las señales sucesivas con alguna forma simple y monitorizar los cambios en la medida de comparación. Estas alternativas están todas englobadas en la presente técnica.

La figura 7 ilustra esquemáticamente una función matemática para realizar la correlación cruzada (producto escalar desplazado) como una forma de ejemplo de comparación con el fin de identificar el tiempo de llegada. Esta correlación cruzada se representa tanto para funciones continuas como para funciones discretas. En la práctica, es más probable que el procesamiento de señales se realice en relación con una variante de función discreta, ya que los valores de muestra de las vibraciones ultrasónicas recibidas serán valores discretos.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente la medición del espesor de pared de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente técnica. En el etapa 40, el procesamiento espera hasta que haya llegado el momento de realizar la siguiente medición. Tales mediciones pueden realizarse periódicamente, tal como diariamente o dos veces al día. En la etapa 42 se transmite un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a la superficie proximal de la pared. A continuación, la etapa 44 recibe las vibraciones ultrasónicas de salida desde la superficie proximal de la pared. Las vibraciones ultrasónicas recibidas pueden transmitirse al servidor remoto 18. También es posible que en algunas realizaciones todo el procesamiento de señales pueda realizarse en el propio sensor 4, 6, 8 para reducir la cantidad necesaria de transmisiones de datos (por ejemplo, en las aplicaciones submarinas).

5 En la etapa 46 se realiza una correlación cruzada entre las vibraciones ultrasónicas recibidas y un pulso detectado
previamente de vibraciones ultrasónicas de salida usando diferentes desplazamientos de tiempo (como es inherente
en determinar una correlación cruzada) a veces el pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de
salida puede reemplazarse por una representación modelada o, específicamente cuando se procesa la primera
señal capturada cuando no hay un pulso capturado anterior, por una ráfaga de tono ideal. El desplazamiento de
10 tiempo que produce el mayor valor para esta correlación cruzada corresponde a la mejor coincidencia entre las
vibraciones ultrasónicas recibidas y el pulso detectado previamente y, en consecuencia, corresponde al tiempo de
llegada del pulso actual de vibraciones ultrasónicas. Un pulso modelo puede ajustarse a las vibraciones ultrasónicas
recibidas antes de realizar la comparación en algunas realizaciones. Las vibraciones recibidas y detectadas
15 anteriormente también pueden someterse a muestreo antes de la etapa de comparación. El pico en el valor de
correlación cruzada se detecta en la etapa 50 y se usa a continuación en la etapa 52 para determinar el espesor de
la pared (usando la trigonometría y la velocidad conocida de las vibraciones ultrasónicas a través del material de
pared a la temperatura de interés (puede usarse la compensación de temperatura)). El espesor de pared a su vez
puede usarse para obtener datos tales como una tasa de corrosión o erosión de la pared. Estos datos de resultado
pueden transmitirse al terminal de usuario 20 para su interpretación y acción por un usuario.

20 Como alternativa o adición a la determinación del espesor de pared, las vibraciones ultrasónicas recibidas pueden
usarse en la etapa 48 para detectar cambios distintos en la pared posterior de los cambios de espesor, por ejemplo,
cambios en la rugosidad de la pared posterior indicativos de cambios no deseados en la pared posterior. Tales
cambios no pueden cambiar el tiempo de llegada del pulso reflejado de manera significativa, pero pueden usarse
otros cambios (por ejemplo, de fase, de forma, de dispersión) para determinar un cambio en la rugosidad superficial
de la pared posterior.

25 La primera señal medida no puede correlacionarse de manera cruzada con una señal anteriormente medida, ya que
no existe ninguna. En este caso puede usarse una ráfaga de tono ideal como referencia. La ráfaga de tono ideal
puede generarse con los mismos parámetros que la ráfaga de tono usada como la señal emitida, pero puede tener
diferentes valores de fase, la señal precisa no es crítica para tal inicialización. En el caso de una superficie de pared
posterior muy rugosa, esta comparación con una ráfaga de tono ideal puede dar lugar a un gran error de
desplazamiento debido a que no puede determinarse con fiabilidad el tiempo o la llegada. Sin embargo, la pérdida
30 de espesor (tasa de corrosión) puede rastrearse de manera fiable.

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar un cambio en una superficie (32) de una pared, comprendiendo dicho método las etapas de:
- 5 transmitir (42) un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared y reflejándose desde una superficie distal de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal;
- 10 recibir (44) vibraciones ultrasónicas en dicha superficie proximal;
- comparar (46) dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida reflejadas desde dicha superficie distal de dicha pared y recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada se propaga desde una ubicación de entrada de dicha superficie proximal en una dirección (28) sustancialmente paralela a dicha superficie proximal antes de recibirse en una ubicación de salida de dicha superficie proximal como un pulso de referencia de vibraciones ultrasónicas de salida antes de recibir dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha ubicación de salida.
- 20 3. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que dicha etapa de comparación:
- (a)
- 25 (i) calcula valores de correlación cruzada entre dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida y dichas vibraciones ultrasónicas recibidas; e
- (ii) identifica un máximo en dichos valores de correlación cruzada como correspondiente a un tiempo de llegada de dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida;
- o
- 30 (b)
- (i) calcula valores de covarianza cruzada entre dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida y dichas vibraciones ultrasónicas recibidas; e
- 35 (ii) identifica un máximo en dichos valores de covarianza cruzada como correspondiente a un tiempo de llegada de dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida
- o
- 40 (c)
- (i) calcula valores de similitud entre dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida y dichas vibraciones ultrasónicas recibidas; e
- (ii) identifica un máximo en dichos valores de similitud como correspondiente a un tiempo de llegada de dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida.
- 45 4. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que dicha etapa de comparación identifica cambios en dicha superficie que no cambian un tiempo de llegada de dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida.
- 50 5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida y dichas vibraciones ultrasónicas recibidas se transforman en uno de entre un dominio de frecuencia y un dominio de ondículas antes de dicha etapa de comparación.
- 55 6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho cambio en dicha superficie corresponde a uno de entre:
- (i) un cambio en el espesor de dicha pared; y
- (ii) un cambio en el perfil de una superficie de dicha pared.
- 60 7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende almacenar una representación de un pulso anterior de las vibraciones ultrasónicas de salida para servir como dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida.

8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dicha representación es una de entre:

- una secuencia de valores de muestra capturados a partir de dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida; y
- un pulso modelado de vibraciones ultrasónicas de salida obtenido a partir de dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida.

9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 y 8, en el que dicho pulso anterior de vibraciones ultrasónicas de salida es un pulso inmediatamente anterior de vibraciones ultrasónicas de salida.

10. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas vibraciones ultrasónicas recibidas y dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida se muestrean antes de dicha comparación.

11. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un pulso modelo se ajusta a dichas vibraciones ultrasónicas recibidas y a continuación se compara con dicho pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida.

12. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha pared tiene al menos uno de entre:

- (i) al menos una superficie no uniforme;
- (ii) forma una tubería; y
- (iii) está sujeta a corrosión dando como resultado dicha superficie no uniforme.

13. Un método de procesamiento de señales para detectar un cambio en una superficie de una pared usando un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada transmitidas a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared y reflejándose desde una superficie distal de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal, comprendiendo dicho método las etapas de:

- comparar dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida reflejadas desde dicha superficie distal de dicha pared y recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

14. Un sistema para detectar un cambio en una superficie de una pared, comprendiendo dicho sistema:

- un transmisor configurado para transmitir un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared y reflejándose desde una superficie distal de la pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal;
- un receptor configurado para recibir vibraciones ultrasónicas en dicha superficie proximal;
- un conjunto de circuitos de procesamiento configurado para comparar dichas vibraciones ultrasónicas recibidas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida reflejadas desde dicha superficie distal de dicha pared y recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

15. Un aparato de procesamiento de señales para detectar un cambio en una superficie de una pared usando un pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada transmitidas a una superficie proximal de dicha pared, propagándose dicho pulso de vibraciones ultrasónicas de entrada a través de dicha pared y reflejándose desde una superficie distal de dicha pared para formar un pulso actual de vibraciones ultrasónicas de salida en dicha superficie proximal, comprendiendo dicho aparato de procesamiento de señales:

- un conjunto de circuitos de procesamiento configurado para comparar dicho pulso actual de vibraciones ultrasónicas con un pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida reflejadas desde dicha superficie distal de dicha pared y recibidas en dicha superficie proximal para detectar cambios en dicha superficie de dicha pared.

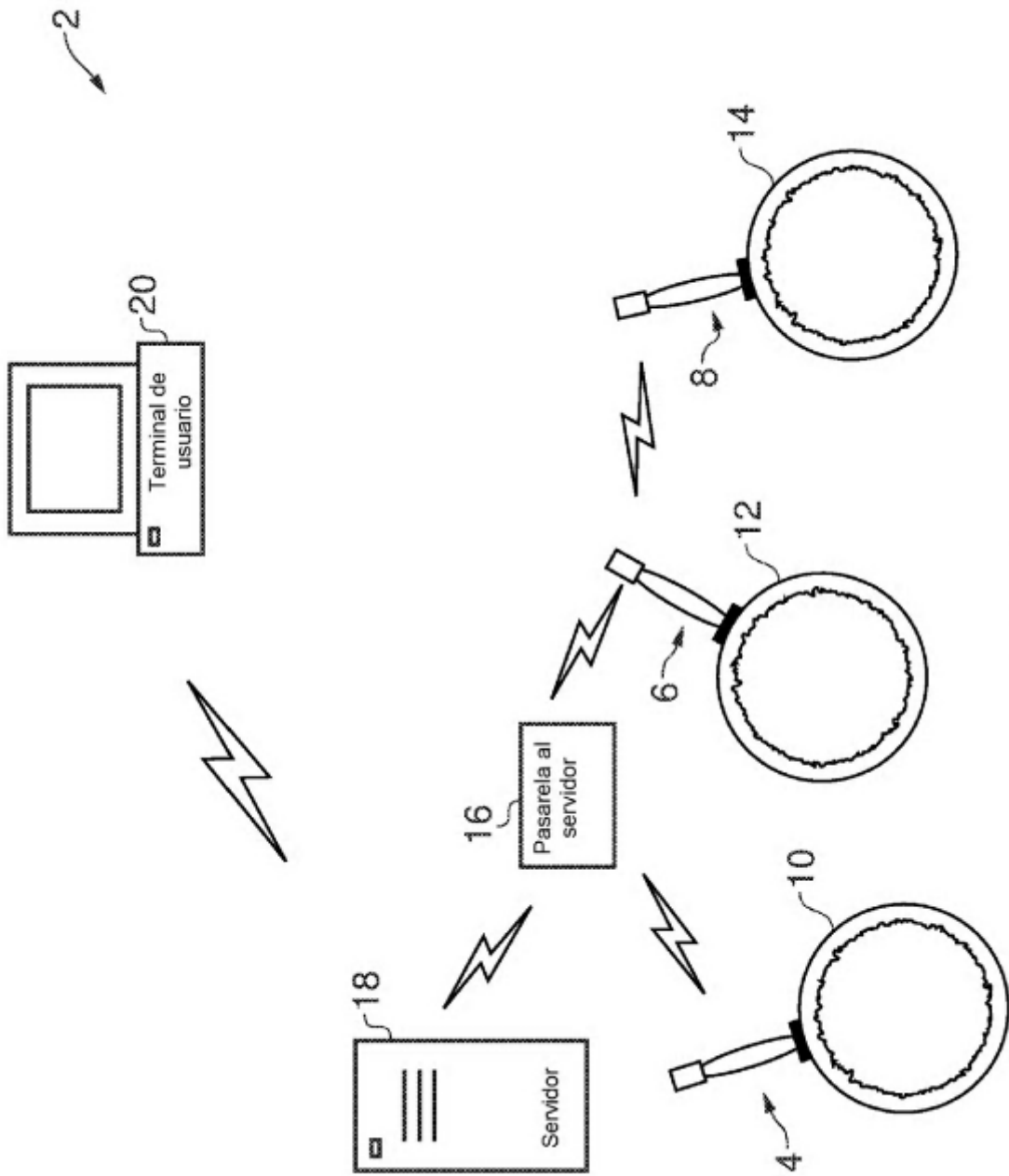


FIG. 1

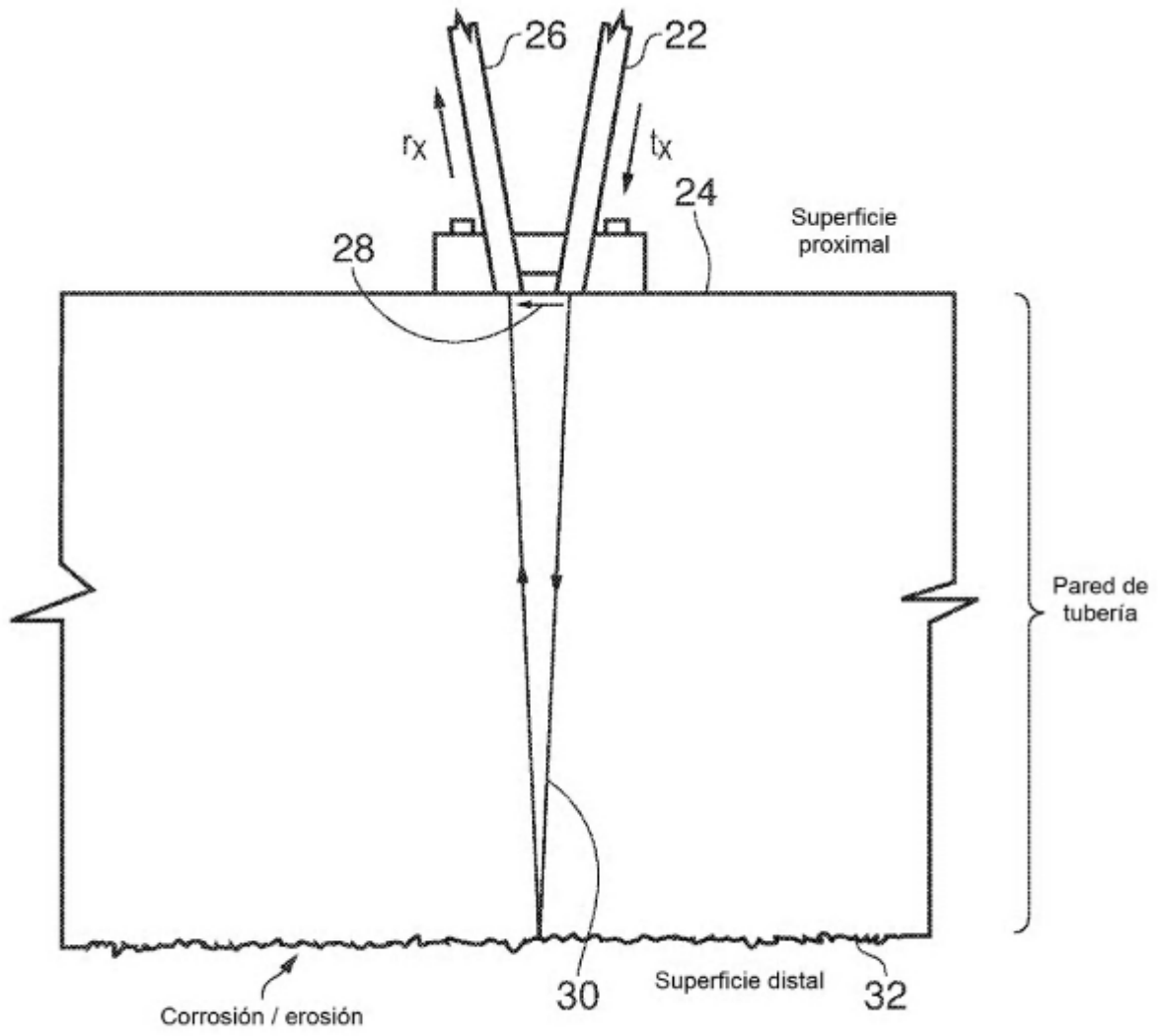


FIG. 2

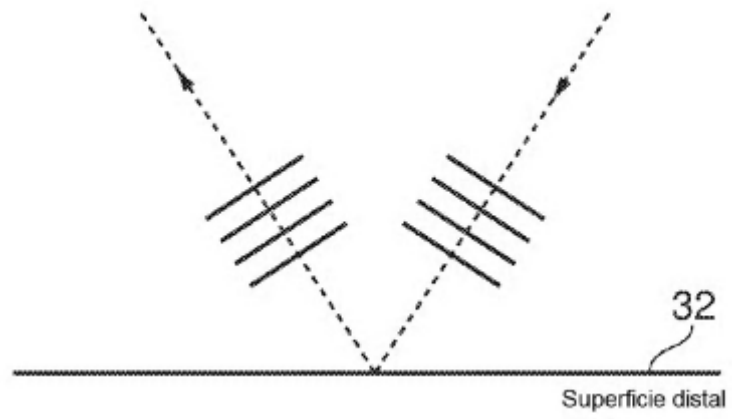


FIG. 3

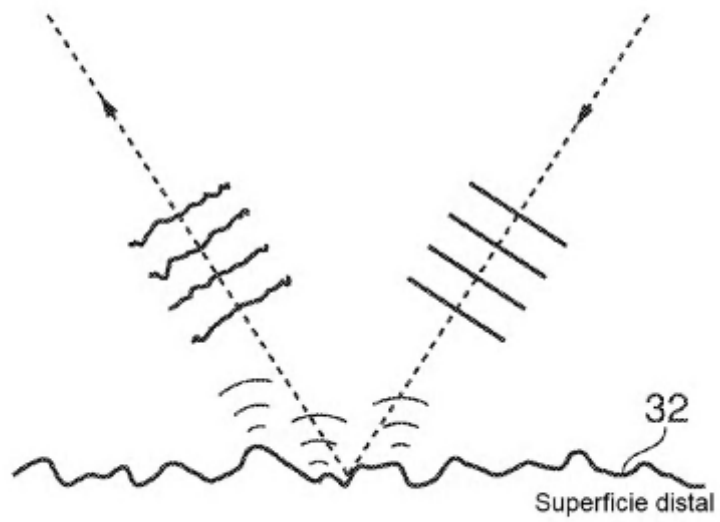


FIG. 4

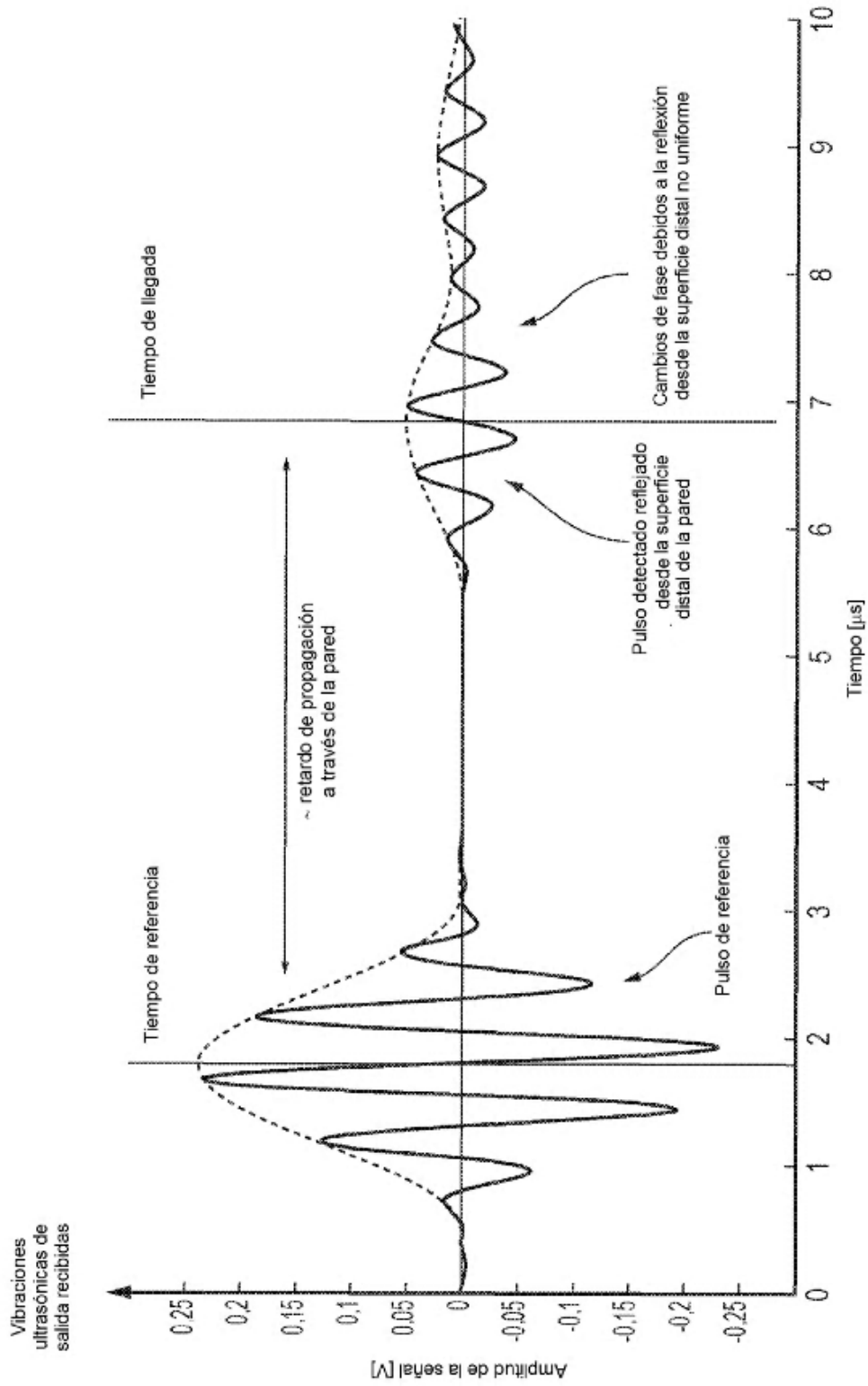


FIG. 5

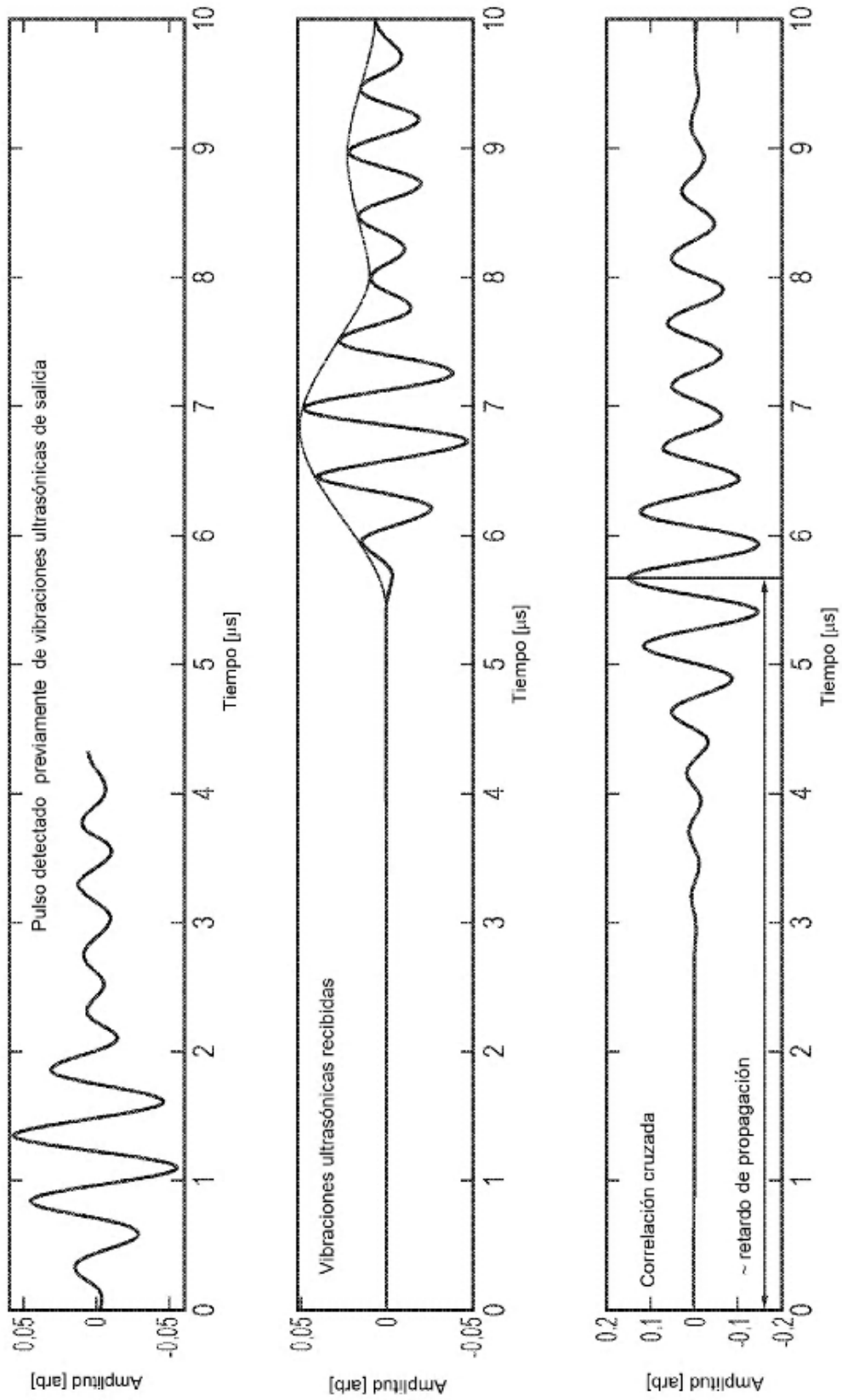


FIG. 6

Correlación cruzada (producto escalar desplazado)

► Para funciones continuas

$$\circ (f \otimes g)(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t + \tau) d\tau$$

► Para funciones discretas

$$\circ (f \otimes g)[n] \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} (f(m)g(n + m))$$

F() = pulso detectado previamente de vibraciones ultrasónicas de salida

g () = vibraciones ultrasónicas recibidas

FIG. 7

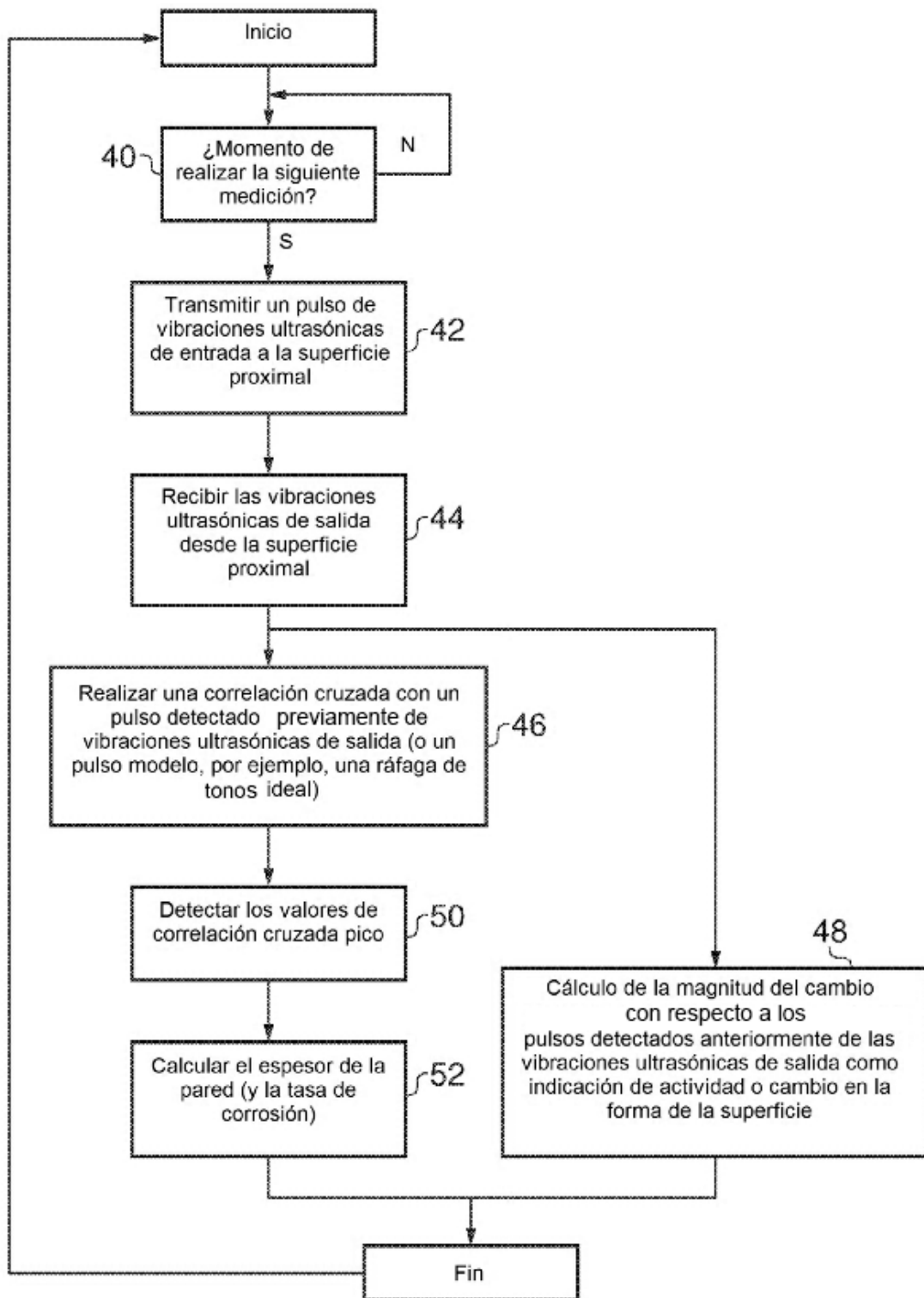


FIG. 8