

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 473**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/90** (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.04.2016 PCT/GB2016/050983**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2016 WO16162683**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2016 E 16722336 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024 EP 3281003**

54 Título: **Herramienta de inspección en línea**

30 Prioridad:

**07.04.2015 GB 201505888**

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

**03.12.2024**

73 Titular/es:

**SONOMATIC LIMITED (100.0%)  
719 Eddington Way  
Birchwood, Warrington WA3 6BA, GB**

72 Inventor/es:

**BOENISCH, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 991 473 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

Herramienta de inspección en línea

5 El presente invento hace referencia a ensayos no destructivos y, en particular, a una herramienta de inspección en línea para inspeccionar el estado de componentes tubulares. Las aplicaciones específicas de la invención incluyen la inspección de las paredes de los oleoductos/gasoductos que suelen estar ubicados en lugares remotos dentro de las industrias de exploración y producción de petróleo y gas.

10 En la industria de petróleo y gas, un "cerdo" es un dispositivo que se inserta en un oleoducto/gasoducto y que viaja con total libertad por él, a menudo impulsado por el flujo de producto, para hacer una tarea específica dentro del oleoducto. Estas tareas se encuentran en una serie de áreas distintas:

- 15 (a) Cerdos de limpieza, que realizan una función por ejemplo de limpieza, separando productos en el conducto o desaguando el conducto;  
 b) Cerdos de inspección en línea, que se usan para proporcionar información sobre el estado del oleoducto y el alcance y la ubicación de cualquier problema (como, por ejemplo, corrosión); y  
 (c) cerdos de uso especial, como tapones para aislar los distintos líquidos que fluyen por el oleoducto.

20 Se requieren cerdos de inspección en línea para satisfacer la necesidad actual que tienen los operadores para poder controlar la integridad estructural de los componentes tubulares, es decir, oleoductos empleados como conductos de líquidos dentro de la industria de producción de hidrocarburos, ya que la presencia de grietas o defectos en estos oleoductos puede tener consecuencias desastrosas.

25 Hasta la fecha, los principales métodos de inspección utilizados dentro de cerdos de inspección en línea conocidos son los que se basan en los principios de fuga de flujo magnético (MFL) y ultrasonido, véase por ejemplo el número de patente estadounidense US 6.847.207.

30 El principio básico de los ensayos MFL es que se emplea un campo magnético potente para magnetizar el componente de prueba. En áreas en las que hay corrosión o falta de metal, el campo magnético "tiene fugas" del componente y esto se detecta mediante una sonda MFL. Por consiguiente, el método se usa solo con materiales ferromagnéticos. Para una señal repetible correcta es importante poder magnetizar totalmente el componente de prueba hasta la saturación. La necesidad de un campo magnético potente significa que en las industrias de exploración y producción de petróleo y gas se ha empleado el electromagnetismo para generar el campo magnético requerido.

35 Las pruebas ultrasónicas implican la introducción de una onda sonora de alta frecuencia en la pared de un tubo y se aplica la detección y el análisis subsiguientes de las ondas sonoras reflejadas para obtener información sobre el grosor de la pared. En general, la aplicación de herramientas ultrasónicas requiere un buen emparejamiento acústico entre los transductores de contacto y el objeto de prueba. El EMAT (transductor acústico electromagnético) y el ultrasonido por arreglo de fases se consideran como técnicas ultrasónicas ampliadas.

40 Cada vez se están empleando más nuevos tipos de oleoductos/gasoductos en la industria de petróleo y gas para permitir el transporte seguro de productos corrosivos a alta presión. Estos nuevos tipos de oleoductos incluyen: tuberías forradas de aleación resistente a la corrosión (ARC); tuberías revestidas de ARC; tuberías de ARC maciza; tuberías dúplex; tuberías súper dúplex; tuberías de acero al carbono macizo y tuberías de paredes pesadas empleadas para el transporte de gas seco. En general, estas nuevas clases de oleoductos tienen un grosor superior a las que se usaban tradicionalmente.

45 Por consiguiente, se está constatando cada vez más que las herramientas de inspección en línea son incapaces de controlar de forma fiable el estado de esos oleoductos. El primer lugar, las herramientas ultrasónicas que operan conforme al método de contacto requieren un buen acoplamiento entre los transductores de contacto y el objeto del ensayo y se debe superar la gran disparidad de la impedancia acústica del aire y la impedancia acústica del material del ensayo, lo que requiere usar un acoplante, por ejemplo, un material líquido o tipo gel que tenga una baja disparidad de impedancia acústica y, por consiguiente, un buen acoplamiento acústico entre los transductores y los conductos tubulares. Las variaciones del acoplante crean incoherencias en los datos medidos y en algunos entornos de ensayo (como los entornos a elevadas temperaturas) puede que haya importantes dificultades asociadas con lograr una distribución y consistencia apropiadas del acoplante y dificultades a la hora de evitar la degradación del material acoplante. Este problema se agrava dentro de oleoductos forrados de ARC no soldados o oleoductos revestidos no soldados, ya que estas herramientas no se pueden acoplar de forma eficiente a ese tipo de paredes principales de oleoductos. En este caso, estas herramientas solo podrán ser capaces de inspeccionar de forma limitada el forro o revestimiento interno, ya que los pulsos ultrasónicos no son capaces de propagarse más allá de las capas, revestimientos o forros de ARC no soldados.

50 Cuando se emplean técnicas de ensayo MFL, la relación del grosor del oleoducto con respecto al diámetro interior no suele permitir que se produzca suficiente magnetización (es decir, saturación) en el oleoducto. Debido a ello, las

técnicas MFL solo suelen ser operativas a una profundidad limitada dentro de las paredes de estos nuevos tipos de oleoducto.

5 Debido al consumo de corriente y los requisitos de almacenamiento de datos de los cerdos de inspección en línea, los dispositivos conocidos en la industria requieren tener un diseño conectado, es decir, se utilizan con un cable de conexión o umbilical que sirve para proporcionar un medio para suministrar la corriente para todos los componentes ubicados en el cerdo y para transmitir los datos generados a un lugar remoto con fines de almacenamiento y análisis. Un ejemplo de un dispositivo así se desvela en el número de publicación de patente estadounidense US 2011/191045.

10 Resumen de la invención

15 Un objetivo y propósito de la presente invención es proporcionar un método y un dispositivo que supere o mitigue los inconvenientes de las herramientas de inspección en línea anteriores de la industria. Otro objetivo y propósito de la invención es proporcionar un método y dispositivo alternativo a aquellos propuestos anteriormente en la industria y en particular uno que sea idóneo para usarlo con las últimas clases de oleoductos. Según se lea la siguiente descripción se podrán deducir propósitos y objetivos adicionales.

20 Conforme a un primer aspecto de la presente invención, se ha proporcionado una herramienta de inspección en línea autónoma para ensayos no destructivos de un componente tubular de prueba, tal como se define en la reivindicación 1.

25 Tener una herramienta de inspección en línea que emplea técnicas PSET permite que la herramienta opere en una gama más amplia de clases de oleoductos y, en particular, las nuevas clases de oleoductos/gasoductos que se emplean en la industria del petróleo y el gas, como tuberías forradas de ARC; tuberías revestidas de ARC; tuberías de ARC maciza; tuberías dúplex; tuberías súper dúplex; tuberías de acero al carbono macizo y tuberías de paredes pesadas. Los menores requisitos de potencia de PSET, cuando se compara con otras técnicas de ensayo no destructivas, y la mayor capacidad de almacenamiento de datos de los módulos de control y almacenamiento de datos dan como resultado una herramienta de inspección que puede tener un diseño autónomo o de libre inmersión, es decir, no se requiere que la herramienta de inspección esté conectada a la superficie a través de un cable o un umbilical. Esto proporciona a la herramienta de inspección que se está describiendo un mayor grado de flexibilidad cuando se compara con las herramientas de inspección en línea conocidas en la industria.

Preferentemente, la herramienta de inspección en línea autónoma comprende además uno o más módulos de batería.

35 Se puede emplear un módulo de batería exclusivo para la herramienta de inspección en línea porque las técnicas PSET requieren unos niveles mucho más bajos de magnetización del componente de prueba cuando se comparan con las técnicas de ensayo conocidas, como el ensayo MFL. Debido a ello, se puede alcanzar una funcionalidad íntegra de la herramienta de inspección en línea con una fuente magnética de CC permanente y, de este modo, se elimina cualquier necesidad de emplear un umbilical o cable para suministrar corriente a uno o más electroimanes.

40 Preferentemente al menos uno de los módulos de batería constará de electrónica de conmutación. Por consiguiente, este módulo de batería actuará como el módulo de batería maestro.

45 La herramienta de inspección en línea puede que conste además de uno o más módulos de detección de grietas. El módulo de detección de grietas puede que conste al menos de un sensor de corriente de Foucault. Es una ventaja que la herramienta de inspección en línea comprenda un módulo de detección de grietas separado, ya que se ha encontrado que esos componentes son más fiables para detectar grietas dentro de las soldaduras de un oleoducto y también que pueden detectar grietas de poca longitud.

50 Opcionalmente, la herramienta de inspección en línea constará además de un módulo de marcador y remolque. El módulo de marcador y remolque puede que conste de un transmisor que proporcione un medio para rastrear la ubicación de la herramienta de inspección en línea. Preferentemente el módulo de marcador y remolque constará de una fuente de alimentación exclusiva. El módulo de marcador y remolque puede que conste de una o más ventosas de sellado.

55 Opcionalmente, la herramienta de inspección en línea constará además de un odómetro. El odómetro puede que conste de un medio para registrar la información sobre la distancia.

60 Lo preferible es que la herramienta de inspección en línea conste además de un módulo de control y almacenamiento de datos. El módulo de control y almacenamiento de datos puede que conste de un conector de interfaz que proporcione un medio de comunicación inalámbrico para la herramienta de inspección en línea.

65 Preferentemente, el módulo PSET (o más, si los hay) constará de un módulo de electrónico PSET y un módulo de sensores y magnetizador PSET en el que el módulo de electrónica PSET reciba y procese señales de medición analógica detectadas por uno o más sensores del módulo de sensores y magnetizador PSET.

Lo preferible es que uno o más módulos PSET consten de una o más unidades PSET en las que la unidad PSET conste del imán permanente variable y al menos de un sensor de corriente de Foucault. La unidad PSET podrá estar montada pivotantemente entre las ruedas estabilizadoras.

5 Preferentemente al menos un sensor de corriente de Foucault estará colocado entre los polos del imán permanente variable.

10 Conforme a un segundo aspecto de la presente invención, se ha proporcionado un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba; el método consiste en:

- mover una placa de soporte conectada entre los polos de un imán permanente variable de una herramienta de inspección en línea autónoma para establecer la intensidad del campo magnético de CC de un imán variable de una herramienta de inspección en línea autónoma a un punto de retentividad de una curva de histéresis magnética del componente tubular de prueba;
- 15 - localizar la herramienta de inspección en línea autónoma dentro del componente tubular de prueba para saturar parcialmente el componente tubular con el campo magnético de CC establecido;
- emplear al menos un sensor de corriente de Foucault de la herramienta de inspección en línea para llevar a cabo una prueba de corriente de Foucault en el componente tubular de prueba parcialmente saturado.

20 Lo preferible es que la prueba de corriente de Foucault consista en una prueba de corriente de Foucault en modo diferencial.

25 La prueba de corriente de Foucault diferencial puede consistir en detectar la amplitud y una fase de una o más señales de corriente de Foucault. Preferentemente se emplean la amplitud y fase detectadas de una o más señales de corriente de Foucault para identificar uno o más defectos dentro del componente tubular de prueba.

30 Para tener una variedad de criterios de detección de defectos de la herramienta de inspección en línea autónoma, se podrán implementar en la herramienta sensores individuales o múltiples de corriente de Foucault del modo absoluto, modo diferencial, modo de bobina de transmisión/recepción o modo de semitransmisión.

35 Establecer la intensidad del campo magnético de CC del imán variable de la herramienta de inspección en línea autónoma puede consistir en:

- localizar la herramienta de inspección en línea autónoma con una primera superficie de una muestra de referencia; la muestra de referencia consta de un defecto artificial incorporado en una segunda superficie opuesta de la misma;
- variar la intensidad del campo magnético de CC del imán variable para verificar la intensidad del campo magnético de CC que coincida con la máxima amplitud de una señal detectada por el sensor de corriente de Foucault.

40 El método consiste preferentemente en registrar resultados de datos PSET según la herramienta de inspección en línea autónoma se vaya moviendo a lo largo del componente tubular de prueba.

El método puede consistir además en registrar la distancia recorrida o la velocidad de la herramienta de inspección en línea autónoma al moverse a lo largo del componente tubular de prueba.

45 Preferentemente el método consiste además en emplear al menos un sensor de corriente de Foucault de la herramienta de inspección en línea autónoma para llevar a cabo una prueba de corriente de Foucault en el componente tubular no saturado. Se ha encontrado que este tipo de pruebas es útil para detectar la presencia de grietas dentro del componente tubular.

50 Opcionalmente una prueba de funcionamiento de la herramienta de inspección en línea autónoma consiste en uno o más pases de la herramienta a lo largo del componente tubular.

55 La materialización del segundo aspecto de la invención puede comprender funciones preferibles u opcionales de la herramienta de inspección en línea autónoma del primer aspecto de la invención o viceversa.

Breve descripción de los planos

60 Ahora se describirá, solo a modo de ejemplo, diversas materializaciones de la invención con referencia a los planos, de los cuales:

La Figura 1 presenta una representación esquemática de una herramienta de inspección en línea autónoma con un aspecto de la presente invención;

65 La Figura 2 presenta una vista en perspectiva de un módulo de sensores y magnetizador PSET incorporado dentro de la herramienta de inspección en línea autónoma de la Figura 1;

La Figura 3 presenta una vista en perspectiva de una unidad PSET incorporada dentro del módulo de sensores y magnetizador PSET de la Figura 2;

5 La Figura 4 presenta un ejemplo de curva de histéresis que se produce cuando se aplica un campo magnético de CC a un componente de prueba, p. ej. un oleoducto;

La Figura 5 presenta representaciones esquemáticas de un campo magnético de CC aplicado a un material ferromagnético, p. ej. un oleoducto;

10 La Figura 6 presenta el ejemplo de un gráfico de la permeabilidad relativa  $\mu_r$  con respecto a la intensidad del campo magnético producido por una unidad PSET de la Figura 3; y

15 La Figura 7 presenta el ejemplo de una respuesta de señal producida por un sensor diferencial de corriente de Foucault de la unidad PSET de la Figura 3.

En la descripción que se ofrece a continuación, las piezas están marcadas en toda la especificación y los planos con los mismos números de referencia. Los planos no están hechos necesariamente a escala y las proporciones de determinadas piezas se han exagerado para ilustrar mejor los detalles y las características de las ventajas de la invención.

#### Descripción detallada

25 Ahora se describirá una herramienta de inspección en línea autónoma de conformidad con un aspecto de la presente invención con referencia a la Figura 1. En particular, la Figura 1 presenta una representación esquemática de la herramienta de inspección en línea autónoma 1 que, moviéndose de izquierda a derecha, se puede ver que comprende: un módulo de marcador y remolque ; dos módulos de batería y ; un odómetro ; un módulo de control y almacenamiento de datos ; un módulo de electrónica de ensayos de corriente de Foucault de saturación parcial (PSET) ; un módulo de sensores y magnetizador PSET; un módulo de sensor de grietas y un módulo de electrónica de ensayos de grietas . Ahora se describirá por turnos la función de cada uno de estos componentes individuales.

30 El módulo de marcador y remolque 2 consta de una bobina de transmisor de baja frecuencia (no se muestra) que permite rastrear la ubicación de la herramienta de inspección en línea 1. Este módulo lleva preferentemente su propia fuente de alimentación, p. ej. una batería, que mantiene el funcionamiento del transmisor incluso cuando el resto de la herramienta está apagada o si se han agotado los dos módulos de batería de la herramienta 3 y 4. El módulo de marcador y remolque 2 remolca con efectividad el resto de la herramienta de inspección en línea autónoma 1. Por consiguiente, el módulo de marcador y remolque 2 está equipado con un número idóneo de ventosas de sellado.

35 Los módulos de batería 3 y 4 constan preferentemente de un módulo maestro 4 que comprende celdas electrolíticas y electrónica de conmutación y un módulo esclavo 3 que solo lleva celdas electrolíticas. Debido al hecho de que los módulos esclavos se pueden organizar en cascada, se podrán agregar fácilmente más módulos esclavos 3 según y cuando se requiera, p. ej. para usarlos en oleoductos más largos.

40 El odómetro 5 consta de una o más ruedas que suministran el cálculo de una rueda odómetro virtual (no se muestra) con el fin de proporcionar información sobre la distancia que se cubre y la velocidad de la herramienta de inspección en línea 1. El odómetro 5 también proporciona un medio para asignar la información de distancia grabada a los datos de inspección adquiridos.

45 El módulo de control y almacenamiento de datos 6 contiene la unidad de control de la herramienta (no se muestra) que dirige la herramienta de inspección en línea autónoma general 1 de conformidad con los parámetros de entrada. Este módulo 6 se comunica inalámbricamente a través de un conector de interfaz (no se muestra) con el mundo exterior, p. ej. un portátil empleado para operar la herramienta de inspección en línea autónoma 1. Preferentemente el módulo de control y almacenamiento de datos 6 consta de una o más tarjetas de memoria flash para grabar los datos de inspección. Al terminar una prueba de funcionamiento, los datos de inspección solo se tendrán que descargar a un portátil o una unidad de memoria USB para tratarse posteriormente.

50 La función del módulo de electrónica PSET 7 es recibir las señales de medición analógicas de los sensores de corriente de Foucault que se encuentran dentro del módulo de sensores y magnetizador PSET 8. Después de incorporar y tomar muestras de estas señales de medición, el módulo de electrónica PSET 7 organizará los datos de inspección en archivos. Entonces los archivos se transmitirán al módulo de control y almacenamiento de datos 6 para su almacenamiento.

55 Dentro de la Figura 2 se proporcionan más detalles del módulo de sensores y magnetizador PSET 8. Se puede ver que el módulo de sensores y magnetizador PSET 8 consta de una forma sustancialmente cilíndrica con juntas universales montadas en los extremos opuestos respectivos. Dos o más unidades PSET se encuentran entre las juntas

universales 14. Más abajo se proporcionan más detalles de las unidades PSET 15 con referencia a la Figura 3. Hay cuatro ruedas estabilizadoras montadas pivotantemente entre los extremos de cada unidad PSET 15 y una junta universal correspondiente.

5 Como se puede ver en la Figura 3, cada unidad PSET 15 comprende una matriz de sensores de corriente de Foucault 13 ubicados más o menos céntricamente entre piezas polares y de un imán permanente. Los imanes permanentes 19 y sensores de corriente de Foucault 13 se mantienen a una distancia constante predeterminada desde la superficie del tubular mediante las ruedas estabilizadoras 16.

10 Las piezas polares 17 y 18 del imán permanente 19 se han dispuesto para aplicar un campo magnético de CC al tubo en el volumen que está adyacente radialmente a la matriz de sensores de corriente de Foucault 13. La presencia de una placa de soporte, conectada entre la parte trasera de los polos 17 y 18 y que se puede mover en una dirección que es sustancialmente paralela a un eje del módulo de sensores y magnetizador PSET 8 proporciona un medio para ajustar la intensidad del campo magnético de CC aplicado 20.

15 Las unidades PSET 15 se conectan mediante cables al módulo de electrónica PSET 7.

Cada unidad PSET 15 se puede operar en un modo diferencial de corriente de Foucault, que es muy sensible a defectos localizados en el tubo. La unidad PSET 15 también se podrá operar de forma selectiva en un modo absoluto, modo multidiferencial, modo de bobina de transmisión/recepción o modo de semitransmisión. Sin embargo, tal como se trata con más detalle más abajo con referencia a la Figura 4, como PSET es una medición de cambios relativos en permeabilidad, en la práctica la técnica es más útil cuando se aprovecha en el modo diferencial, usándose para detectar y analizar defectos localizados como pequeños agujeros e imperfecciones.

20 El módulo de sensor de grietas 9 comprende sensores de grietas basados en la detección de corriente de Foucault de transmisión y recepción (no se muestran) que se alojan preferiblemente dentro de carcasas de plástico. El módulo de electrónica de ensayos de grietas 10 se emplea para recibir las señales de medición analógicas de los sensores de grietas. Después de incorporar y tomar pruebas de estas señales de medición, el módulo de electrónica de ensayos de grietas 10 organizará los datos de inspección en archivos. Entonces los archivos se podrán transmitir al módulo de control y almacenamiento de datos 6 para su almacenamiento.

25 En comparación con la unidad PSET 15, los sensores de grietas y la electrónica asociada proporcionan una mayor sensibilidad con respecto a la detección de grietas dentro del oleoducto inspeccionado.

30 La herramienta de inspección en línea autónoma 1 puede comprender más componentes adicionales para garantizar un funcionamiento fiable y seguro in situ, incluidos receptores de rastreo y localización de la herramienta, así como equipos adecuados para lanzar y recibir la herramienta.

35 El lector capacitado apreciará el hecho de que una o más de las unidades descritas se podrán combinar en una sola unidad. Por ejemplo, el módulo de electrónica PSET 7 y el módulo de sensores y magnetizador PSET 8 se podrán combinar para constituir un solo módulo PSET. De forma similar, el módulo de sensor de grietas 9 y el módulo de electrónica de ensayos de grietas 10 se podrán combinar para constituir un solo módulo de detección de grietas.

40 Funcionamiento de la herramienta de inspección en línea

45 Ahora se ofrecerá una explicación de las técnicas PSET y, a partir de ahí, se describirá el funcionamiento de la herramienta de inspección en línea autónoma 1 con referencia a las Figuras 4 a 6.

50 En particular, la Figura 4 proporciona una curva de histéresis típica que se produce cuando se aplica un campo magnético de CC 20 a un material ferromagnético (por ejemplo, un componente tubular como un oleoducto), tal como se ilustra en la Figura 5. Como se ha comentado antes, las técnicas MFL implican aplicar un campo magnético al material ferromagnético que se está inspeccionando para que se sature el material por completo, por ejemplo, colocando el material lo más cerca posible del punto "a" o "d" de la curva de histéresis. En la industria de petróleo y gas esto ha requerido históricamente la utilización de potentes electroimanes. Por comparación, los inventores han encontrado que se puede emplear una técnica PSET que solo requiere generar una intensidad de campo magnético de CC 20 suficiente para "saturar parcialmente" el material de prueba como una técnica de ensayo no destructiva eficiente y altamente sensible para detectar defectos dentro del material ferromagnético 24 (p. ej., detección de corrosión en la superficie exterior de un oleoducto). En este contexto, "saturación parcial" se refiere al punto de la curva de histéresis donde la densidad de flujo exhibe su tasa de cambio más elevada, por ejemplo, en los puntos de retentividad "b" o "e" de la Figura 4, dependiendo de la polaridad del campo magnético de CC aplicado 20.

55 Se encuentra que la "saturación parcial" del componente de prueba tiene diversos efectos, lo que también se tratará con referencia a la Figura 5. En primer lugar, cambia la permeabilidad del material de prueba 24 y, por tanto, se incrementa la profundidad de penetración de los sensores de corriente de Foucault 13. Al mismo tiempo, se hacen visibles los cambios en la permeabilidad debido a una distribución distinta del flujo, véase por ejemplo la Figura 5(b).

Debido a ello, ahora los sensores de corriente de Foucault 13 pueden detectar defectos ocultos en el componente de prueba 24.

El principio de medición se puede comparar a la medición MFL, pero el sistema funciona a unos niveles mucho más bajos de magnetización. Y como solo se requieren unos niveles moderados de magnetización, el método funciona con tuberías con un mayor grosor de pared o a través de varios milímetros de grosor de revestimiento. El revestimiento de los componentes de prueba puede ser incluso metálico si la frecuencia operativa de los sensores de corriente de Foucault 13 es variada. Se deben considerar la tasa de señal/ruido óptima y la preparación de fases de señal entre las indicaciones de defectos internos y otras indicaciones a la hora de seleccionar una frecuencia operativa idónea para los sensores de corriente de Foucault 13.

Como las señales de los sensores de corriente de Foucault 13 son una medición de la impedancia compleja de las bobinas, se pueden representar en un plano. Por tanto, las señales detectadas tienen una amplitud y una fase y la selección apropiada de la fase permite discriminar entre los tipos de defectos específicos. Por consiguiente, la combinación del módulo de electrónica PSET 7 y el módulo de sensores y magnetizador PSET 8 es capaz de detectar los siguientes tipos de defectos:

- 1) Defectos de pérdida de metal externa;
- 2) Defectos de pérdida de metal interna;
- 3) Defectos tipo grietas internas;
- 4) Defectos de erosión; y
- 5) Pérdida de masa interna.

Para el lector capacitado será obvio que PSET es una técnica de ensayo relativa o comparativa y, por tanto, la herramienta de inspección en línea autónoma 1 se deberá calibrar en muestras de referencia con daños y defectos artificiales con el fin de identificar el tipo y la gravedad de un defecto. Sin embargo, como la permeabilidad relativa  $\mu_r$  de un material de prueba 24 es una función de la intensidad del campo magnético aplicada al material 24, se podrá explorar este hecho para encontrar el punto de retentividad "b" o "e" aumentando simplemente la intensidad aplicada del campo magnético desde cero (0) A/m hasta un nivel máximo. En el gráfico que se presenta en la Figura 6 se puede ver que el punto más alto de permeabilidad relativa  $\mu_r$  es en un nivel exclusivo que depende del grosor de pared del material de prueba 24.

Además, se pueden emplear los sensores de corriente de Foucault 13 de la unidad PSET 15 para ayudar a encontrar el punto de máxima permeabilidad relativa en un componente tubular de calibración. En primer lugar, la herramienta de inspección en línea autónoma 1 está ubicada dentro del componente tubular de calibración de tal modo que una de las unidades PSET 15 está colocada en un punto de la superficie interior del componente tubular de calibración que está frente a un defecto artificial ubicado en la superficie externa, véase por ejemplo la Figura 5(b). A continuación, el sensor de corriente de Foucault diferencial 13 se equilibra a cero. Entonces la intensidad del campo magnético de CC 20 se incrementa desde cero moviendo la placa de soporte 21. Esto da lugar a una respuesta de señal típica del sensor diferencial como la que se presenta en la Figura 7. Cuando la intensidad del campo magnético 20 se incrementa más, la amplitud aumentará hasta alcanzar su valor máximo. Este valor máximo de la señal de la corriente de Foucault se corresponde con la permeabilidad relativa máxima y, por tanto, con la posición "b" o "e" de la curva de histéresis.

Con las intensidades de campo magnético de CC 20 de las unidades PSET 15 listas para coincidir con la amplitud máxima experimentada por los sensores de corriente de Foucault 13 durante la calibración, la herramienta de inspección en línea 1 se podrá lanzar al oleoducto y se podrá llevar a cabo la inspección del estado del componente tubular.

Según la herramienta de inspección en línea autónoma 1 se vaya moviendo a lo largo del oleoducto, el módulo de electrónica PSET 7 y el módulo de sensores y magnetizador PSET 8 recopilarán y procesarán resultados de datos PSET.

En este momento, el odómetro 5 podrá recopilar los datos relativos a la distancia recorrida y la velocidad de la herramienta de inspección en línea autónoma 1.

De forma similar, se podrán emplear el módulo de sensor de grietas 9 y un módulo de electrónica de ensayos de grietas 10 para recopilar y procesar más datos relativos a la presencia de grietas internas dentro del oleoducto.

Aunque el módulo de sensores y magnetizador PSET 8 es capaz de detectar defectos tipo grietas internas, el hecho de que la herramienta de inspección en línea autónoma 1 conste de módulos de sensor de grietas separados 9 proporciona una serie de ventajas. En particular estos componentes son más fiables para detectar grietas dentro de soldaduras del oleoducto, en el ARC o la capa de revestimiento y también se ha encontrado que pueden detectar grietas de menor longitud.

Entonces, los datos recopilados y procesados por los diversos módulos de la herramienta de inspección en línea autónoma 1 se guardarán dentro del módulo de control y almacenamiento de datos 6.

5 Al completar una prueba de funcionamiento, los datos de inspección se descargarán fácilmente del módulo de control y almacenamiento de datos 6 a una unidad de procesamiento computacional externa (como un portátil) o una unidad de almacenamiento de memoria (como una unidad de memoria USB) para que se procesen posteriormente a su debido tiempo.

10 Para obtener unos resultados fiables, se recomienda que se haga un funcionamiento de prueba de la herramienta de inspección en línea autónoma 1 que comprenda uno o más pases de la herramienta 1 a lo largo del oleoducto.

15 La herramienta de inspección en línea descrita 1 proporciona una serie de importantes ventajas sobre los dispositivos y métodos conocidos en la industria. En primer lugar, usar técnicas PSET permite que la herramienta de inspección en línea 1 opere con una gama más amplia de oleoductos y, en particular, las nuevas clases de oleoductos/gasoductos que se emplean en la industria del petróleo y el gas, como tuberías forradas de ARC; tuberías revestidas de ARC; tuberías de ARC maciza; tuberías dúplex; tuberías súper dúplex; tuberías de acero al carbono macizo y tuberías y oleoductos de paredes pesadas que son difíciles de limpiar.

20 Una segunda ventaja surge del hecho de que PSET requiere unos niveles de magnetización significativamente más bajos de un componente de prueba cuando se compara con las técnicas de ensayo MFL conocidas. Debido a ello, la funcionalidad total de la herramienta de inspección en línea 1 se puede conseguir empleando uno o más módulos de baterías. Esto ofrece una ventaja significativa, ya que la herramienta de inspección en línea 1 no requiere emplear un umbilical o cable para proporcionar corriente a uno o más electroimanes, como es el caso en herramientas de inspección en línea configuradas para realizar ensayos MFL, es decir, tiene un diseño autónomo. En vez, se emplean imanes permanentes variables de baja potencia.

25 A diferencia de los ensayos ultrasónicos, la herramienta de inspección en línea descrita 1 no requiere el uso de líquido de acoplamiento. Debido a ello, se reducen los requisitos de limpieza con respecto a aquellas herramientas que emplean técnicas de ensayo ultrasónicas.

30 La herramienta de inspección en línea autónoma 1 ha logrado inspeccionar con precisión tuberías de acero al carbono con grosores de pared de hasta 32 mm. Se trata de grosores que son el doble de lo que se puede conseguir con técnicas de ensayo MFL.

35 A lo largo de la especificación, a menos que el contexto exija algo distinto, se entenderá que los términos "comprender" o "incluir" o variaciones como "comprende" o "comprenden", "incluye" o "incluyen" implican la inclusión de un entero o grupo de enteros declarados, pero no la exclusión de cualquier otro entero o grupo de enteros.

40 Además, la referencia a cualquier tipo anterior en la descripción no se deberá tomar como indicación de que el tipo anterior forma parte de los conocimientos generales comunes.

45 La descripción anterior de la invención se ha presentado con fines ilustrativos y descriptivos y no está pensada para que sea exhaustiva o para limitar la invención a la forma exacta descrita. Las materializaciones descritas se han elegido y descrito con el fin de explicar lo mejor posible los principios de la invención y su aplicación práctica para permitir de esta manera a otros con competencia en este sector que utilicen de la mejor manera la invención en sus diversas materializaciones y con diversas modificaciones que se ajusten al uso específico que se contemple. Por consiguiente, puede que se incorporen más modificaciones o mejoras sin alejarse del alcance de la invención tal como se define en las declaraciones del anexo.

REIVINDICACIONES

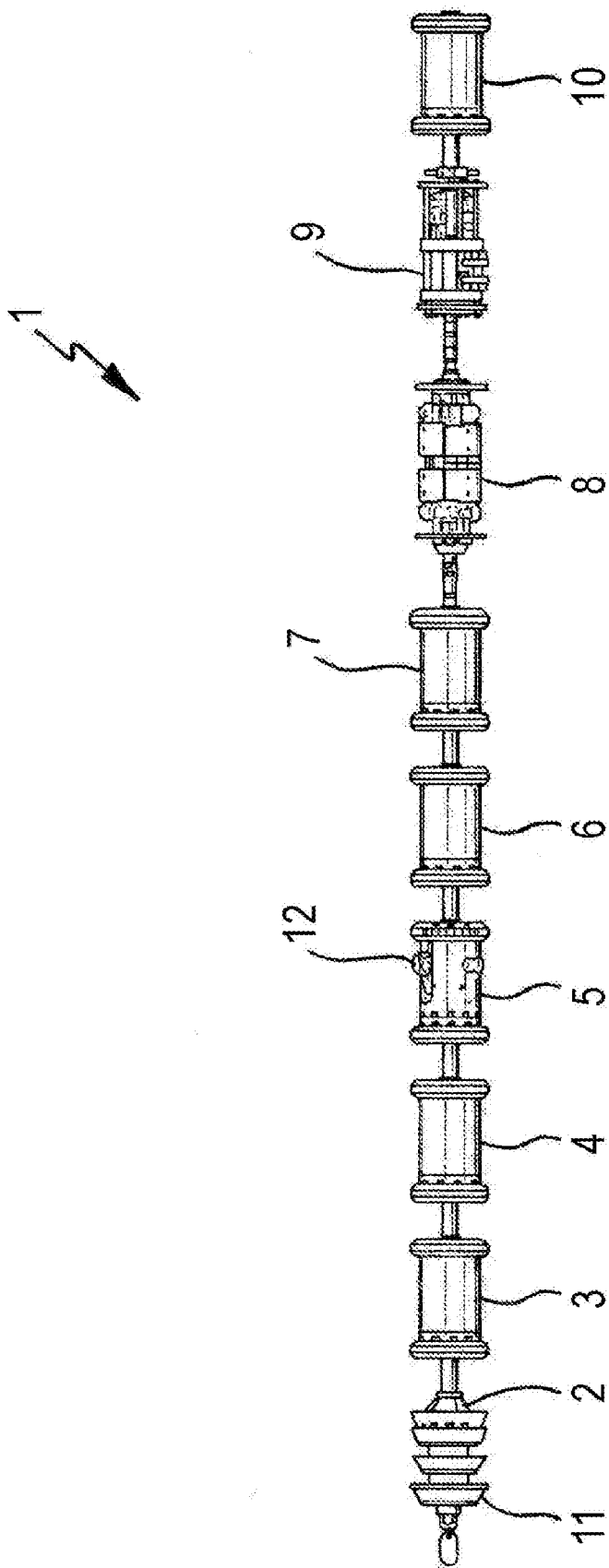
- 1) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) para ensayos no destructivos de un componente tubular de prueba, la herramienta de inspección en línea (1) consta de uno o más módulos de ensayo de corriente de Foucault de saturación parcial (PSET) (7, 8) configurados para localizar defectos en una superficie interna del componente de prueba, el o los módulos PSET (7, 8) constan de un imán permanente de intensidad variable (19) para generar un campo magnético de CC variable dentro del componente de prueba y al menos un sensor de corriente de Foucault (13) que se caracteriza por que el imán permanente variable (19) comprende una placa de soporte (21) conectada entre polos (17, 18) del imán permanente variable (19), el o los módulos PSET (7,8) que se configuran para mover la placa de soporte (21) en relación con los polos (17, 18) con el fin de proporcionar un medio para ajustar la intensidad del campo magnético de CC generada por el imán permanente (19) a un punto de retentividad de una curva de histéresis magnética del componente tubular de prueba.
- 2) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) como se reivindica en la reivindicación 1 donde la herramienta de inspección en línea (1) consta además de uno o más módulos de batería (3, 4).
- 3) Una herramienta de inspección en línea autónoma tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2 donde la herramienta de inspección en línea (1) consta además de uno o más módulos de detección de grietas (9) o un módulo de marcador y remolque (2).
- 4) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en la reivindicación 3 donde el módulo de marcador y remolque (2) comprende un transmisor que proporciona un medio para poder rastrear la ubicación de la herramienta de inspección en línea o una fuente de alimentación o una o más ventosas de sellado (11).
- 5) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la herramienta de inspección en línea (1) comprende además un odómetro (5), donde el odómetro (5) constituye un medio para registrar información sobre distancia.
- 6) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la herramienta de inspección en línea (1) consta además de un módulo de control y almacenamiento de datos (6).
- 7) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el o los módulos PSET (7, 8) constarán de un módulo de electrónica PSET (7) y un módulo de sensores y magnetizador PSET (8) en el que el módulo de electrónica PSET (7) reciba y procese señales de medición analógica detectadas por uno o más sensores (13) del módulo de sensores y magnetizador PSET (8).
- 8) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde uno o más módulos PSET (8) consten de una o más unidades PSET (15) en las que la unidad o unidades SET (15) consten del imán permanente variable (19) y al menos de un sensor de corriente de Foucault (13).
- 9) Una herramienta de inspección en línea autónoma (1) tal como se reivindica en la reivindicación 8 donde la unidad o unidades PSET (15) estén montadas pivotantemente entre las ruedas estabilizadoras (16).
- 10) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba; el método comprende:  
 - mover una placa de soporte (21) conectada entre los polos (17, 18) de un imán permanente variable (19) de una herramienta de inspección en línea autónoma (1) para establecer la intensidad del campo magnético de CC del imán variable (19) a un punto de retentividad de una curva de histéresis magnética del componente tubular de prueba;  
 - localizar la herramienta de inspección en línea autónoma (1) dentro del componente tubular de prueba para saturar parcialmente el componente tubular con el campo magnético de CC establecido;  
 - emplear al menos un sensor de corriente de Foucault (13) de la herramienta de inspección en línea autónoma (1) para llevar a cabo una prueba de corriente de Foucault en el componente tubular de prueba parcialmente saturado.
- 11) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba tal como se reivindica en la reivindicación 10 donde la prueba de corriente de Foucault comprende un test de corriente de Foucault en modo diferencial que consiste en detectar la amplitud y una fase de una o más señales de corriente de Foucault.
- 12) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, donde el establecimiento de una intensidad de campo magnético de CC del imán variable de la herramienta de inspección en línea (1) consistirá en:  
 - localizar la herramienta de inspección en línea autónoma (1) con una primera superficie 1 de una muestra de referencia; la muestra de referencia consta de un defecto artificial incorporado en una segunda superficie opuesta;

- variar la intensidad del campo magnético de CC del imán variable (19) para verificar la intensidad del campo magnético de CC que coincida con la máxima amplitud de una señal detectada por el sensor de corriente de Foucault.

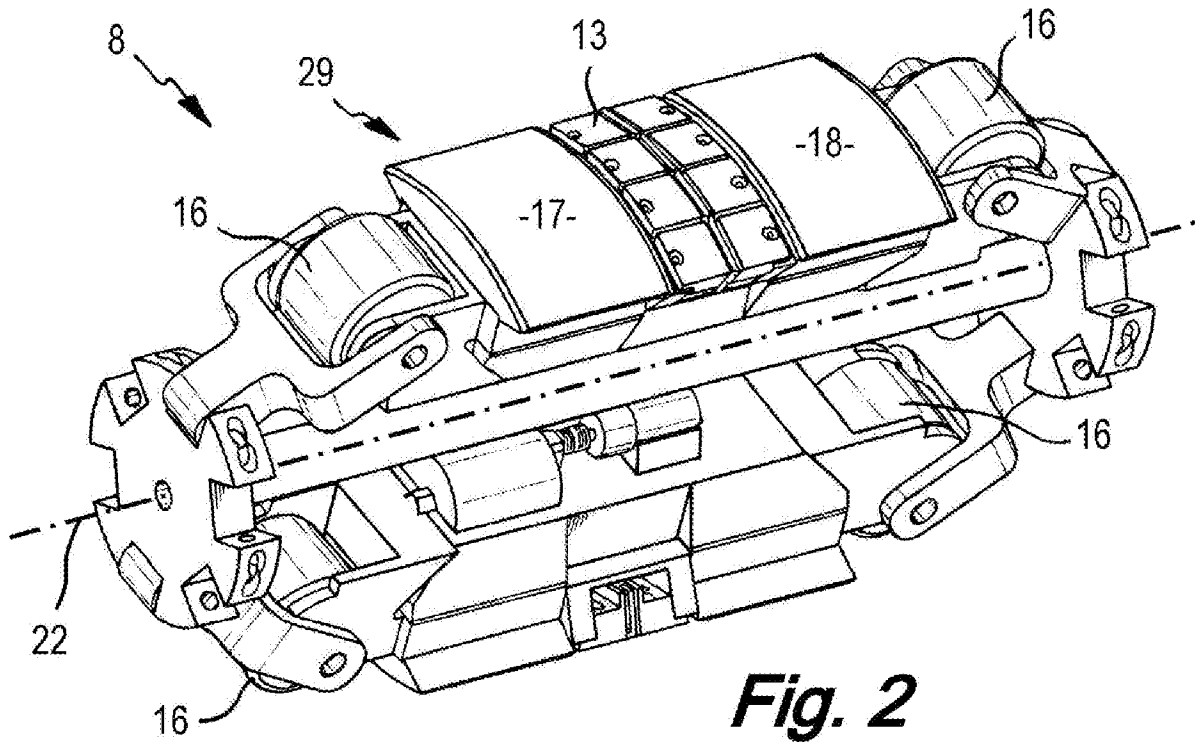
5 13) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12 donde el método consistirá además en grabar los resultados de los datos PSET según la herramienta de inspección en línea autónoma (1) se vaya moviendo a lo largo del componente tubular de prueba o registrar la distancia cubierta o la velocidad de la herramienta de inspección en línea autónoma cuando está moviéndose por el componente tubular de prueba.

10 14) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13 donde el método consiste además en emplear al menos un sensor de corriente de Foucault (13) de la herramienta de inspección en línea autónoma (1) para llevar a cabo una prueba de corriente de Foucault en el componente tubular de prueba no saturado.

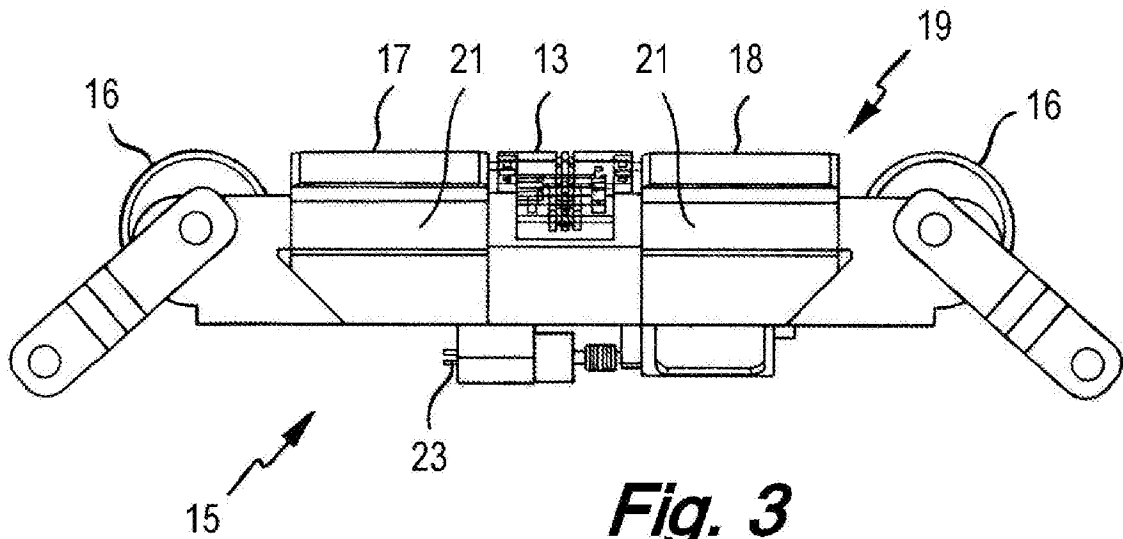
15 15) Un método de ensayo no destructivo de un componente tubular de prueba tal como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14 donde el método consiste además en hacer que la herramienta de inspección en línea autónoma (1) pase a lo largo del componente tubular de prueba una o más veces.



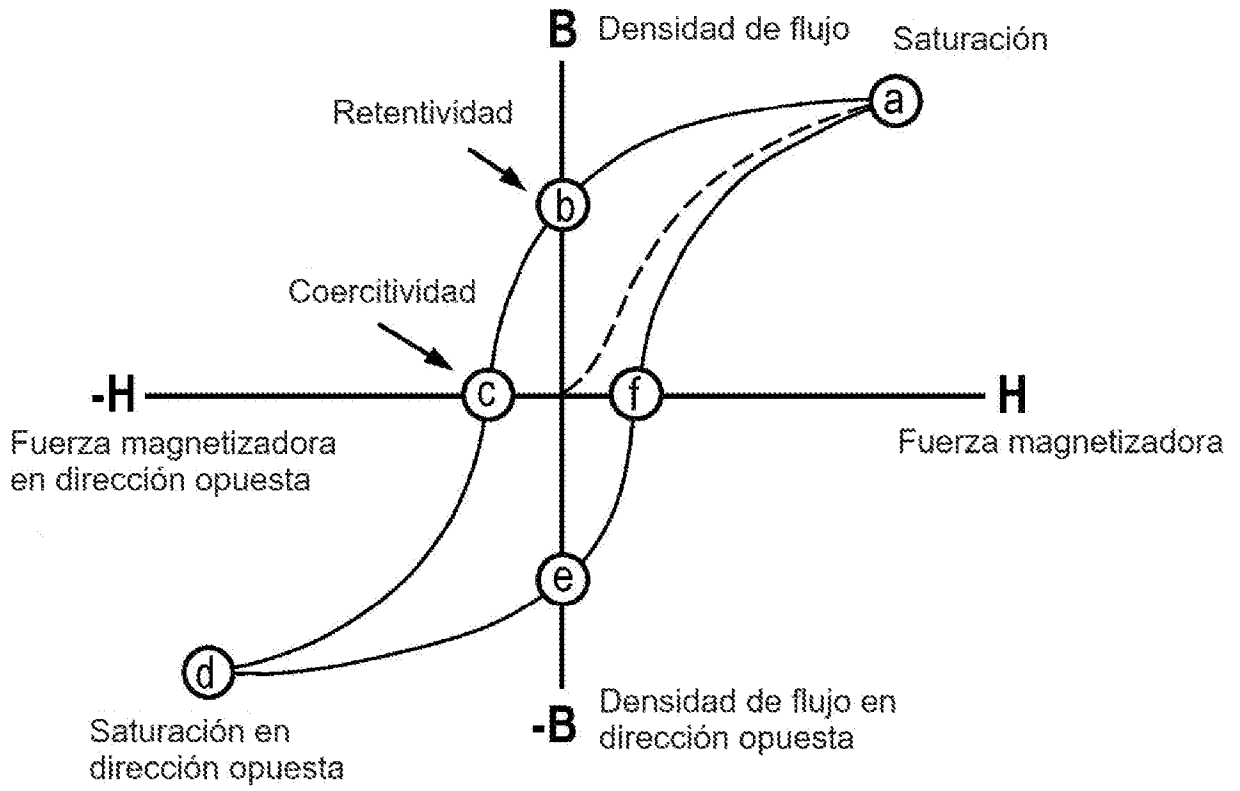
**Fig. 1**



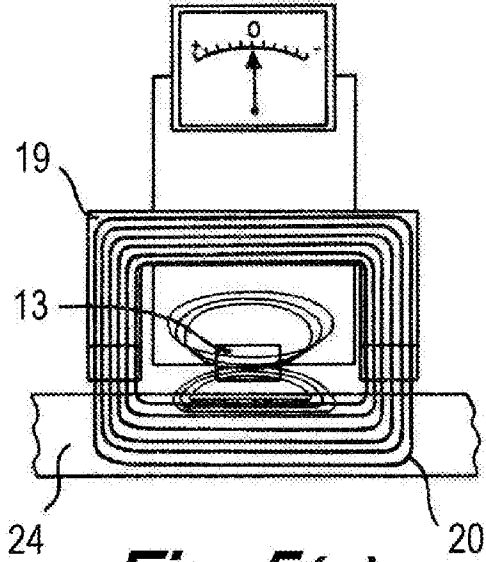
**Fig. 2**



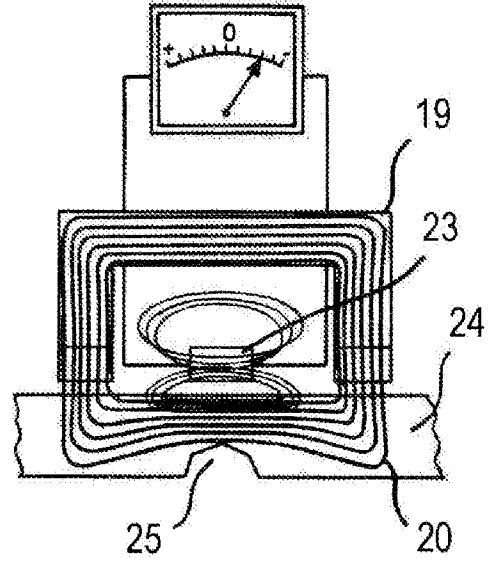
**Fig. 3**



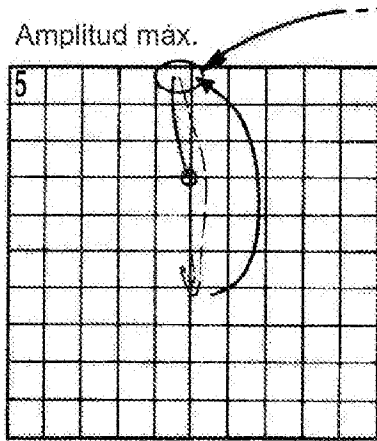
***Fig. 4***



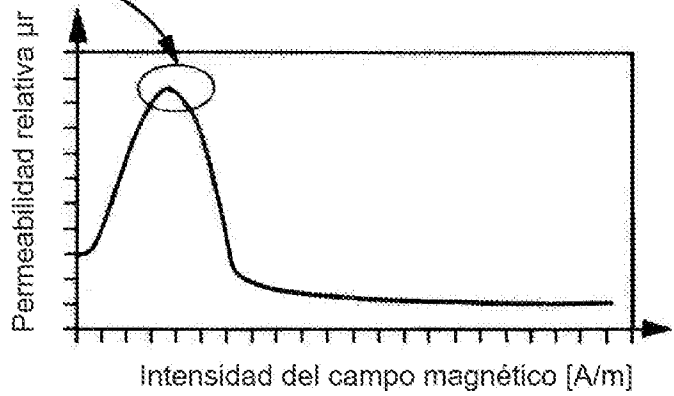
**Fig. 5(a)**



**Fig. 5(b)**



**Fig. 7**



**Fig. 6**