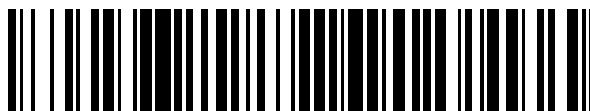


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 481**

51 Int. Cl.:

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G01N 29/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.02.2013 PCT/FR2013/050420**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.09.2013 WO13135988**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.02.2013 E 13711077 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2825876**

54 Título: **Dispositivo de sondeo de múltiples sensores ultrasónicos y su procedimiento de fabricación, método de controlar tal dispositivo y programa de ordenador correspondiente**

30 Prioridad:

15.03.2012 FR 1252354

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

11.02.2020

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
25, Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D"
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

CASULA, OLIVIER

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 741 481 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

Dispositivo de sondeo de múltiples sensores ultrasónicos y su procedimiento de fabricación, método de controlar tal dispositivo y programa de ordenador correspondiente

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de sondeo ultrasónico provisto de una pluralidad de sensores y a un método de fabricación de dicho dispositivo. También se refiere a un método para controlar los sensores de una sonda ultrasónica y a un programa de ordenador correspondiente.

En concreto, la invención se aplica en el campo de la imagen médica, así como de ensayos no destructivos de piezas mecánicas, en particular piezas que tienen una forma compleja o que son susceptibles de tener defectos difíciles de detectar.

10 En la descripción siguiente y en las reivindicaciones se emplea la siguiente terminología.

Una onda ultrasónica, o ultrasonido, es una onda mecánica de frecuencias superiores a 20.000 Hertz que se propagan en un medio sólido, líquido o gaseoso.

15 Los términos "posición u orientación de un elemento X con respecto a un elemento Y" significan "posición u orientación de una referencia relacionada con el elemento X con respecto a una referencia relacionada con el elemento Y".

20 Los dispositivos de sondeo ultrasónicos más simples contienen un único sensor con un solo elemento transductor. Para dirigir una onda emitida por este elemento transductor en una dirección determinada se puede interponer una cuña o prisma acústico (del inglés "wedge"), generalmente de plástico rígido, entre el sensor y la pieza a inspeccionar. La inclinación de la cuña implica la refracción de las ondas emitidas por el elemento transductor. Sin embargo, estos dispositivos simples están siendo reemplazados cada vez más por dispositivos de elementos múltiples. En estos nuevos dispositivos, los diversos elementos son transductores idénticos generalmente dispuestos alineados o en una matriz, que son activados sucesivamente por la emisión de señales de control recibidas de acuerdo con una ley de retardo, que permitiendo que resulte un haz ultrasónico del conjunto de señales ultrasónicas emitidas por estos transductores enfocando en un punto específico.

25 El término "idéntico" significa que los transductores están diseñados para tener idénticas dimensiones geométricas y características de emisión ultrasónica, con dispersiones de fabricación generalmente del orden del 10% en lo que respecta a las dimensiones geométricas y a características de direccionalidad resultantes. En particular, todos los transductores presentan, en relación a su geometría común, un cono de dirección idéntico (dentro del 10%), estando definido este cono de dirección por una dirección principal media y un ángulo de funcionamiento efectivo en torno a esta dirección principal media.

30 Así, más particularmente, la invención se refiere a un dispositivo de sondeo ultrasónico que comprende:

- un alojamiento,
 - medios para determinar una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque que representan una posición deseada de un punto focal con respecto a una referencia vinculada al alojamiento,
 - medios de control diseñados para proporcionar señales de control derivados de la ley de retardo,
- 35
- una pluralidad de sensores fijados al alojamiento diseñados para recibir las señales de control y, en respuesta, emitir ondas ultrasónicas retardadas al objeto relacionadas entre sí según la ley de retardo de forma que se enfocan en el punto focal definido por los parámetros de enfoque, teniendo cada sensor, por su diseño y su disposición en el alojamiento, un cono de dirección definido por una dirección principal media y un ángulo de operación efectivo en torno a esta dirección principal media.
- 40

45 Estos dispositivos generalmente están destinados a entrar directamente en contacto con una pieza a ser inspeccionada y para desplazarse sobre una superficie de dicha pieza mientras se cambia la ley de retardos, con el fin de obtener una imagen bidimensional o tridimensional del interior de la pieza, sobre una cierta superficie o en un volumen determinado. En cada posición dada del dispositivo de sondeo frente a la pieza a inspeccionar, solo los puntos situados en la intersección de los conos de dirección de todos los sensores pueden ser dirigidos correctamente. Estos conos de dirección son todos idénticos a una traducción, dada la disposición lineal o matricial de los sensores. Por tanto, su ángulo de operación común efectivo debe ser lo suficientemente amplio para abarcar una intersección significativa a una distancia lo suficientemente cercana a los sensores como para que sea visible acústicamente. De nuevo, para dirigir una onda emitida

50

por este elemento transductor en una dirección preferida, se puede interponer una cuña entre los sensores y la pieza a inspeccionar.

Además, debido a las inevitables irregularidades superficiales de la pieza a inspeccionar, se han aportado mejoras para diseñar dispositivos de múltiples transductores y móviles que se adaptan a la superficie de contacto. Sin embargo, en uso, esto puede afectar a la orientación de los diferentes sensores y, por tanto, a sus conos de dirección, por lo que también debe tenerse en cuenta el valor de su ángulo de operación común efectivo, que debe ser el mayor posible cuando las irregularidades sean importantes.

La patente francesa publicada con el número FR 2 786 651 describe así un dispositivo de sondeo ultrasónico flexible en el que los transductores están unidos de manera móvil al alojamiento para poder coincidir con la geometría de la superficie del objeto a explorar. Se proporcionan además medios para determinar las posiciones de los transductores en cada instante y proporcionar estas posiciones a los medios que determinan la ley de retardo. Por tanto, los medios de determinación de la ley de retardo pueden tener en cuenta las posiciones de los transductores en movimiento para corregir la ley de retardo que aplican y mantener la posición deseada del punto focal con respecto al alojamiento.

También se describe una implementación mejorada del dispositivo de sondeo flexible con transductores múltiples y móviles en la patente francesa publicada con número FR 2 862 385 donde los elementos de revestimiento de los transductores garantizan un buen contacto con la pieza a inspeccionar y permiten obtener una estimación precisa de la posición de los transductores.

Estas dos soluciones son efectivas para inspeccionar piezas con ángulos de inspección limitados, especialmente inferiores a $\pi/3$. Más allá de eso, la formación de ondas emitidas en grandes ángulos es complicada. Para compensar la pequeña amplitud de las señales generadas en los ángulos grandes, especialmente superiores a $\pi/3$, las señales son amplificadas en la recepción. Sin embargo, esto tiene como consecuencia señales visibles procedentes de ecos parásitos, en particular aquellos que resultan de la reflexión de las ondas emitidas por cada transductor en otras direcciones distintas a la deseada. Éstos son reflejados por la geometría de la pieza a inspeccionar y capturados por los elementos receptores. La presencia de señales parásitas genera un ruido que produce una saturación de la dinámica, lo que supone un límite de detección para este tipo de dispositivo de sondeo. Este fenómeno está directamente relacionado con el hecho de que la sonda consiste en transductores piezoeléctricos de las mismas dimensiones que generan ondas idénticas en conos de dirección idénticos, siendo estas ondas suficientemente omnidireccionales para que cada uno de los transductores produzca suficiente energía en el punto focal. El uso de una ley de retardo permite sincronizar la llegada de las ondas emitidas por cada uno de los transductores en el punto focal. Sin embargo, se entenderá que solo una parte de la energía irradiada por los transductores es útil para el enfoque. El resto de la energía forma parte del ruido.

En la patente francesa publicada número FR 2 930 642 se describe una solución alternativa. Según esta solución, los transductores del dispositivo de sondeo son solidarios rígidos, pero en contacto con una cara posterior de una zapata cuya cara frontal es flexible con el fin de ajustar la superficie de rodamiento contra la pieza a inspeccionar. Así, el dispositivo comprende un perfilómetro para medir las variaciones de la superficie frontal de la zapata y tenerlas en cuenta en la corrección de la ley de retardo. Sin embargo, esta solución no resuelve el problema de los ángulos de operación efectivos de los transductores, que deben ser lo suficientemente grandes para cubrir un área de enfoque significativa y compensar las irregularidades de la superficie de la pieza a inspeccionar.

La US 2007/0167768 describe un dispositivo de sondeo ultrasónico utilizado en el diagnóstico médico y que incluye un conjunto de sensores con conos de dirección con distintas direcciones principales medias.

La US 2010/0106431 también describe un dispositivo de sondeo ultrasónico con un conjunto de sensores que tienen conos de enfoque distintos.

Así, sería deseable proporcionar un dispositivo de sondeo ultrasónico que permita resolver al menos algunos de los problemas y limitaciones mencionados anteriormente, en particular, por ejemplo, permitiendo concentrar más energía acústica en una zona de enfoque deseada para mejorar la precisión de las medidas en dicha zona.

El objeto de la invención es, por tanto, un dispositivo de sondeo ultrasónico que comprende:

- un alojamiento,
- medios para determinar una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque que representan una posición deseada de un punto focal con respecto a una referencia vinculada al alojamiento,
- medios de control diseñados para proporcionar señales de control derivados de la ley de retardo,
- una pluralidad de sensores fijados al alojamiento y dispuestos lineal o matricialmente, diseñados para recibir las señales de control y, en respuesta, emitir ondas ultrasónicas retardadas al objeto

5 relacionadas entre sí según la ley de retardo de forma que se enfocan en el punto focal definido por los parámetros de enfoque, teniendo cada sensor, por su diseño y su disposición en el alojamiento, un cono de dirección definido por una dirección principal media y un ángulo de operación efectivo en torno a esta dirección principal media fuera de la cual dicho sensor no es capaz de apuntar acústicamente a un punto para la focalización, donde al menos dos de los sensores están diseñados y dispuestos de manera diferente el uno del otro de modo que tengan conos de dirección distintos, al menos por sus ángulos de operación efectivos de valores distintos, de acuerdo con una variación en al menos una dirección de la disposición lineal o matricial.

10 Proporcionando sensores con distintos conos de dirección es posible ajustar el área de intersección de los conos de dirección. Por tanto, dependiendo de la aplicación o inspección en cuestión, en particular de acuerdo con el ángulo de inspección deseado para la detección de ciertos tipos de defectos, es posible, mediante el diseño y la disposición de los sensores del dispositivo de sondeo, dirigir la zona de sensibilidad del dispositivo de sondeo a una superficie o un volumen concreto y concentrar la energía de emisión y recepción en esta zona de sensibilidad. Otra consecuencia de esta configuración es limitar las restricciones de los ángulos operativos efectivos de los sensores, incluyendo aquellas relacionadas con las irregularidades de la superficie de la pieza a inspeccionar, pudiendo reducirse sus valores debido a una mejor orientación.

15 Opcionalmente, los sensores están diseñados y dispuestos de manera diferente para tener conos de dirección orientados hacia una zona de enfoque limitada común a todos los sensores, convergiendo dichas direcciones principales medio en esta zona de enfoque limitada.

20 La convergencia de las direcciones principales en una zona limitada asegura la optimización de la concentración de la energía de emisión.

25 De acuerdo con la invención, los sensores están dispuestos linealmente o en forma de matriz en el alojamiento de forma que presentan una variación de las direcciones principales medias y/o de los ángulos de operación efectivos de sus conos de dirección en al menos una dirección de la disposición lineal o matricial.

Opcionalmente, también, al menos uno de los sensores comprende una zapata de refracción de ondas acústicas que permite configurar la orientación de la dirección principal media de dicho sensor.

30 Opcionalmente, también, al menos uno de los sensores comprende una pluralidad de transductores diseñados para recibir una parte de las señales de control y, en respuesta, para emitir ondas ultrasónicas retardadas entre sí de acuerdo con una ley de retardo definida para dicha parte de las señales de control de modo que se enfoquen en el punto focal definido por los parámetros de enfoque.

35 Opcionalmente, también los sensores están unidos de manera móvil al alojamiento, comprendiendo medios para la localización de los sensores diseñados para determinar la posición de los sensores con respecto a una referencia vinculada al alojamiento y donde los medios para determinar la ley de retardo son diseñados para determinar la ley de retardo a partir de estas posiciones de los sensores.

40 Por tanto, la pluralidad de sensores se puede adaptar a cualquier irregularidad superficial de la pieza a inspeccionar, siempre que las irregularidades presenten localmente radios de curvatura compatibles con el tamaño de los sensores. En particular, proporcionando varios sensores mono- o multi-elementos en lugar de un solo sensor de elementos múltiples, el tamaño de cada sensor se reduce sin reducir las dimensiones de la sonda, lo que hace posible una adaptación más precisa a las irregularidades superficiales manteniendo constante el tamaño total de la sonda. Esto resuelve la aparente contradicción de ciertos estándares que, al recomendar tamaños de sonda superiores al mínimo, impide que estas sondas funcionen en superficies cuyas irregularidades generan localmente diferencias demasiado grandes entre la sonda y la superficie de la pieza a inspeccionar.

45 También de forma opcional, el o los transductores de un mismo sensor están unidos de manera móvil al sensor, comprendiendo medios para localizar los transductores diseñados para determinar la posición de los transductores con respecto a una referencia vinculada al sensor en el que están ubicados y donde los medios de determinación de la ley de retardo están adaptados para determinar la ley de retardo a partir de estas otras posiciones de los transductores.

50 La invención también tiene como objeto un método para fabricar un dispositivo de sondeo ultrasónico según la invención, que comprende las siguientes etapas:

55 – determinar las restricciones de enfoque entre las cuales se encuentra una dirección principal de inspección del dispositivo de sondeo y los parámetros geométricos de una zona de enfoque deseada,

- identificar los parámetros del dispositivo de sondeo entre los que se encuentran el número de sensores y la dirección principal media y el ángulo de operación efectivo del cono de dirección de cada sensor,
- optimizar dichos parámetros del dispositivo de sondeo mediante simulaciones o pruebas en función de dichas restricciones de enfoque, comprendiendo esta optimización una diferenciación de los conos de dirección por sus direcciones principales medias al menos por sus ángulos operativos efectivos de valores diferentes según una variación de al menos una dirección de la disposición lineal o matricial de la pluralidad de sensores en el alojamiento.

La invención también tiene como objeto un método para controlar los sensores de una sonda ultrasónica, presentando cada sensor, por su diseño y disposición en un alojamiento de la sonda, un cono de dirección definido por una dirección principal media y un ángulo de operación efectivo en torno a esta dirección principal media, comprendiendo el método las siguientes etapas:

- determinar una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque que representan una posición deseada de un punto focal en relación con una referencia vinculada al alojamiento,
- proporcionar señales de control a los sensores a partir de la ley de retardo, donde los sensores están dispuestos lineal o matricialmente en el alojamiento, y donde al menos dos de los sensores están diseñados y dispuestos de manera diferente uno del otro de forma que tienen conos de dirección distintos al menos por sus ángulos efectivos de operación de valores distintos según una variación de al menos una dirección de la disposición lineal o matricial y teniendo en cuenta la determinación de la ley de retardo estas distinciones.

La invención también tiene como objeto un programa de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o grabado en un medio legible por ordenador y/o ejecutable por un procesador, que comprende instrucciones para la implementación de un método de control de los sensores de una sonda ultrasónica según la invención cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador.

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la siguiente descripción, dada únicamente a modo de ejemplo y con referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

- Figura 1: representa esquemáticamente la estructura general de un dispositivo de sondeo que comprende una sonda ultrasónica con una pluralidad de sensores de acuerdo con el estado de la técnica;
- Figura 2: representa esquemáticamente la estructura general de un dispositivo de sondeo que comprende una sonda ultrasónica con una pluralidad de sensores de acuerdo con una forma de realización de la invención;
- Figuras 3 y 4: representan esquemáticamente y en una vista inferior dos ejemplos de sonda ultrasónica para el dispositivo de sondeo de la Figura 2;
- Figura 5: representa esquemáticamente la estructura general de una sonda ultrasónica de acuerdo con otra forma de realización del dispositivo de sondeo de la Figura 2;
- Figura 6: ilustra las etapas sucesivas de un método de control de los sensores del dispositivo de sondeo de la Figura 2; y
- Figura 7: ilustra las etapas sucesivas de un método de fabricación del dispositivo de sondeo de la Figura 2.

Con referencia a la figura 1, un dispositivo 10 de sondeo de un objeto 12 con una pluralidad de sensores de acuerdo con el estado de la técnica comprende un brazo 14, opcionalmente articulado, una sonda ultrasónica 16 fijada al brazo 14 y medios 18 para controlar el brazo 14 diseñados para controlar el brazo 14 de forma que éste último desplace la sonda 16 sobre una superficie del objeto 12. Los medios de control 18 se basan generalmente en una trayectoria deseada predefinida de la sonda 16 con respecto al objeto 12.

El objeto 12 es, por ejemplo, una pieza mecánica que se desea examinar mediante ensayos no destructivos o, en un contexto médico, una parte del cuerpo humano que se desea controlar de forma no invasiva.

Además, el dispositivo de sondeo 10 comprende un circuito electrónico 20, por ejemplo aquel de un ordenador. Este circuito electrónico 20 está conectado a la sonda 16. Presenta una unidad central de procesamiento 22, tal como un microprocesador, y una memoria 24 donde está guardado un programa de ordenador 26 para controlar la sonda 16 y un programa de ordenador 28 para procesar las señales

devueltas por la sonda 16. Estos programas 26 y 28 incluyen instrucciones para ser ejecutadas por la unidad central de procesamiento 22 con el fin de realizar las funciones definidas por estas instrucciones.

5 En particular, el programa de ordenador 26 incluye instrucciones 26A para determinar una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque, denotados como $P_{F/B}$, que representan una posición deseada de un punto focal F con respecto a una referencia vinculada a la sonda 16. Estos parámetros de enfoque $P_{F/B}$ se encuentran, por ejemplo, en una base de datos 30 almacenada en la memoria 24. El programa de ordenador 26 también incluye instrucciones de control 26B diseñadas para proporcionar señales de control C a partir de la ley de retardo mencionada anteriormente.

10 La sonda 16 comprende en primer lugar un alojamiento 32, es decir, un elemento estructural no deformable que sirve como referencia para la sonda 16.

15 La sonda 16 comprende además sensores $34_1, \dots, 34_N$ (en el ejemplo de la Figura 1, $N = 5$) unidos al alojamiento 32 y diseñados para emitir ondas ultrasónicas en el objeto 12 en respuesta a señales de control C suministradas por el circuito electrónico 20 en la ejecución de las instrucciones 26A y 26B por la unidad central de procesamiento 22. Estas ondas ultrasónicas están retardadas entre sí según la ley de retardo para enfocar en el punto F. Los sensores $34_1, \dots, 34_N$ están diseñados además para detectar los ecos de las ondas ultrasónicas que se reflejan sobre y en el objeto 12 y para proporcionar señales de medida M correspondientes a estos ecos, transmitiéndose estas señales de medida M al circuito electrónico 20. Más precisamente, la unidad central de procesamiento 22 está diseñada para transmitir las señales de control C a la sonda 16 y para recibir de la sonda 16 las señales de medida M.

20 En la sonda 16 de la figura 1, de acuerdo con los dispositivos descritos en las patentes FR 2 786 651 y FR 2 862 385, los sensores $34_1, \dots, 34_N$ son transductores, por ejemplo unidos de manera móvil al alojamiento 32, forma modo que pueden adaptarse a la superficie del objeto 12 sobre la que se desplazan incluso cuando ésta última no es plana o tiene asperezas. A continuación se proporcionan medios (no mostrados en la Figura 1 pero detallados en las patentes FR 2 786 651 y FR 2 862 385) para determinar las posiciones de los transductores en cada instante y para suministrar estas posiciones al circuito electrónico 20 con el fin de tenerlas en cuenta al ejecutar las instrucciones 26A para determinar la ley de retardo. Además, cada transductor 34_i , por su diseño y su disposición en el alojamiento 32, tiene un cono de dirección definido por una dirección principal media d y un ángulo de operación efectivo Θ alrededor de esta dirección principal media.

30 Los transductores $34_1, \dots, 34_N$ del dispositivo 10 del estado de la técnica son todos idénticos, con dispersiones de fabricación ($<10\%$). Por tanto, en la posición promedio de reposo, es decir, en la posición plana de las superficies de contacto de los transductores, la dirección principal media d de los conos de dirección es la misma para todos los transductores. De manera similar, el ángulo de operación efectivo Θ de los conos de dirección es el mismo para todos los transductores. Como se ilustra en la figura 1, en una posición dada del dispositivo de sondeo 10 contra el objeto 12, solo los puntos que se encuentran en una zona Z de intersección de los conos de dirección de todos los transductores $34_1, \dots, 34_N$ puede enfocarse correctamente. Por tanto, es en esta zona Z donde se debe ubicar el punto focal F. El ángulo de operación efectivo común Θ debe ser lo suficientemente amplio para abarcar una intersección significativa a una distancia lo suficientemente cercana a los sensores para que sea visible acústicamente.

40 El dispositivo de sondeo 10' mostrado esquemáticamente en la figura 2 se distingue del de la figura 1 por un diseño y una disposición diferentes de los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$ comprendidos en la sonda 16'. Específicamente, los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$ están diseñados y dispuestos de manera diferente en el alojamiento 32 para tener conos de dirección distintos por sus direcciones principales medias y/o por sus ángulos operativos efectivos. Por "distinto" se entiende que los conos de dirección de los sensores difieren entre sí más allá de las dispersiones de fabricación. Así, el sensor $34'_1$ tiene un cono de dirección con dirección principal media d_1 y un ángulo de operación efectivo Θ_1 ; el sensor $34'_{i-1}$ tiene un cono de dirección con dirección principal media d_{i-1} y un ángulo de operación efectivo Θ_{i-1} ; el sensor $34'_i$ tiene un cono de dirección de dirección principal media d_i y un ángulo de operación efectivo Θ_i ; el sensor $34'_{i+1}$ tiene un cono de dirección de dirección principal media d_{i+1} y un ángulo de operación efectivo Θ_{i+1} ; y el sensor $34'_{N-1}$ tiene un cono de dirección de dirección principal media d_N y un ángulo operativo efectivo Θ_N . Al menos dos de las direcciones principales medias d_i, \dots, d_N son distintas entre sí. En el ejemplo de la figura 2, éstas son idénticas y convergen hacia una zona de enfoque Z' correspondiente a la intersección de los conos de dirección. De manera similar, al menos dos de los ángulos operativos efectivos $\Theta_i, \dots, \Theta_N$ son distintos entre sí. En particular, pueden tener valores inferiores al valor Θ del dispositivo de la figura 1, ya que las direcciones principales medias convergen hacia la zona de enfoque Z', lo que reduce los ruidos parásitos de un sensor al otro.

Gracias a esta configuración particular, se controlan las directivas de los campos de transmisión/recepción de los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$. La energía total de estos campos se concentra alrededor de la zona de enfoque Z' , lo que mejora la precisión de las medidas.

5 De acuerdo con varias posibles realizaciones, cada sensor $34'_i$ puede estar constituido, independientemente de los otros, por uno o más transductores, siendo el o los transductores móviles o rígidos, con o sin cuña de refracción. Cada sensor puede estar montado en el alojamiento 32 de forma rígida o movable. Cuando está provista en un sensor, la cuña de refracción además puede presentar una cara frontal flexible, según las enseñanzas de la patente FR 2 930 642. Su presencia en un sensor permite configurar la orientación de la dirección principal media de este sensor. Finalmente, cada sensor puede tener transmisores y
10 receptores separados.

En particular, cuando un sensor $34'_i$ tiene una pluralidad de transductores, recibe una parte de las señales de control emitidas por el circuito electrónico 20. La ley de retardo general que debe aplicarse a todos los sensores para converger hacia el punto focal F se adapta entonces para cada sensor en una ley de retardo local que garantiza este enfoque. Esta adaptación de una ley de retardo global en varias leyes de retardo
15 locales específicas para cada sensor está al alcance del experto en la técnica y, por tanto, no se detalla.

También en particular, cuando los transductores de un sensor son móviles y/o cuando este sensor es en sí mismo móvil, puede adaptarse la enseñanza de las patentes FR 2 786 651 y FR 2 862 385 para tener en cuenta esta movilidad en el cálculo de la ley de retardo. Por ello, se deben proporcionar medios para estimar el desplazamiento de los transductores y sensores móviles, aunque no se ilustran en la Figura 2. Éstos
20 tienen la forma de instrumentos profilométricos bidimensionales o tridimensionales integrados en la sonda $16'$, sirviendo sus medidas para corregir la ley de retardo. Pero aparte de esto, la adaptación de las enseñanzas de las patentes FR 2 786 651 y FR 2 862 385 a un dispositivo de sondeo de acuerdo con la invención está al alcance del experto en la técnica y, por ello, no se detalla.

En las figuras 3 y 4 se ilustra una solución para que los sensores de la sonda $16'$ tengan distintos conos de dirección por sus direcciones principales medias y/o sus ángulos operativos efectivos, en una vista desde abajo de la sonda $16'$. El caso particular de una disposición matricial de los sensores en la sonda $16'$ se elige con fines meramente ilustrativos.

En el ejemplo de la figura 3, los sensores $36_{i,j}$ de una misma línea (dirección x) se distinguen por el número de transductores que comprenden, produciendo así diferentes conos de dirección, pero los sensores $36_{i,j}$
30 de una misma columna (dirección y) son todas idénticos. Esto produce una sonda $16'$ en un arreglo matricial de sensores con conos de dirección variables en la dirección x .

En el ejemplo de la figura 4, los sensores $38_{i,j}$ de una misma línea (dirección x) se distinguen por el número de transductores que comprenden, produciendo así diferentes conos de dirección. Los sensores $38_{i,j}$ de una misma columna (dirección y) también se pueden distinguir por el número de transductores que comprenden,
35 pero también por sus tamaños, produciendo así diferentes conos de dirección. Esto produce una sonda $16'$ en un arreglo matricial de sensores con conos de dirección variables en las direcciones x e y .

La figura 5 ilustra otra forma de realización de una sonda para un dispositivo de sondeo según la invención. En esta forma de realización particular, se proporcionan cuñas de refracción en al menos una parte de los sensores. Para simplificar la descripción de esta forma de realización, solo se indican y describen cinco
40 sensores.

El primer sensor 40_1 comprende varios transductores dispuestos linealmente o en una matriz, ya sea directamente en contacto con el objeto 12 o contra una interfaz de refracción plana dispuesta contra el objeto 12. El número de transductores en este primer sensor 40_1 , las dimensiones elementales de estos transductores, la frecuencia de operación del sensor, ..., se determinan mediante simulaciones o ensayos
45 en función de la zona de enfoque deseada Z' . El primer sensor 40_1 tiene entonces un primer cono de dirección de dirección principal media orientado hacia la zona de enfoque Z' . En el ejemplo mostrado, dada la ubicación de la zona de enfoque Z' respecto a la sonda $16'$, la dirección principal media d_1 es casi normal a la superficie de contacto del objeto 12. Esta es la razón por la que no es necesaria una cuña de refracción en este primer sensor 40_1 . Se observará que el primer sensor 40_1 se puede conectar de manera móvil al alojamiento 32 de la sonda $16'$, por ejemplo mediante un pistón, con un grado de libertad en traslación vertical y varios en rotación gracias a una rótula en el extremo del pistón.
50

El segundo sensor 40_2 tiene varios transductores dispuestos lineal o matricialmente contra una cuña de refracción que impone cierto ángulo entre el plano principal de los transductores y la superficie de contacto del objeto 12. El número de transductores en este segundo sensor 40_2 , las dimensiones elementales de estos transductores, la frecuencia de operación del sensor, el ángulo impuesto por la cuña, el tamaño de la cuña, ..., se determinan mediante simulaciones o ensayos según la zona de enfoque Z' deseada. El
55 segundo sensor 40_2 presenta así un segundo cono de dirección de dirección principal media d_2 hacia la

5 zona de enfoque Z'. En el ejemplo mostrado, dada la ubicación de la zona de enfoque Z' respecto a la sonda 16', la dirección principal media d_2 está más alejada de la normal a la superficie de contacto del objeto 12 que en la dirección d_1 . Esta es la razón por la que es necesaria una cuña de refracción impone cierto ángulo en este segundo sensor 40₂. Se observará que el segundo sensor 40₂ también se puede conectar de manera móvil al alojamiento 32 de la sonda 16', por ejemplo mediante un pistón, con un grado de libertad en traslación vertical y varios en rotación gracias a una unión en rótula en el extremo del pistón.

10 El tercer sensor 40₃ incluye varios transductores dispuestos lineal o matricialmente contra una cuña de refracción que impone cierto ángulo entre el plano principal de los transductores y la superficie de contacto del objeto 12. El número de transductores en este tercer sensor 40₃, las dimensiones elementales de estos transductores, la frecuencia de funcionamiento del sensor, el ángulo impuesto por la cuña, el tamaño de la cuña, ..., se determinan mediante simulaciones o ensayos en función de la zona de focalización Z' deseada. El tercer sensor 40₃ presenta así un tercer cono de dirección con una dirección principal media d_3 hacia la zona de enfoque Z'. En el ejemplo mostrado, dada la ubicación de la zona de enfoque Z' con respecto a la sonda 16', la dirección principal media d_3 está aún más alejada de la normal a la superficie de contacto del objeto 12 que la dirección d_2 . Esta es la razón por la que es necesaria una cuña de refracción que impone un ángulo mayor que el impuesto por la cuña del segundo sensor 40₂ en este tercer sensor 40₃. Se observará que el tercer sensor 40₃ también se puede conectar de manera móvil al alojamiento 32 de la sonda 16', por ejemplo mediante un pistón, con un grado de libertad en traslación vertical y varios en rotación gracias a una unión en rótula en el extremo del pistón.

20 El cuarto sensor 40₄ incluye varios transductores dispuestos lineal o matricialmente contra una uña de refracción que impone un cierto ángulo entre el plano principal de los transductores y la superficie de contacto del objeto 12. El número de transductores en este cuarto sensor 40₄, las dimensiones elementales de estos transductores, la frecuencia de funcionamiento del sensor, el ángulo impuesto por la cuña, el tamaño de la cuña, ..., se determinan mediante simulaciones o ensayos en función del área de enfoque Z' deseada. El cuarto sensor 40₄ presenta así un cuarto cono de dirección con dirección principal media d_4 orientada hacia la zona de enfoque Z'. En el ejemplo mostrado, dada la ubicación de la zona de enfoque Z' respecto a la sonda 16', la dirección principal media d_4 está aún más alejada de la normal a la superficie de contacto del objeto 12 que la dirección d_3 . Esta es la razón por la que es necesaria una cuña de refracción que impone un ángulo mayor que el impuesto por la zapata del tercer sensor 40₃ en este cuarto sensor 40₄. Se observará que el cuarto sensor 40₄ también puede estar conectado de manera móvil al alojamiento 32 de la sonda 16', por ejemplo mediante un pistón, con un grado de libertad en traslación vertical y varios en rotación gracias a una conexión en rótula en el extremo del pistón.

35 Finalmente, el quinto sensor 40₅ incluye varios transductores dispuestos lineal o matricialmente contra una cuña de refracción que impone cierto ángulo entre el plano principal de los transductores y la superficie de contacto del objeto 12. El número de transductores en este quinto sensor 40₅, las dimensiones elementales de estos transductores, la frecuencia de operación del sensor, el ángulo impuesto por la cuña, ..., se determinan mediante simulaciones o ensayos en función de la zona de enfoque deseada Z'. El quinto sensor 40₅ presenta un quinto cono de dirección de dirección principal media d_5 hacia la zona de enfoque Z'. En el ejemplo mostrado, dada la ubicación de la zona de enfoque Z' con respecto a la sonda 16', la dirección principal media d_5 está aún más alejada de la normal a la superficie de contacto del objeto 12 que la dirección d_4 . Esta es la razón por la que es necesaria una cuña de refracción que impone un ángulo mayor que el impuesto por la cuña del cuarto sensor 40₄ en este quinto sensor 40₅. Se observará que el quinto sensor 40₅ también se puede conectar de manera móvil al alojamiento 32 de la sonda 16', por ejemplo mediante un pistón, con un grado de libertad en traslación vertical y varios en rotación gracias a un enlace de rótula en el extremo del pistón.

La superficie del objeto 12 contra el cual se coloca la sonda 16' se representa plana en la figura 5. Sin embargo, la fabricación de un dispositivo de sondeo como el dispositivo 10', con múltiples sensores y móviles en relación al alojamiento 32 de la sonda 16' con sus pistones, facilita la inspección de objetos con superficies irregulares e incluso tiene sentido en este contexto.

50 El funcionamiento de un dispositivo de sondeo según la invención se describirá ahora en referencia a las figuras 2 y 6. Más precisamente, es el principio de control combinado de sus sensores lo que se detalla.

Durante una etapa 100, un operador configura los medios de control 18 del brazo 14 para que este último pueda mover la sonda 16' a lo largo de una trayectoria deseada en contacto con el objeto 12.

55 Durante una etapa 102, el operador define los parámetros de enfoque, que se registran en la base de datos 30.

Se observará que las etapas 100 y 102 preferentemente se llevan a cabo antes de que el dispositivo de sondeo 10' comience el sondeo real del objeto 12. Posteriormente, la sonda 16' se mueve en relación al objeto 12.

5 Durante una etapa 104, la unidad central de procesamiento 22 que ejecuta las instrucciones 26A determina la ley de retardo global que se aplicará a los sensores de la sonda 16' a partir de, por un lado, los parámetros de enfoque $P_{F/B}$ y, por otro lado, de las posiciones de los transductores y/o sensores móviles donde sea apropiado. Esta ley de retardo global se divide en tantas leyes de retardo locales como sensores en la sonda 16'. De acuerdo con la invención, la determinación de la ley de retardo tiene en cuenta las diferencias entre los conos de dirección de los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$, en particular las diferentes direcciones principales medias d_1, \dots, d_N y los diferentes ángulos efectivos de operación $\Theta_1, \dots, \Theta_N$ asociados a los sensores.

10 Durante una etapa 106, la unidad central de procesamiento 22 que ejecuta las instrucciones 26B hace que se suministre a los transductores $34'_1, \dots, 34'_N$, mediante el circuito electrónico 20, las señales de control C, que tienen entre sí los retardos definidos por la ley de retardo calculados en la etapa anterior.

15 Durante una etapa 108, los transductores de los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$, en respuesta a las señales de control C, emiten ondas ultrasónicas sobre el objeto 12, que se enfocan en un punto focal F que tiene la posición deseada en relación con el alojamiento 32, gracias a los retardos entre las señales de control C.

20 Durante una etapa 110, los transductores de los sensores $34'_1, \dots, 34'_N$ reciben los ecos de las ondas ultrasónicas que se han reflejado en y sobre el objeto 12, y suministran al programa de tratamiento 28 las señales de medida M correspondientes. El método luego regresa a la etapa 104 para enfocar otro punto que requiere una adaptación de la ley de retardo o un desplazamiento de la sonda 16'.

Paralelamente a las etapas 104 a 110, o posteriormente, después de que la sonda 16' haya realizado la ruta planificada, durante una etapa 112, la unidad central de procesamiento 22 ejecuta las instrucciones del programa de tratamiento 28 procesando las señales de medida M, por ejemplo con el fin de detectar defectos estructurales en el objeto 12, mostrando los resultados del procesamiento en una pantalla.

25 Un ejemplo de un método para fabricar un dispositivo de sondeo de acuerdo con la invención se detallará ahora en referencia a las figuras 2 y 7.

30 Durante una primera etapa 200 de determinación de las restricciones de enfoque, un diseñador del dispositivo de sondeo 10' define una dirección principal de inspección, es decir, el valor medio del ángulo de ataque deseado para inspeccionar el objeto 12. Por ejemplo, esta dirección de inspección principal se fija en $\pi/4$. El diseñador también define el tamaño de la zona de enfoque deseada Z'. Ésta debe estar en la intersección de los conos de dirección de los sensores. El diseñador define además los parámetros de irregularidad de la superficie del objeto 12 a inspeccionar, ya que estas irregularidades tienen un impacto en las variaciones geométricas previstas alrededor de la dirección principal de inspección.

35 Durante una etapa 202 de descripción paramétrica de la sonda 16' del dispositivo de sondeo 10', el diseñador define, por ejemplo, los siguientes parámetros a optimizar:

- el parámetro N, que define el número de sensores de la sonda 16' y, para cada sensor $34'_i$,
- el par (d_i, Θ_i) de la dirección principal media y el ángulo de operación efectivo,
- el número n_i de transductores en este sensor, los parámetros geométricos de estos transductores,
- el parámetro α_i del ángulo impuesto por la interposición de una cuña de refracción entre el plano principal del o de los transductores de este sensor y la superficie de contacto del objeto (incluida la ausencia de cuña de refracción cuando $\alpha_i = 0$), y
- los parámetros geométricos de la cuña de refracción en su caso.

45 En las etapas siguientes 204, 206, 208 y 210, los parámetros definidos previamente se optimizan utilizando simulaciones o pruebas. En particular, las simulaciones se pueden realizar utilizando la herramienta de software de simulación para ensayos no destructivos CIVA, desarrollada por el Comisariado de Energía Atómica y Energías Alternativas.

Durante la etapa preliminar 204 de inicialización, el diseñador puede imponer el parámetro N y los pares (d_i, Θ_i) que definen los conos de dirección en base a las restricciones establecidas en la etapa 200.

50 Durante la etapa 206 de optimización de los elementos transductores, las simulaciones o pruebas permiten determinar, de manera conocida *per se*, de acuerdo con las restricciones establecidas en la etapa 200 y los parámetros impuestos en la etapa preliminar 204, el número n_i de transductores por sensor, las dimensiones geométricas de estos transductores y su frecuencia de funcionamiento.

- 5 Durante la etapa 208 de optimización de las cuñas, las simulaciones o pruebas permiten determinar, de manera conocida en sí, de acuerdo con las restricciones establecidas en la etapa 200 y de los parámetros impuestos en la etapa preliminar 204, los ángulos y dimensiones de las cuñas. En particular, las dimensiones de las cuñas, directamente relacionadas con las de los sensores que las comprenden, están limitadas por los radios locales de curvatura de las irregularidades de la superficie del objeto 12, como se mencionó anteriormente. Además, cuanto más lejos esté el sensor de la zona de enfoque Z' y la dirección principal media esté más alejada de la normal a la superficie del objeto 12, más grandes deben ser sus dimensiones.
- 10 Durante la etapa 210 de optimización del sistema de sondeo en conjunto, las simulaciones o pruebas permiten determinar, de manera conocida *per se*, de acuerdo con las restricciones establecidas en la etapa 200 y los parámetros impuestos en la etapa preliminar 204, el ensamblaje mecánico de los sensores en el alojamiento 32, los principios para calcular la ley de retardo global y las leyes de retardo locales que se implementarán en el circuito electrónico 20, los requisitos de instrumentación (por ejemplo la necesidad de perfilómetros o dispositivos de recalibración de medidas), etc.
- 15 Las etapas 206, 208 y 210 se pueden ejecutar de forma simultánea o sucesiva y en cualquier orden para obtener un dispositivo de sondeo completo 10' optimizado para una aplicación determinada.
- Parece claro que un dispositivo de sondeo ultrasónico como el descrito anteriormente de acuerdo con varias formas de realizaciones hace posible mejorar el rango dinámico y la precisión de detección optimizando la energía de enfoque y minimizando los ruidos parásitos.
- 20 Se debe tener en cuenta también que la invención no se limita a las formas de realización descritas anteriormente.
- En particular, éstas podrían mejorarse fácilmente teniendo en cuenta las enseñanzas descritas en las patentes FR 2 786 651 y FR 2 862 385 mencionadas anteriormente, o incluso en la solicitud de patente recientemente publicada con el número FR 2 963 443.
- 25 Además, las instrucciones del programa de ordenador 26A y 26B podrían reemplazarse por circuitos electrónicos diseñados para realizar las mismas funciones.
- Además, los parámetros de enfoque pueden expresarse en relación con el alojamiento como se describe anteriormente o con respecto al objeto a sondear. En este último caso, debe conocerse la posición del alojamiento en relación al objeto y utilizarse para encontrar la posición del punto focal F con respecto al alojamiento.
- 30 Finalmente, será evidente para los expertos en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones a las formas de realización descritas anteriormente a la luz de las enseñanzas que se acaban de describir. En las reivindicaciones siguientes, los términos utilizados no deben interpretarse como limitantes de las reivindicaciones a las realizaciones expuestas en esta memoria descriptiva, sino que deben interpretarse para incluir todos los equivalentes que las reivindicaciones pretenden cubrir debido a su formulación y cuya predicción está al alcance del experto en la materia mediante la aplicación de sus conocimientos generales a las enseñanzas que se acaban de revelar.
- 35

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') que comprende:
 - un alojamiento (32),
 - medios (22, 26A) para determinar una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque que representen una posición deseada de un punto focal (F) con respecto a una referencia vinculada al alojamiento (32),
 - medios de procesamiento (22, 26B) diseñados para proporcionar señales de control (C) a partir de la ley de retardo,
 - una pluralidad de sensores (34'₁, ..., 34'_N) fijados al alojamiento (32) y dispuestos lineal o matricialmente en éste, diseñados para recibir las señales de control (C) y, en respuesta, emitir ondas ultrasónicas retardadas entre sí de acuerdo con la ley de retardo de modo que se enfoquen, en el punto focal (F) definido por los parámetros de enfoque, cada sensor (34'_i) que tenga, por su diseño y disposición en el alojamiento (32), un cono de dirección definido por una dirección principal media y un ángulo de operación efectivo en torno a esta dirección principal media, fuera del cual este sensor no es capaz de enfocar acústicamente un punto de focalización,

caracterizado porque al menos dos de los sensores (34'₁, ..., 34'_N) están diseñados y dispuestos de forma diferente uno de otro de modo que tienen conos de dirección distintos al menos por sus ángulos de operación efectivos ($\Theta_1, \dots, \Theta_N$) con valores distintos según una variación en al menos una dirección (x, y) de la disposición lineal o matricial.
2. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según la reivindicación 1, donde los sensores (34'₁, ..., 34'_N) están diseñados y dispuestos de manera diferente para que los conos de dirección estén orientados hacia una zona de enfoque limitada (Z') común a todos los sensores, convergiendo dichas direcciones principales medias (d₁, ..., d_N) en esta zona de enfoque limitada (Z').
3. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según la reivindicación 1 o 2, donde los citados al menos dos sensores (34'₁, ..., 34'_N) se distinguen uno del otro por comprender un número diferente de transductores, por tener los transductores que los conforman un tamaño diferente o por un ángulo de una cuña de refracción de ondas acústicas que presentan los citados al menos dos sensores (34'₁, ..., 34'_N).
4. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde al menos uno de los sensores (34'₁, ..., 34'_N) incluye una cuña de refracción de ondas acústicas que permite configurar la orientación de la dirección principal media (d₁, ..., d_N) de este sensor.
5. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde al menos uno de los sensores (34'₁, ..., 34'_N) incluye una pluralidad de transductores diseñados para recibir una parte de las señales de control (C) y, en respuesta, emitir ondas ultrasónicas retardadas entre sí según una ley de retardo definida para dicha parte de las señales de control (C) de forma que se enfocan en el punto focal (F) definido por los parámetros de enfoque.
6. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde los sensores (34'₁, ..., 34'_N) están unidos de forma móvil al alojamiento (32), comprendiendo medios de localización de los sensores (34'₁, ..., 34'_N) adaptados para determinar la posición de los sensores con respecto a una referencia en relación con el alojamiento (32) y donde los medios de determinación de la ley de retardo (22, 26A) están diseñados para determinar la ley de retardo también a partir de estas posiciones de los sensores.
7. Dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde el al menos uno de los transductores del mismo sensor (34'_i) está unido de forma móvil al sensor (34'_i), comprendiendo medios de localización de los transductores diseñados para determinar las posiciones de los transductores en relación a una referencia respecto a un sensor (34'_i) en el que se disponen y donde los medios (22, 26A) de determinación de la ley de retardo están diseñados para determinar la ley de retardo también en base a estas posiciones de los transductores.
8. Método para la fabricación de un dispositivo de sondeo por ultrasonidos (10') según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque comprende las etapas de:
 - determinar (200) las restricciones de enfoque entre las cuales se encuentra una dirección principal de inspección del dispositivo de sondeo (10') y los parámetros geométricos de una zona de enfoque deseada (Z'),

- identificar (202) los parámetros del dispositivo de sondeo (10') entre los que se encuentran el número de sensores (34'₁, ..., 34'_N) y la dirección principal media (d_i) y el ángulo de operación efectivo (Θ_i) del cono de dirección de cada sensor (34'_i), siendo el cono de dirección de cada sensor un cono fuera del cual este sensor no es capaz de enfocar acústicamente un punto de focalización,
- 5 – optimizar (204, 206, 208, 210) dichos parámetros del dispositivo de sondeo (10') mediante simulaciones o pruebas en función de dichas restricciones de enfoque, comprendiendo esta optimización una diferenciación de los conos de dirección al menos por sus ángulos de operación efectivos ($\Theta_1, \dots, \Theta_N$) de valores diferentes según una variación de al menos una dirección (x, y) de la disposición lineal o matricial de la pluralidad de sensores (34'₁, ..., 34'_N) en el alojamiento (32).
- 10 **9.** Método para controlar los sensores (34'₁, ..., 34'_N) de una sonda ultrasónica (16'), presentando cada sensor (34'_i), por diseño y disposición dentro de un alojamiento (32) de la sonda, un cono de dirección definido por una dirección principal media y un ángulo de operación efectivo en torno a esta dirección principal media, fuera del cual este sensor no es capaz de enfocar acústicamente un punto de focalización, comprendiendo el método las etapas de:
 - 15 – determinar (104) una ley de retardo a partir de parámetros de enfoque que representan una posición deseada de un punto focal (F) en relación con una referencia vinculada al alojamiento (32),
 - proporcionar (106) señales de control (C) a los sensores (34'₁, ..., 34'_N) en base a la ley de retardo,

caracterizado porque, estando los sensores (34'₁, ..., 34'_N) dispuestos lineal o matricialmente en el alojamiento (32), al menos dos de los sensores (34'₁, ..., 34'_N) están diseñados y dispuestos de manera diferente uno del otro de forma que tienen conos de dirección distintos al menos por sus ángulos de operación efectivos ($\Theta_1, \dots, \Theta_N$) de valores distintos, cuyos valores difieren dependiendo de una variación de al menos una dirección (x, y) de la disposición lineal o matricial y teniendo en cuenta la determinación (104) de la ley de retardo estas distinciones.
- 20 **10.** Programa de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o grabado en un medio legible por ordenador y/o ejecutable por un procesador, caracterizado porque comprende instrucciones para la implementación de un método de control de sensores (34'₁, ..., 34'_N) de una sonda ultrasónica (16') según la reivindicación 9 cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador.

Figura 1

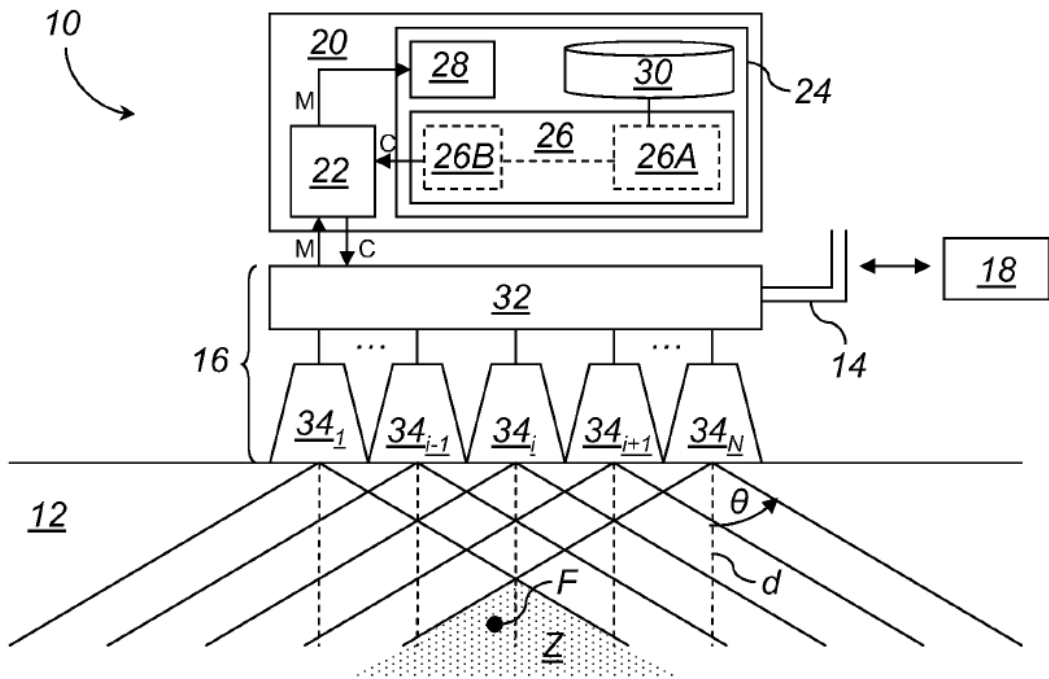


Figura 2

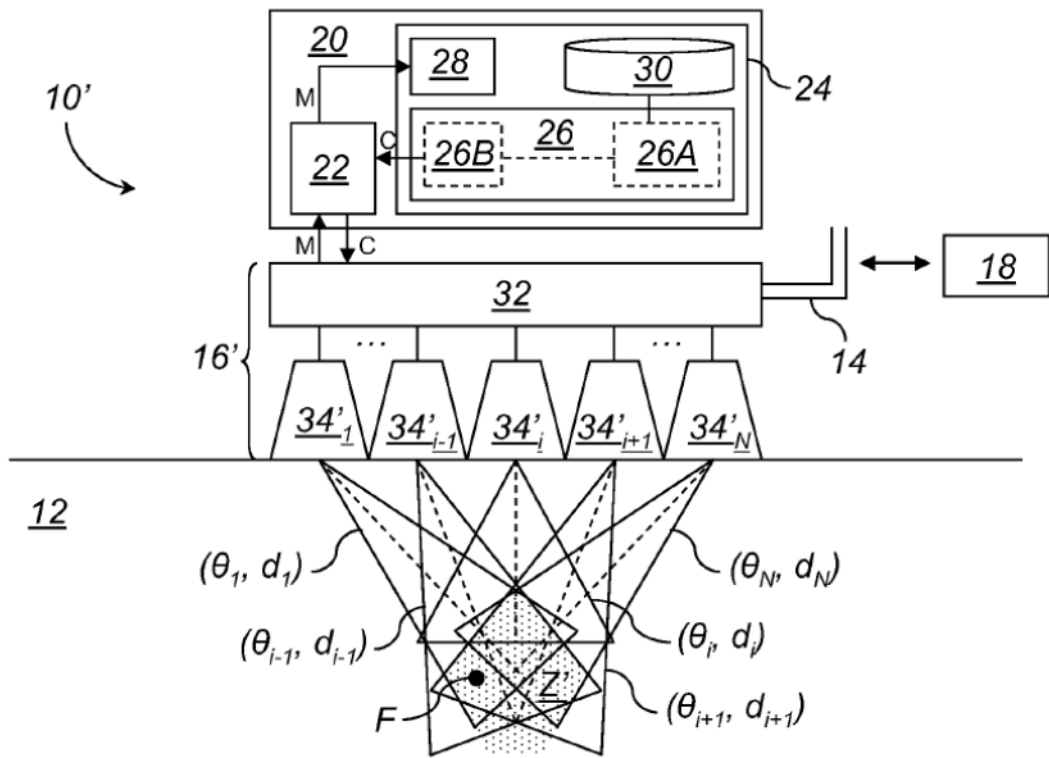


Figura 3

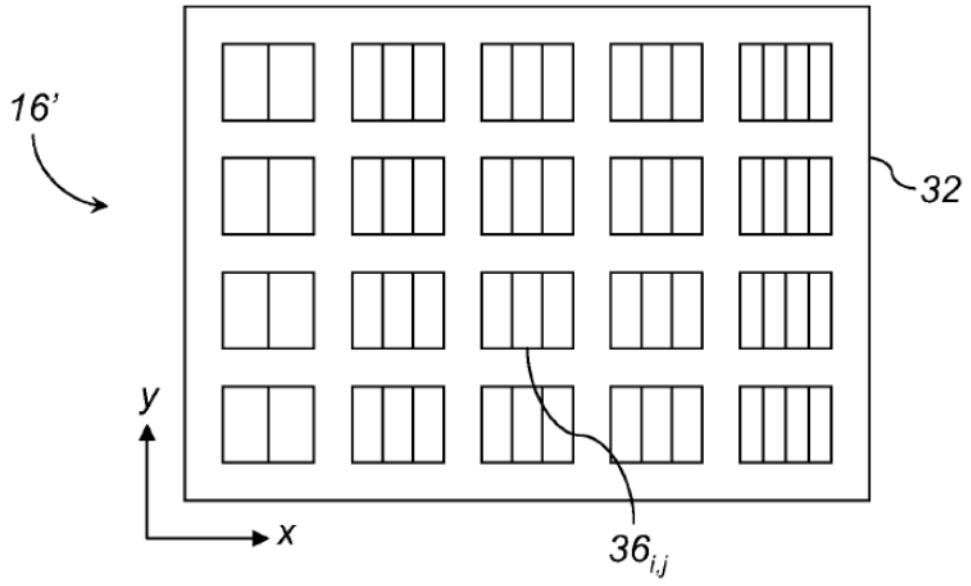


Figura 4

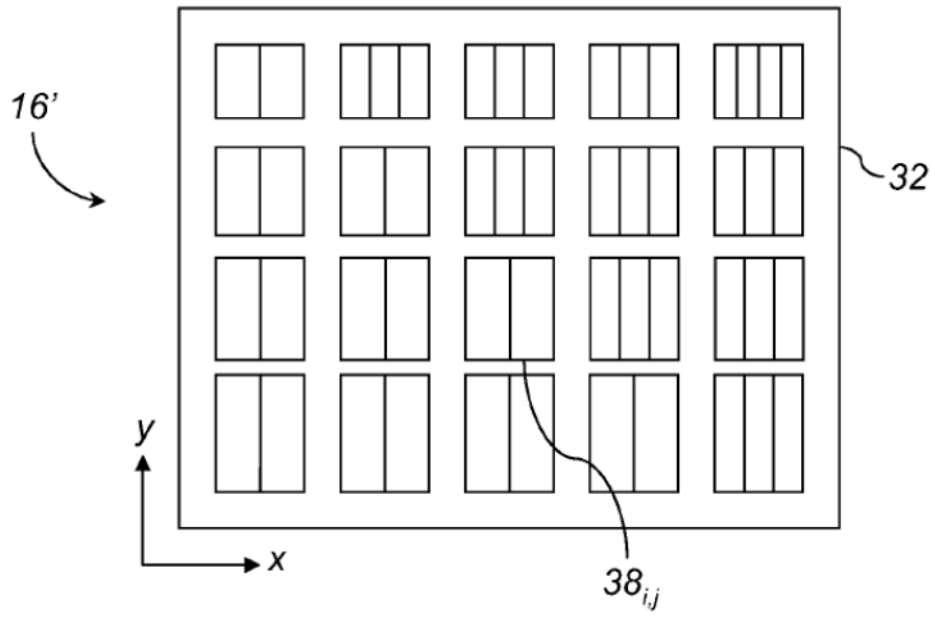


Figura 5

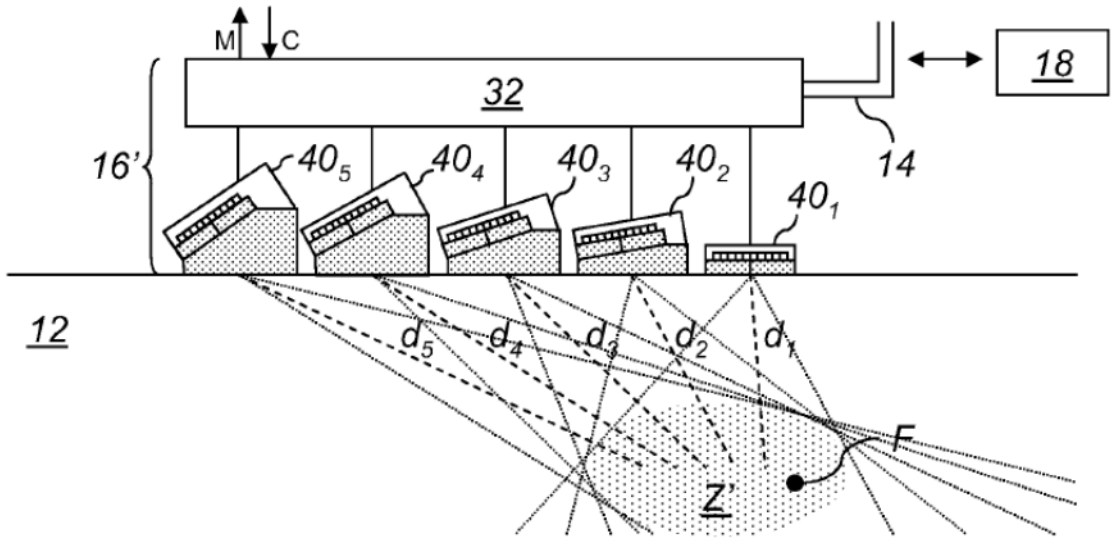


Figura 6

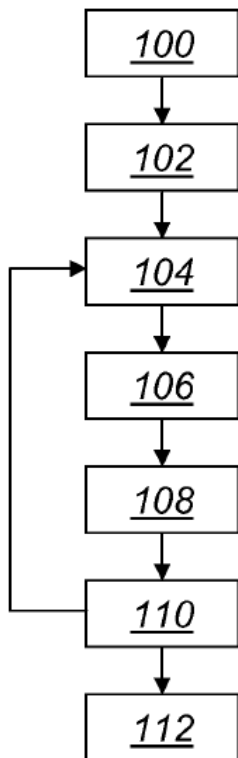


Figura 7

