

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 825**

51 Int. Cl.:

G01N 29/06	(2006.01)
G01N 29/07	(2006.01)
G01N 29/11	(2006.01)
G01N 29/265	(2006.01)
G01N 29/30	(2006.01)
G01N 29/44	(2006.01)
G01N 29/48	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2017 PCT/FR2017/051282**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2017 WO17203166**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2017 E 17732500 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3465197**

54 Título: **Procedimiento de detección por ultrasonidos de defectos en un material**

30 Prioridad:

25.05.2016 FR 1654708

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2020

73 Titular/es:

**ELECTRICITÉ DE FRANCE (100.0%)
22-30 Avenue de Wagram
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**PAUL, NICOLAS y
KASSIS, PAUL**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 794 825 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

Procedimiento de detección por ultrasonidos de defectos en un material.

5 **Campo técnico general y contexto de la invención**

La presente invención se refiere al control no destructivo de materiales, y más precisamente a la detección y a la caracterización por ultrasonidos de defectos en un material.

10 Los ultrasonidos se utilizan habitualmente para la realización de controles no destructivos de materiales. Para ello, se utiliza una sonda ultrasonora colocada en la superficie del material a examinar, que emite unas ondas ultrasonoras en el material. Estas ondas se transforman y se propagan en el material en diferentes direcciones en función de su estructura. El transductor recibe una parte de estas ondas propagadas, y su análisis permite detectar eventuales defectos en el material.

15 La solicitud de patente US 2007/0006651 A1 describe un procedimiento de control no destructivo por medio de ondas ultrasonoras, basado en la comparación de la amplitud del espectro de frecuencia de una selección de la señal con una amplitud de referencia. Esta solicitud menciona la posibilidad de efectuar las mediciones en diferentes posiciones y menciona la combinación de estas mediciones para obtener una señal de medición media en el sentido espacial.

20 Asimismo, la solicitud JP 2009-270824 A describe un procedimiento de detección y de estimación del tamaño de un defecto a partir de las señales emitidas y recibidas por un par emisor-receptor ultrasonoro que recorre la superficie de un material. La caracterización del defecto se determina sobre la base de la fuerza de la señal medida. La señal se normaliza para devolver a 1 el valor de la señal en ausencia de defecto, dividiendo las señales detectadas entre un valor de referencia que corresponde a la ausencia de defectos. Este valor de referencia es determinado previamente y se aplica la misma normalización al conjunto de las señales detectadas. Se trata de una normalización estándar, como la aplicada en el documento EP 0 330 735 A2.

25 Sin embargo, este tipo de procedimientos no son completamente satisfactorios, y la señal permanece afectada por ruido. De hecho, la mayoría de las piezas inspeccionadas presentan unas heterogeneidades de superficie, como por ejemplo unas deformaciones, unas variaciones de rugosidad, unos accidentes de superficie, o unas soldaduras (revestimiento en particular), que pueden provocar unas variaciones sustanciales de la calidad del acoplamiento acústico entre la sonda y el material a inspeccionar. Ahora bien, la calidad de este acoplamiento influye directamente en las mediciones efectuadas y por lo tanto en el resultado de la detección de defectos.

30 En particular, para un material heterogéneo, es decir un material policristalino cuyo tamaño de grano es del orden de la longitud de onda ultrasonora en este material, el fenómeno de difusión de la onda ultrasonora por la estructura del material se vuelve preponderante. Esta difusión puede conducir entonces a la generación de un ruido de estructura, es decir a una señal ultrasonora de amplitud no despreciable recibida por la sonda y que presenta unas características parecidas a las que emitiría una onda reflejada por un defecto. Es necesario entonces poder distinguir finamente entre el ruido de estructura y eventuales defectos. Ahora bien, unas heterogeneidades de superficie, por la atenuación de las amplitudes de señales y las variaciones que inducen, pueden dificultar esta detección.

35 A título de ejemplo ilustrativo, la figura 1 ilustra un ejemplo de resultados de medición obtenidos en una parte interna de un tubo metálico, con un color tanto más claro de los puntos de medición cuanto más elevada es la señal recibida. Se trata de un mapa de los valores máximos de las partes de señales temporales que corresponden a las zonas de difracción de dichas señales temporales, es decir a las partes representativas del ruido de estructura. El material está exento en este caso de defectos internos, y los patrones presentados por el mapa de la figura 1 muestran el ruido de estructura, que es relativamente homogéneo en el material, excepto por dos anomalías alrededor de las cuales se han colocado dos cuadros negros 2, 3. A nivel de estas anomalías, la amplitud de la señal recibida muestra una discontinuidad y es sustancialmente más débil que para el resto del mapa.

40 Estas dos discontinuidades corresponden a unos defectos de acoplamiento entre la sonda y el material para estos puntos de medición, causados por unas faltas de homogeneidad de superficie del material. Estos defectos de acoplamiento se traducen en las mediciones por unas características similares a las generadas por unos defectos en el interior del material, lo cual va a contaminar la detección de defectos o hacerla imposible.

45 Más generalmente, las heterogeneidades de superficie van a dificultar las interpretaciones de señales de varias maneras:

50 - las fuertes variaciones de amplitudes que inducen pueden ser confundidas con la presencia de un defecto;

- las defectos de acoplamiento, debido a la debilidad de las amplitudes de las ondas emitidas o recibidas, pueden enmascarar unos defectos que no son detectados entonces;
- algunos procedimientos de detección de los defectos aprovechan la constancia estadística de las señales, en particular del ruido de estructura, y las débiles amplitudes inducidas por los defectos de acoplamiento van a contaminar estas estadísticas.

Presentación de la invención

La presente invención tiene por objetivo proponer un procedimiento de detección por ultrasonidos de defectos en un material que permiten reducir la influencia de las heterogeneidades de superficie del material en el acoplamiento entre el transductor y el material, cuyas variaciones afectan a los datos recopilados.

Con este fin, se propone un procedimiento de detección por ultrasonidos de defectos en un material según la reivindicación 1, que comprende las etapas siguientes, para una pluralidad de pares de posición de emisión y de posición de recepción:

- emitir ultrasonidos a partir de un transductor emisor ultrasonoro colocado contra el material en una posición de emisión,
- adquirir, por un transductor receptor ultrasonoro colocado contra el material en la posición de recepción que corresponde a dicha posición de emisión, por lo menos una señal temporal representativa de la amplitud de los ultrasonidos propagados en el material en función del tiempo durante una duración de medición en una posición de medición,

caracterizado por que el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- para cada posición de medición, determinar un término de normalización de dicha posición de medición a partir de los valores tomados por lo menos por la señal temporal en dicha posición de medición durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;
- para cada posición de medición, normalizar la señal temporal en dicha posición de medición sobre la duración de medición utilizando el término de normalización para dicha posición de medición determinada a partir de dicha señal temporal en dicha posición de medición para obtener una señal temporal normalizada,
- tratar señales temporales normalizadas para diferentes posiciones de medición para detectar defectos en el material.

El procedimiento permite en particular compensar las variaciones de la calidad de la aplicación de la sonda. En efecto, la determinación del término de normalización al comienzo de la medición (y no previamente a esta) y para cada posición, permite adaptar la normalización a la configuración de adquisición de la sonda en el momento de la medición.

La invención se completa ventajosamente mediante las características siguientes, consideradas solas o en cualquiera de sus combinaciones técnicamente posibles:

- los ultrasonidos son emitidos por el transductor emisor ultrasonoro durante una duración de impulso, y la parte inicial de la duración de medición corresponde a una duración inferior al tiempo de propagación de las ondas ultrasonoras que se propagan en la superficie del material entre la posición de emisión y la posición de recepción adicionada en dos veces la duración del impulso, duración considerada a partir del inicio del impulso;
- el término de normalización se determina a partir de la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;
- para una posición de medición, el cuadrado del término de normalización es proporcional a la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;
- el procedimiento comprende además la determinación de los tiempos de propagación entre la posición de emisión y la posición de recepción correspondiente para las ondas ultrasonoras, y en el que el término de normalización para una posición de medición se determina a partir de los tiempos de propagación en

diferentes posiciones de mediciones;

- el tiempo de propagación en una posición de medición puede ser determinado correlacionando la señal temporal con una señal de referencia representativa de la recepción de una onda ultrasonora;
- para cada grupo de tiempos de una pluralidad de grupos de tiempos de propagación, se determina la potencia temporalmente media, para las posiciones de medición que presentan un tiempo de propagación que pertenece a dicho grupo de tiempos, de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, y
- se determina el término de normalización de una posición de medición a partir de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición;
- el término de normalización de una posición de medición se determina a partir de la media de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición;
- se utiliza un filtrado espacial que corresponde a las posiciones de medición distribuidas sobre una parte de superficie del material para filtrar el término de normalización de una posición de medición que pertenece a dicha parte de superficie.

La invención se refiere asimismo a un sistema de detección por ultrasonidos de defectos en un material según la reivindicación 10 que comprende:

- un transductor emisor ultrasonoro adaptado para ser colocado contra el material en una posición de emisión y configurado para emitir unos ultrasonidos;
- un transductor receptor ultrasonoro adaptado para estar contra el material en una posición de recepción que forma con dicha posición de emisión un par de posición de emisión y de posición de recepción, estando el transductor emisor ultrasonoro configurado para adquirir por lo menos una señal temporal representativa de la amplitud de los ultrasonidos propagados en el material en función del tiempo durante una duración de medición en una posición de medición; y
- un sistema de tratamiento automatizado de datos que comprende un procesador y una memoria, adaptado para ser utilizado en el procedimiento según la invención,

y configurado para realizar por lo menos las etapas siguientes:

- para cada posición de medición, determinar un término de normalización de dicha posición de medición a partir de los valores tomados por lo menos por la señal temporal en dicha posición de medición durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;
- para cada posición de medición, normalizar la señal temporal en dicha posición de medición sobre la duración de la medición utilizando el término de normalización para dicha posición de medición determinada a partir de dicha señal temporal en dicha posición de medición para obtener una señal temporal normalizada,
- tratar señales temporales normalizadas para diferentes posiciones de medición para detectar defectos en el material.

La invención se refiere asimismo a un producto de programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la realización del procedimiento según la invención cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor gracias a la descripción siguiente, que se refiere a un ejemplo de realización preferido, dado a título de ejemplo no limitativo y explicado con referencia a los dibujos esquemáticos adjuntos, en los que:

- la figura 1, ya mencionada, muestra un mapa que ilustra un ejemplo de los valores máximos de las partes de señales temporales que corresponden a las zonas de difracción de dichas señales temporales para una pluralidad de posiciones de mediciones y que determinan un ruido de estructura y unos defectos de

acoplamiento;

- la figura 2 ilustra la inspección de un tubo mediante una sonda ultrasonora.
- 5 - la figura 3 ilustra un ejemplo de representación en dos dimensiones altitud/tiempo para un ángulo dado, que muestra las diferentes partes de una señal temporal de medición;
- la figura 4 muestra un mapa de términos de estandarización para el ejemplo de la figura 1 en un modo de realización posible de la invención;
- 10 - la figura 5 muestra un mapa que ilustra los valores máximos de las señales temporales normalizadas para una pluralidad de posiciones de mediciones en un modo de realización posible de la invención retomando el ejemplo de la figura 1;
- 15 - la figura 6 muestra un mapa de los tiempos de propagación para las ondas ultrasonoras retomando el ejemplo de la figura 1;
- la figura 7 muestra un mapa de los términos de normalización para el ejemplo de la figura 1 en un modo de realización posible de la invención.

Descripción detallada

Con fines de ilustración, la descripción siguiente se realizará en el marco del control no destructivo de un tubo de material metálico por medio de transductores ultrasonoros. Se pueden inspeccionar otros tipos de superficie, y la invención no está limitada a un tubo. Este tipo de adquisición de las mediciones de los transductores se efectúa habitualmente, en particular para la realización de la técnica denominada de medición del tiempo de trayectoria de difracción, más conocida con el acrónimo TOFD por la expresión inglesa "time of flight diffraction", cuyo protocolo de adquisición de datos se puede utilizar para la presente invención.

30 A título de ejemplo, la frecuencia de las ondas ultrasonoras utilizadas generalmente en control no destructivo puede extenderse de 0,1 a 50 MHz, siendo la banda de 2-10 MHz la más utilizada. La longitud de onda, en esta banda, está por lo tanto comprendida prácticamente, para unos metales tales como el acero o el aluminio, entre 3 mm y 0,5 mm.

35 La figura 2 ilustra una sonda 1 dispuesta en la superficie 11 de un tubo 10 y que inspecciona el tubo 10 que presenta el defecto 13. El transductor emisor 14 y el transductor receptor 15 de la sonda 1 están dispuestos de manera que estén alineados en el eje longitudinal del tubo 10. Se encuentran por lo tanto en un plano paralelo a dicho eje longitudinal del tubo 10.

40 La sonda 1 se desplaza en la superficie del material y, para cada posición de medición, emite y recibe unas ondas ultrasonoras cuyas amplitudes definen la medición en esta posición de medición. La posición de medición tenida en cuenta depende del enfoque considerado. Se puede tratar por ejemplo de la posición de recepción de las ondas ultrasonoras, de la posición de emisión, o de otra posición, por ejemplo un punto de la sonda 1 equidistante de la posición de recepción y de la posición de emisión. La definición de la posición de medición influye únicamente en la correspondencia geométrica entre las posiciones de medición y el material. Pasar de una definición de la posición de medición a otra vuelve simplemente a trasladar las mediciones con respecto a la superficie del tubo 10.

50 Los datos así adquiridos están definidos por una amplitud en función del tiempo ligada a cada posición de medición. Anotando z la posición de medición y x la amplitud de las señales, se anota $x(z,t)$ la señal temporal recibida por la sonda para la posición de medición z . Se debe observar que en el ejemplo proporcionado en la presente memoria, la posición z está definida por una altitud h y un ángulo θ . Por lo tanto, se puede anotar asimismo $x(z,t) = x(h,\theta,t)$. El paso de la altitud y del ángulo depende de la precisión buscada y de las características dimensionales de los haces de emisión y de recepción de los transductores. A título de ejemplo, se podrá considerar un paso en altitud comprendido entre 0,1 y 2 mm, y un paso angular comprendido entre 1 y 3°.

60 Para las mediciones, se emiten unos ultrasonidos a partir del transductor emisor ultrasonoro 14 colocado contra el material. La sonda recorre el tubo y, para una pluralidad de posiciones de emisión, se efectúa un tiro de ondas ultrasonoras, que adopta generalmente la forma de un impulso durante una breve duración de impulso. Este impulso puede adoptar por ejemplo la forma de una señal portadora o de una senoide atenuada. Las ondas ultrasonoras emitidas por el transductor emisor 14 penetran en el tubo 10 a nivel de su pared interna 11, y después se propagan en el material de dicho tubo 10.

65 Para una pluralidad de pares de posición de emisión y de posición de recepción, el procedimiento según la invención comprende así la emisión de ultrasonidos a partir del transductor emisor ultrasonoro 14 colocado

contra el material en una posición de emisión, y la adquisición, por el transductor receptor ultrasonoro 15 colocado contra el material en la posición de recepción que corresponde a dicha posición de emisión, de por lo menos una señal temporal representativa de la amplitud de los ultrasonidos propagados en el material en función del tiempo durante una duración de medición en una posición de medición.

La señal temporal adopta generalmente la forma de una representación A, o A-scan, que es una señal temporal para una posición de medición, cuyos datos se anotan $x(h,\theta,t)$ o $x(z,t)$. Evidentemente se pueden definir otras representaciones, como por ejemplo una representación B con una señal de dos dimensiones ángulo/tiempo para una altitud dada o altitud/tiempo para un ángulo dado.

Otra representación se utilizará asimismo en particular con fines ilustrativos. Se trata de la representación C, o C-scan, que es una señal de dos dimensiones que corresponde a las amplitudes máximas (en valor absoluto) medidas para cada posición de medición:

$$y(h, \theta) = \max_t |x(h, \theta, t)|$$

$$y(z) = \max_t |x(z, t)|$$

La figura 1 mencionada anteriormente es por ejemplo una C-scan.

Las ondas ultrasonoras se propagan hasta el transductor receptor ultrasonoro 15. Las ondas recibidas por el transductor receptor ultrasonoro 15 pueden adoptar varias trayectorias, como se ha ilustrado en la figura 2. Una primera trayectoria 16 corresponde al camino más corto para las ondas ultrasonoras, que corresponde en este caso a la superficie del material entre el transductor emisor ultrasonoro 14 y el transductor receptor ultrasonoro 15. Se habla entonces de ondas laterales para las ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

Otras trayectorias 17 constituyen otros caminos para las ondas ultrasonoras en el interior del material, que son difractadas por el defecto 13 en dirección al transductor receptor 15. Por último, la trayectoria más larga 18 constituye el camino largo para las ondas ultrasonoras, que son reflejadas en dirección al transductor receptor 15 por la superficie opuesta del material, en este caso en la presente memoria la pared externa 12 del tubo 10.

Estas diferentes trayectorias se traducen sobre la señal temporal A-scan por diferentes zonas que pueden ser identificadas. Con el fin de ilustrar este efecto, la figura 3 muestra una B-scan altitud/tiempo para un ángulo dado.

En esta figura 3, se puede identificar una primera zona 21 que corresponde a la recepción de las ondas ultrasonoras que se propagan sobre la superficie del material. Se trata de la parte inicial de la duración de la medición ya que estas ondas han tomado la trayectoria más corta 16 entre el transductor emisor ultrasonoro y el transductor receptor ultrasonoro. Una onda ultrasonora propagada en la superficie del material puede así ser designada como una onda lateral. En la figura 3, esta parte inicial que corresponde a la onda lateral se sitúa en los sesenta primeros pasos de tiempo.

Una segunda zona 22 corresponde a la recepción de las ondas ultrasonoras que se propagan en el interior de la superficie del material y que han sido difractadas por el material, y en particular por los defectos y heterogeneidades en el interior de este. Se habla de zona de difracción. Es esta segunda zona 22 la que se utiliza principalmente para detectar defectos en el interior del material.

Se constata por otra parte que en el interior de esta zona de difracción 22 se encuentran por ejemplo unas partes representativas de un ruido de estructura 24, o unas partes representativas de defectos 25.

La tercera zona 23 corresponde al eco de fondo, y está constituida por lo tanto por las ondas ultrasonoras que han sido reflejadas por la superficie externa 12. Se trata de las ondas que han tomado la trayectoria más larga 18, y que se encuentran por lo tanto lógicamente al final de la medición, después del 180° paso de tiempo.

La invención propone aprovechar los valores tomados por las señales temporales durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material con el fin de normalizar cada señal temporal en su globalidad, para compensar la influencia de la heterogeneidad de superficie.

Con este fin, se propone para cada posición de medición, determinar un término de normalización a partir de los valores tomados por lo menos por la señal temporal en la posición de medición durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, y después normalizar la señal temporal sobre la duración de medición utilizando el término normalización para obtener una señal temporal normalizada. Preferentemente, el término de normalización se determina a partir de los valores tomados por las señales temporales de una pluralidad de posiciones de medición.

Se puede definir la parte inicial de la duración de medición como la que reagrupa los datos adquiridos al inicio de la medición hasta la adquisición de las mediciones de las ondas laterales incluidas. Se encuentran por lo tanto las mediciones de las ondas laterales, pero eventualmente otras mediciones tales como las ondas ultrasonoras propagadas por la trayectoria más corta, que pueden diferir de las ondas laterales. En efecto, cuando la superficie del material es plana, como en el ejemplo de la figura 2, las ondas ultrasonoras propagadas por la trayectoria más corta en el material son las ondas que se propagan en la superficie del material. Ocurre lo mismo para una superficie cóncava.

En contrapartida, para una superficie convexa, unas ondas ultrasonoras que se propagan directamente en el material entre la posición de emisión y la posición de recepción llegan antes que las ondas ultrasonoras que se propagan en la superficie del material. Estas ondas ultrasonoras que se propagan por una trayectoria directa son medidas asimismo en la parte inicial. En este caso, la parte inicial de la duración de la medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material recubre no solamente dicha recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, sino también la recepción anterior de las ondas ultrasonoras propagadas por la trayectoria directa.

La parte inicial se extiende hasta el tiempo que tardan las ondas ultrasonoras en propagarse en la superficie del material entre la posición de emisión 4 y la posición de recepción 5. La parte inicial puede corresponder así por ejemplo a una duración inferior al tiempo de propagación de las ondas ultrasonoras que se propagan en la superficie del material entre la posición de emisión 4 y la posición de recepción 5, adicionada en dos veces la duración de emisión, con el fin de asegurarse de que todas las ondas laterales han sido recibidas correctamente. La duración se considera a partir del inicio de la emisión. Por otro lado podrá apoyarse en las mediciones realizadas para definir el límite considerado para esta parte inicial, como por ejemplo en la figura 3, en la que esta duración inicial corresponde aproximadamente a los 60 primeros pasos de tiempo.

Se utiliza así, para normalizar una señal temporal, no las señales temporales en su totalidad, sino únicamente las partes de las señales temporales que corresponden a la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, es decir a la recepción de las ondas laterales. Los términos de normalización no se determinan a partir de las partes siguientes de las señales temporales. En particular, los términos de normalización no se determinan a partir de las partes de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras cuya trayectoria de propagación es más larga que la propagación en la superficie del material.

Por lo tanto, se puede prever por ejemplo una etapa previa de selección o de extracción de la parte de las señales temporales que corresponde a la parte inicial de la duración de medición, suprimiendo de los datos aprovechados para esta normalización las mediciones que siguen temporalmente la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, es decir, en la recepción de las ondas laterales.

El término de normalización se puede determinar a partir de la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material. Por ejemplo, para una posición de medición, el cuadrado del término de normalización puede ser proporcional a la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

Anotando $C(z)$ el término de normalización para una posición de medición z , se tiene por lo tanto por ejemplo:

$$C^2(z) \propto \frac{1}{N_{\text{onda lateral}}} \sum_{t \in \text{onda lateral}} x^2(z, t)$$

siendo $N_{\text{onda lateral}}$ el número de mediciones que pertenecen a la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

Se debe observar que la potencia temporalmente media de la onda lateral $P_{OL}(z)$ corresponde a:

$$P_{OL}(z) = \frac{1}{N_{\text{onda lateral}}} \sum_{t \in \text{onda lateral}} x^2(z, t)$$

Aunque dicho término de normalización determinado a partir de la potencia temporalmente media de los valores de amplitud se pueda utilizar para normalizar directamente la señal temporal de la posición de medición correspondiente, se puede constatar una variabilidad relativamente elevada de este término de normalización, en particular a causa del ruido de estructura.

Preferentemente, el término de normalización se determina así a partir de los valores tomados por las señales temporales de una pluralidad de posiciones de medición. Un filtrado espacial que corresponde a unas posiciones de medición distribuidas sobre una parte de superficie del material puede ser utilizado para filtrar el término de normalización de una posición de medición que pertenece a dicha parte de superficie. Se aplica así por ejemplo un filtro espacial mediano, es decir, construido a partir de la mediana de los valores considerados, en forma de ventana deslizante. Se podría utilizar asimismo la media, pero se prefiere la mediana a la media para evitar suavizar eventuales variaciones bruscas de aplicación. La ventana del filtro debe ser suficientemente grande para disminuir sustancialmente el ruido, y suficientemente pequeña para no enmascarar pequeñas variaciones locales de aplicación. Se puede considerar por ejemplo una ventana de un tamaño comprendido entre 5 mm y 20 mm y entre 15 grados y 35 grados (para un tubo, con los pasos mencionados anteriormente).

La figura 4 muestra un mapa de los términos de normalización obtenidos de esta manera para el ejemplo de la figura 1, con los valores más bajos sombreados y los valores más elevados en claro. En los cuadros en negro 2, 3, se encuentran las zonas en las que las heterogeneidades de superficie provocan un defecto de acoplamiento. Los valores bajos tomados por los términos de normalización en estas zonas, y a la inversa, los valores más elevados de los términos de normalización, permiten compensar la baja amplitud de las señales temporales afectadas por los defectos de acoplamiento. Estos términos de normalización se pueden utilizar para normalizar las señales temporales A-scan, por ejemplo, dividiendo los valores de estas entre los términos de normalización.

La figura 5 es una C-scan que muestra el resultado de la normalización de las A-scan utilizadas para la figura 1 por los términos de normalización determinados como en el ejemplo tras su filtrado espacial, restringidos a la parte que corresponde a la zona de difracción, y por lo tanto representativa del ruido de estructura. Se constata la fuerte atenuación de las irregularidades debidas a los defectos de acoplamiento, que habían sido identificados por los cuadros negros 2, 3 en la figura 1.

Se puede asimismo, para determinar el término de normalización para una posición de medición, utilizar el tiempo de propagación de las ondas ultrasonoras que corresponden a dicha posición de medición. Se utilizan también en este caso las señales temporales de una pluralidad de posiciones de medición durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de las ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

Con este fin, se determinan los tiempos de propagación entre la posición de emisión 4 y la posición de recepción 5 correspondiente para las ondas ultrasonoras para cada posición de medición. El tiempo de propagación en una posición de medición se puede determinar correlacionando la señal temporal con una señal de referencia representativa de la recepción de una onda ultrasonora propagada según la trayectoria más corta en la zona inspeccionada. Esta trayectoria puede estar por ejemplo en la superficie del material, en cuyo caso la señal de referencia es representativa de la recepción de una onda ultrasonora propagada en la superficie, o bien ser una trayectoria directa en el material, en particular si la superficie es convexa, en cuyo caso la señal de referencia es representativa de la recepción de una onda ultrasonora propagada por esta trayectoria directa.

Esta señal de referencia puede ser por ejemplo una señal teórica ideal, o calculada por simulación. También es posible definirla empíricamente a partir de un conjunto de mediciones que corresponden a la recepción de ondas laterales. Por ejemplo, se pueden considerar los valores espacialmente medios de un conjunto de mediciones de recepción de ondas ultrasonoras previamente adquiridas con el fin de definir la señal de referencia.

El pico de correlación corresponde a la recepción de una onda ultrasonora, y permite por lo tanto, conociendo el momento del impulso de emisión de la onda ultrasonora, determinar el tiempo de propagación de esta onda ultrasonora. Además del momento del impulso de emisión, se puede utilizar cualquier otra referencia temporal fija con respecto al momento del impulso de emisión. Esta referencia puede ser en particular el comienzo de la duración de medición si la posición temporal de ésta está fijada con respecto al momento del impulso de emisión.

La figura 6 muestra así un mapa de tiempo de propagación establecido para el ejemplo ilustrado en la figura 1, con los tiempos de recorrido más cortos sombreados y los tiempos de recorrido más largos en claro. En los cuadros en negro 2, 3, se encuentran las zonas en las que las heterogeneidades de la superficie provocan un defecto de acoplamiento. Se observa por lo tanto que las heterogeneidades de superficie pueden ser identificadas mediante los tiempos de propagación, y que es posible aprovechar éstos por lo tanto para normalizar las señales temporales con el fin de compensar la influencia de los defectos de acoplamiento.

A título de ejemplo, se puede utilizar una relación entre el tiempo de propagación de la onda lateral y la potencia recibida a través de la onda lateral para determinar el término de normalización. Se puede construir así el término de normalización $C(z)$ para la posición de medición z a partir de la potencia temporalmente media de la onda lateral.

Más precisamente:

- para cada grupo de tiempos de una pluralidad de grupos de tiempos de propagación, se determina la potencia temporalmente media, para las posiciones de medición que presentan un tiempo de propagación que pertenece a dicho grupo de tiempos, de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, y
- se determina el término de normalización de una posición de medición a partir de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición.

En particular, el término de normalización de una posición de medición puede ser determinado a partir de la media de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición.

Se obtiene así en primer lugar una potencia temporalmente media corregida que asocia una potencia media a cada grupo de tiempos:

$$P_{OL,corregida}(t) = \frac{1}{N_t} \sum_{z | t_{OL}(z)=t} P_{OL}(z)$$

en la que N_t es el número de posiciones de medición para las cuales el tiempo de propagación de la onda lateral pertenece al grupo de medición del tiempo t , y en la que

$$P_{OL}(z) = \frac{1}{N_{\text{onda lateral}}} \sum_{t \in \text{onda lateral}} x^2(z, t)$$

La potencia temporalmente media corregida $P_{OL,corregida}$ se utiliza a continuación para determinar el término de normalización $C(z)$:

$$C(z) = \sqrt{P_{OL,corregida}(t | t_{OL}(z) = t)}$$

La figura 7 muestra un mapa de los términos de normalización obtenidos de esta manera para el ejemplo de la figura 1, con los valores más bajos sombreados y los valores más elevados en claro. En los cuadros negros 2, 3, se encuentran las zonas en las que las heterogeneidades de superficie provocan un defecto de acoplamiento, que ya había sido identificado con el mapa de los tiempos de propagación ilustrado en la figura 6. Los valores bajos considerados por los términos de normalización en estas zonas, y a la inversa, los valores más elevados de los términos de normalización en otros lugares, permiten compensar la pequeña amplitud de las señales temporales afectadas por los defectos de acoplamiento.

Como anteriormente, estos términos de normalización pueden ser utilizados para normalizar las señales temporales A-scan, por ejemplo dividiendo los valores de éstas entre los términos de normalización.

Por otro lado, como anteriormente, es posible realizar un filtrado espacial que corresponde a unas posiciones de medición distribuidas sobre una parte de superficie del material para filtrar el término de normalización de una posición de medición que pertenece a dicha parte de superficie.

Una vez normalizada la señal temporal, se puede realizar un procedimiento conocido de detección de los defectos, por ejemplo comparando los valores normalizados con unos umbrales o utilizando unos procedimientos más elaborados que permiten no solo detectar los defectos, sino también caracterizarlos.

En particular, se puede construir una de las representaciones evocadas, típicamente una C-scan, a partir de las señales temporales normalizadas restringidas a la zona de difracción, es decir a la duración de la medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en el interior del material, excluyendo ondas laterales o eco de fondo, y después a partir de esta representación detectar los defectos mediante un análisis de las variaciones de los valores de esta representación.

El procedimiento descrito se realiza típicamente mediante un ordenador provisto de un procesador y de una memoria. Con este fin, se propone un producto de programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la ejecución del procedimiento según la invención cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

La invención no está limitada al modo de realización descrito y representado en las figuras adjuntas. Siguen siendo posibles unas modificaciones, en particular desde el punto de vista de la constitución de los diversos elementos o por sustitución de equivalentes técnicos, sin apartarse por ello del campo de protección de la invención.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección por ultrasonidos de defectos en un material, que comprende las etapas siguientes, para una pluralidad de pares de posición de emisión y de posición de recepción:

- emitir ultrasonidos a partir de un transductor emisor ultrasonoro (14) colocado contra el material en una posición de emisión (4),
- adquirir, por un transductor receptor ultrasonoro (15) colocado contra el material en la posición de recepción (5) que corresponde a dicha posición de emisión, por lo menos una señal temporal representativa de la amplitud de los ultrasonidos propagados en el material en función del tiempo durante una duración de medición en una posición de medición,

caracterizado por que el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- para cada posición de medición, determinar un término de normalización de dicha posición de medición a partir de los valores tomados por lo menos por la señal temporal en dicha posición de medición durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;
- para cada posición de medición, normalizar la señal temporal en dicha posición de medición sobre la duración de medición utilizando el término de normalización de dicha posición de medición determinada a partir de por lo menos dicha señal temporal en dicha posición de medición para obtener una señal temporal normalizada,
- tratar señales temporales normalizadas para diferentes posiciones de medición para detectar defectos en el material.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los ultrasonidos son emitidos por el transductor emisor ultrasonoro (14) durante una duración de impulso, y la parte inicial de la duración de medición corresponde a una duración inferior al tiempo de propagación de las ondas ultrasonoras que se propagan en la superficie del material entre la posición de emisión (4) y la posición de recepción (5) adicionada en dos veces la duración de impulso, duración considerada a partir del inicio del impulso.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el término de normalización se determina a partir de la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que para una posición de medición, el cuadrado del término de normalización es proporcional a la potencia temporalmente media de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la determinación de los tiempos de propagación entre la posición de emisión (4) y la posición de recepción (5) correspondiente para las ondas ultrasonoras, y en el que se determina el término de normalización para una posición de medición a partir de los tiempos de propagación en diferentes posiciones de mediciones.

6. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que el tiempo de propagación en una posición de medición puede ser determinado correlacionando la señal temporal con una señal de referencia representativa de la recepción de una onda ultrasonora.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 6, en el que:

- para cada grupo de tiempos de una pluralidad de grupos de tiempos de propagación, se determina la potencia temporalmente media, para las posiciones de medición que presentan un tiempo de propagación perteneciente a dicho grupo de tiempos, de los valores tomados por la señal temporal durante la parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material, y
- se determina el término de normalización de una posición de medición a partir de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición.

8. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que se determina el término de normalización de una

posición de medición a partir de la media de las potencias temporalmente medias de las posiciones de medición del grupo de tiempos de propagación que corresponde al tiempo de propagación presentado por la posición de medición.

5 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se utiliza un filtrado espacial que corresponde a unas posiciones de medición distribuidas sobre una parte de superficie del material para filtrar el término de normalización de una posición de medición que pertenece a dicha parte de superficie.

10. Sistema de detección por ultrasonidos de defectos en un material que comprende:

10 - un transductor emisor ultrasonoro (14) adaptado para ser colocado contra el material en una posición de emisión y configurado para emitir unos ultrasonidos;

15 - un transductor receptor ultrasonoro (15) adaptado para estar contra el material en una posición de recepción (5) que forma con dicha posición de emisión un par de posición de emisión y de posición de recepción, estando el transductor emisor ultrasonoro (14) configurado para adquirir por lo menos una señal temporal representativa de la amplitud de los ultrasonidos propagados en el material en función del tiempo durante una duración de medición en una posición de medición; y

20 - un sistema de tratamiento automatizado de datos que comprende un procesador y una memoria, adaptado para ser utilizado en el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y configurado para realizar por lo menos las etapas siguientes para una pluralidad de pares de posición de emisión y de posición de recepción:

25 - para cada posición de medición, determinar un término de normalización de dicha posición de medición a partir de los valores tomados por lo menos por la señal temporal en dicha posición de medición durante una parte inicial de la duración de medición que corresponde a la recepción de ondas ultrasonoras propagadas en la superficie del material;

30 - para cada posición de medición, normalizar la señal temporal en dicha posición de medición sobre la duración de medición utilizando el término de normalización de dicha posición de medición determinada a partir de por lo menos dicha señal temporal en dicha posición de medición para obtener una señal temporal normalizada,

35 - tratar señales temporales normalizadas para diferentes posiciones de medición para detectar defectos en el material.

40 11. Producto de programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la ejecución del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

FIG 1

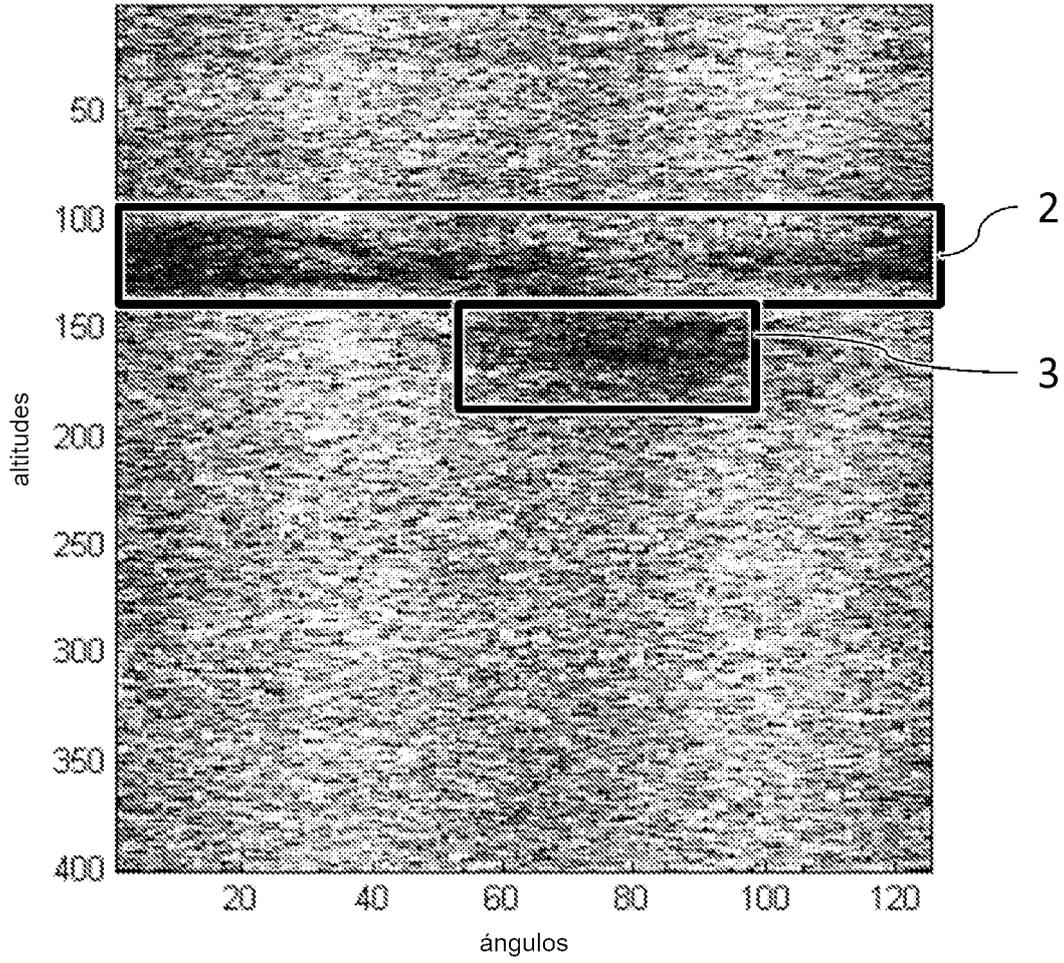


FIG 2

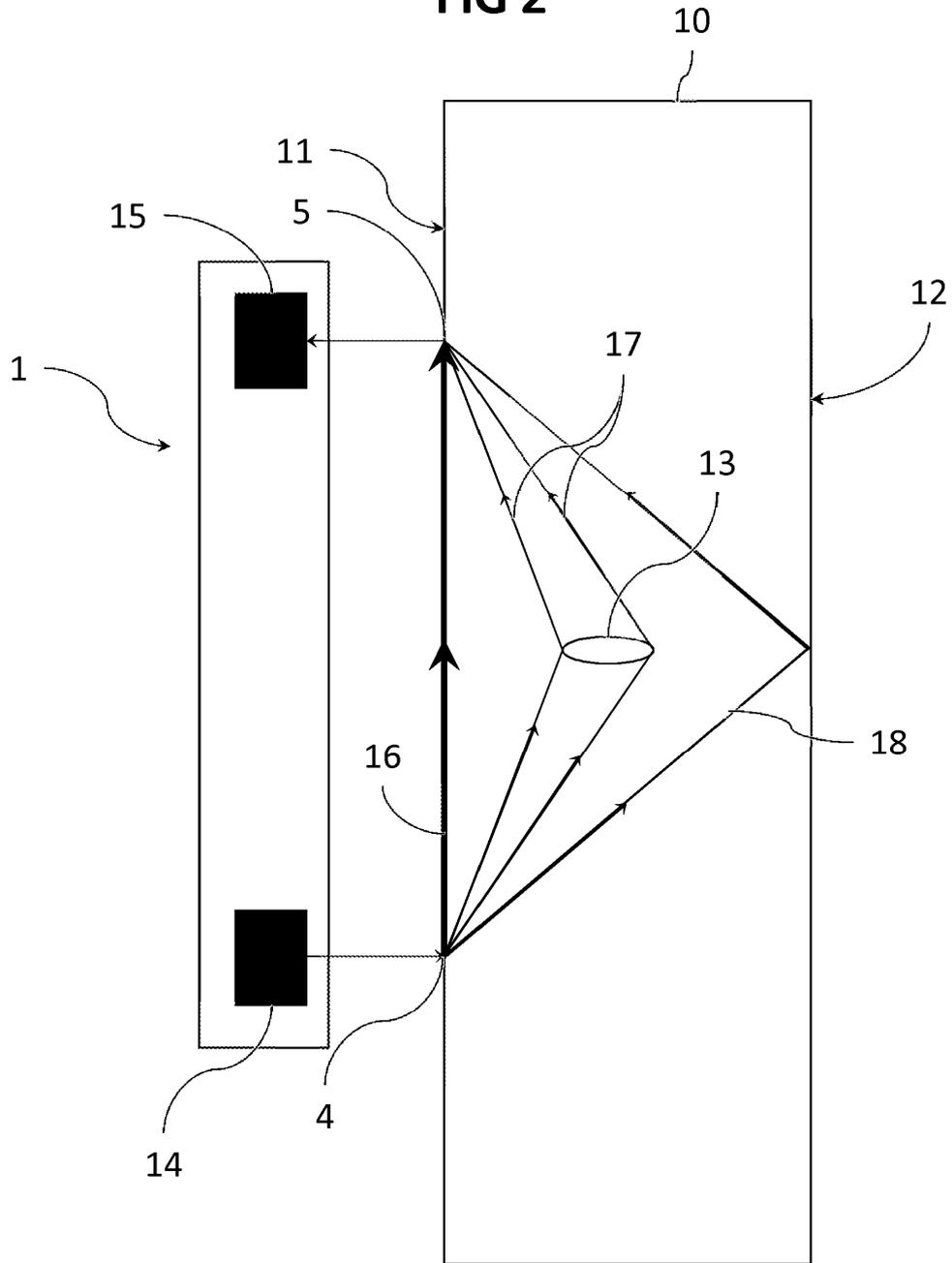


FIG 3

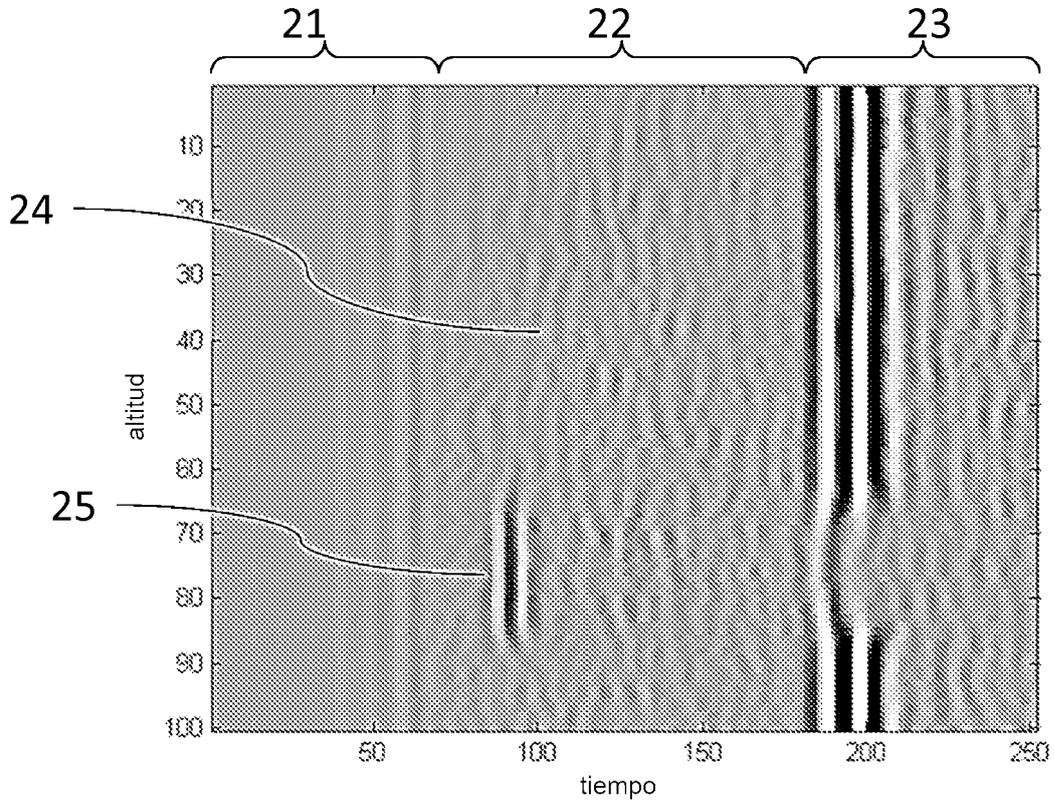


FIG 4

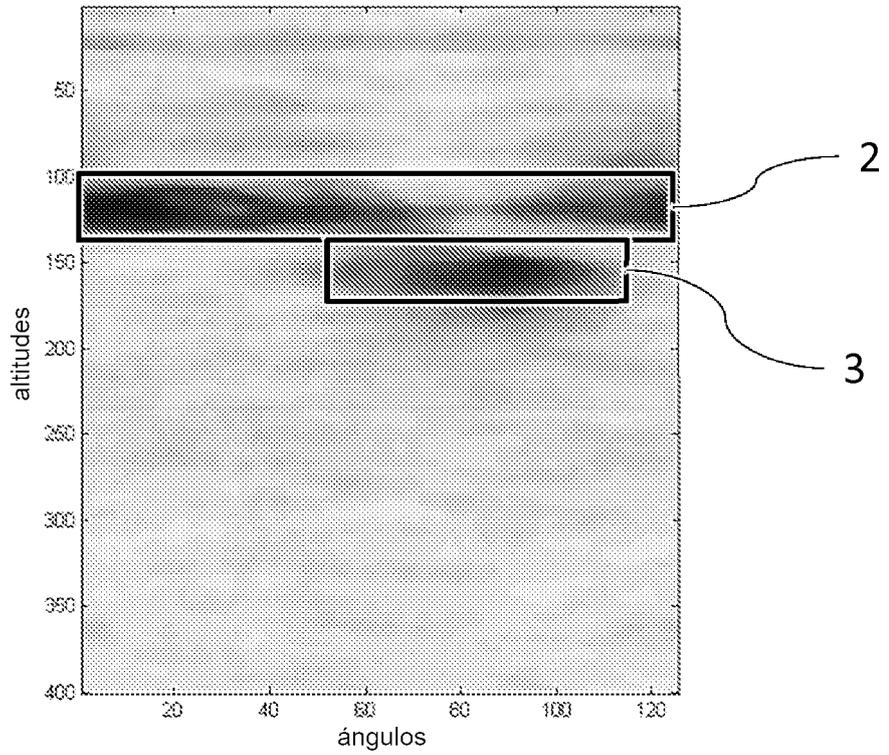


FIG 5

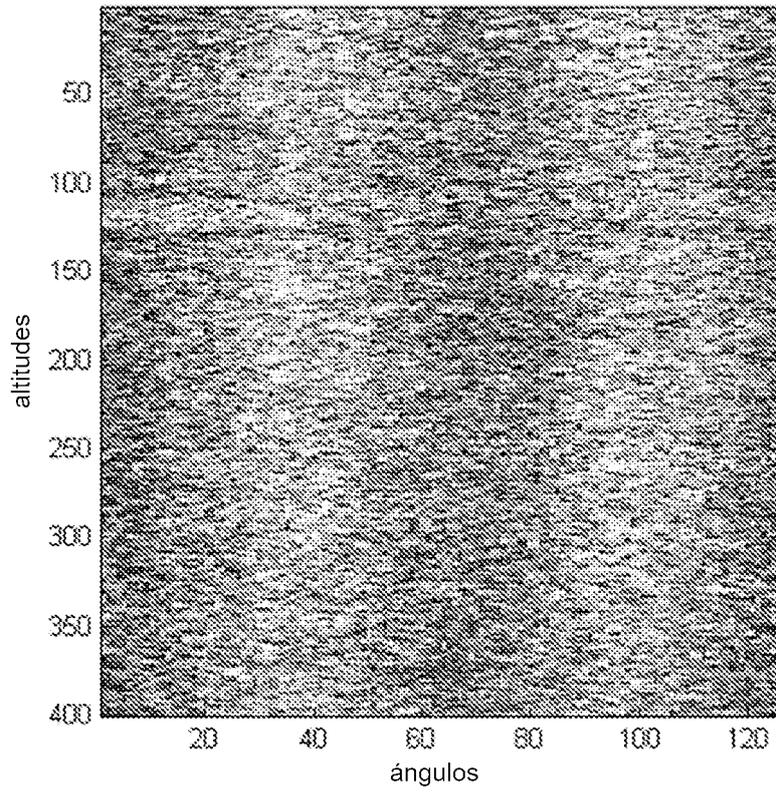


FIG 6

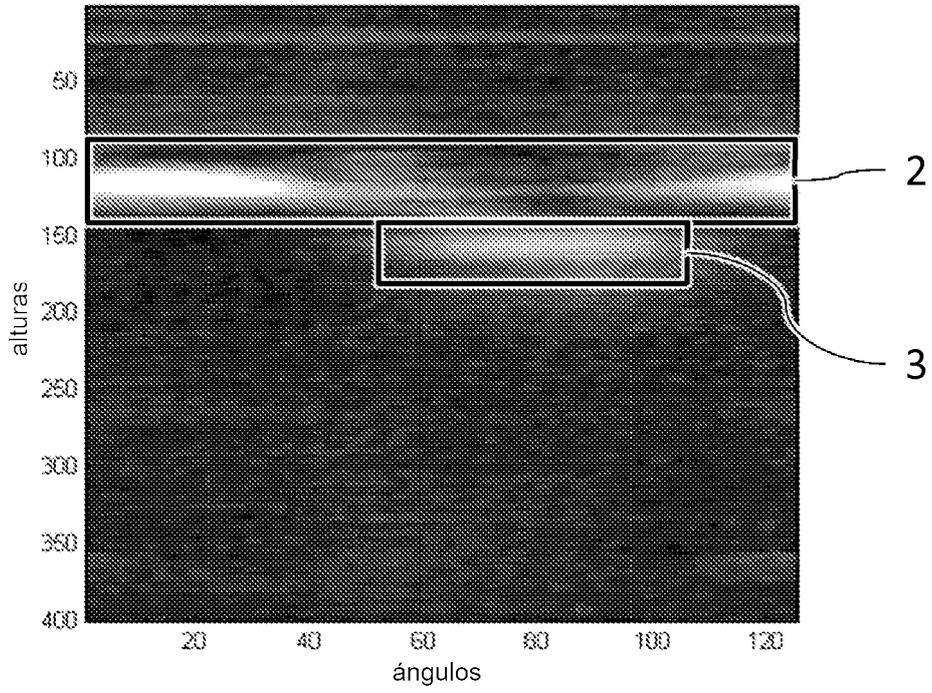


FIG 7

