

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 965**

51 Int. Cl.:

G01N 29/26 (2006.01)

G01S 7/52 (2006.01)

G10K 11/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2011 E 11752288 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2014 EP 2598871**

54 Título: **Procedimiento de control de transductores de una sonda de ultrasonidos, programa de ordenador correspondiente y dispositivo de sondeo ultrasónico**

30 Prioridad:

28.07.2010 FR 1056217

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

23.07.2014

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:

**ROBERT, SÉBASTIEN;
CASULA, OLIVIER y
NADIM, ARNAUD**

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 478 965 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 control de transductores de una sonda de ultrasonidos, programa de ordenador correspondiente y dispositivo de sondeo ultrasónico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de transductores de una sonda de ultrasonidos, a un programa de ordenador correspondiente y a un dispositivo de sondeo ultrasónico.

La invención se aplica principalmente al campo del control no destructivo de piezas mecánicas de formas complejas, en particular durante un control en inmersión, donde la pieza mecánica se sumerge en un líquido para ser sondeada a distancia, por ejemplo en el sector aeronáutico. Se puede aplicar también en el campo médico.

10 Más concretamente, la invención se refiere a un proceso a un procedimiento de control de transductores de ultrasonidos de una sonda ultrasónica cuyo objetivo es sondear un objeto, comprendiendo las etapas siguientes:

- controlar los transductores para que emitan hacia el objeto ondas ultrasonoras con retardos de emisión iniciales E^0 unas con respecto a las otras,
- recibir desde los transductores señales de medida S^0 que miden en particular los ecos por reflexión contra el objeto de las ondas ultrasonoras,
- 15 - determinar retardos de emisión complementarios E^1 a partir de las señales de medida S^0 , y
- controlar los transductores para que emitan hacia el objeto ondas ultrasonoras con unos retardos de emisión L^1 unas con respecto a otras, siendo determinados los retardos de emisión L^1 a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y los retardos de emisión complementarios E^1 .

De la solicitud de patente publicada con el número US 2006/0195273 se conoce un proceso que describe estas etapas.

20 Más precisamente, dicho documento describe un proceso donde la etapa de determinar los retardos de emisión complementarios E^1 a partir de las señales de medida S^0 consiste en proceder en dos tiempos: primero se calcula una estimación del contorno del objeto explícitamente a partir de las señales de medida S^0 obtenidas en un primer disparo; se calcula entonces una ley de retardos que puede ser asimilada a los retardos de emisión complementarios E^1 a partir de dicho contorno y se aplica en un segundo disparo.

25 Igualmente, concretamente en este documento los retardos de emisión iniciales son retardos nulos. Así, en el segundo disparo no hay explícitamente retardos de emisión L^1 determinados a partir de retardos de emisión iniciales E^0 y de los retardos de emisión complementarios E^1 , estableciéndose la ley de retardo directamente a partir del contorno estimado del objeto.

30 Este proceso fue desarrollado para controlar estructuras complejas en compuestos estratificados, es decir en una matriz de resina orgánica reforzada con tejidos de fibras de carbono, y se aplica en particular para detectar defectos de tipo deslaminación con orientación casi paralela a la superficie de la pieza. Permite provocar un frente de onda incidente con la misma curvatura que la superficie de la pieza, lo que minimiza la distorsión del haz ultrasonoro incidente a su entrada en la pieza. De este modo, se optimiza la transmisión del haz en la pieza, lo que favorece la detección de defectos en la misma en comparación a una emisión ultrasonora no adaptada. La detección y la localización de los defectos se llevan a cabo mediante análisis del B-scan obtenido (representación acumulada de las N señales de medida recibidas por los N transductores de la sonda). Dicho proceso está particularmente adaptado a materiales compuestos estratificados en los cuales los pliegues tienen una orientación casi paralela a la superficie y participan, de hecho, en la degradación del haz ultrasonoro transmitido cuando éste no está adaptado a la geometría del objeto. Asimismo, dicho proceso no se limita a este tipo de materiales, puede aplicarse también al control de otros materiales, por ejemplo

35

40 metálicos con defectos de tipo inclusiones.

No obstante, la utilización de tal proceso en objetos que presentan una geometría muy compleja, es decir, entre otros, una superficie muy diferente a una superficie ligeramente plana, genera un B-scan no utilizable, ya que presenta aún demasiado ruido. Principalmente, cuando la superficie del objeto presenta localmente un radio de curvatura pequeño en

comparación con las dimensiones de la sonda, subsisten fuertes interferencias entre las ondas reflejadas por el objeto que alteran la representación del B-scan.

Así sería deseable mejorar los procesos de control de los transductores existentes para permitir el control de objetos con geometrías muy complejas.

5 Por consiguiente, la invención tiene por objeto un proceso de control de los transductores de ultrasonidos de una sonda ultrasónica para sondear un objeto que comprende las etapas siguientes:

- controlar los transductores para que emitan hacia el objeto ondas ultrasonoras con retardos de emisión iniciales E^0 unas con respecto a las otras,
 - recibir desde los transductores señales de medida S^0 que miden en particular los ecos por reflexión contra el objeto
- 10 de las ondas ultrasonoras,
- determinar retardos de emisión complementarios E^1 a partir de las señales de medida S^0 , y
 - controlar los transductores para que emitan hacia el objeto ondas ultrasonoras con unos retardos de emisión L^1 unas con respecto a otras, siendo determinados los retardos de emisión L^1 a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y los retardos de emisión complementarios E^1 .

15 y que comprende además las etapas siguientes, iteradas al menos una vez, donde el número de iteraciones se denota por p :

- recibir desde los transductores nuevas señales de medida S^p , que miden el eco por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto, donde las ondas ultrasonoras tienen unos retardos de emisión L^p unas con respecto a otras, determinándose los retardos de emisión L^p a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios $E^1 \dots E^p$ determinados anteriormente,
 - determinar nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de las nuevas señales de medida S^p ,
 - controlar los transductores para que emitan ondas ultrasonoras hacia el objeto, donde las ondas ultrasonoras tienen unos retardos de emisión L^{p+1} unas con respecto a otras, determinándose los retardos de emisión L^{p+1} a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios $E^1 \dots E^{p+1}$ determinados anteriormente.
- 20
- 25

Así, gracias a la invención, es posible determinar retardos de emisión permitiendo a las ondas ultrasonoras alcanzar prácticamente de forma simultánea el objeto a sondear, y ello con sólo algunas iteraciones y cualquiera que sea la complejidad del objeto.

30 De forma opcional, la etapa en la que se determinan los nuevos retardos complementarios E^{p+1} a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende las etapas siguientes: determinar los tiempos de ida y vuelta t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p ; determinar los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos t^p .

También de forma opcional, la etapa en la que se determinan los tiempos de ida y vuelta t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende, para cada transductor, la etapa siguiente: determinar un tiempo de referencia en la nueva señal de medida S_n^p provista por el transductor considerado principalmente como el instante en el que el margen

35 de amplitud de la nueva señal de medida S_n^p adquiere un valor máximo, designando n el índice del transductor considerado.

También de forma opcional, la etapa en la que se determinan los tiempos de ida y vuelta t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende las etapas siguientes: determinar los desfases de recepción R^p a partir de los retardos de emisión L^p ; desfasar en el tiempo las nuevas señales de medida S^p en función de los desfases de recepción R^p .

40 También de forma opcional, la etapa en la que se determinan los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos t^p comprende, para cada transductor, la etapa siguiente: determinar el nuevo retardo de emisión complementario E_n^{p+1} para el transductor considerado según la ecuación

$$E_n^{p+1} = \frac{1}{2} [\max(t_1^p, \dots, t_N^p) - t_n^p],$$

donde t_n^p es el tiempo de ida y vuelta determinado a partir de la nueva señal de medida S_n^p provista por el transductor considerado, siendo n el índice del transductor considerado y N la cantidad de transductores.

También de forma opcional, el proceso comprende además la etapa siguiente: al final de cada iteración p de las etapas, evaluar un test de detención, el cual, en caso de ser verificado, detiene el proceso, y que, si no es verificado, provoca la ejecución de una nueva iteración $p+1$ de las etapas.

También de forma opcional, las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores son ondas impulsivas que presentan un pseudo-período temporal T , y el test de detención comprende la verificación de la desigualdad siguiente:

$$\max(E_1^p, \dots, E_N^p) \leq \frac{T}{4}.$$

También de forma opcional, el test de detención comprende verificar que el número de iteraciones ha alcanzado un número predeterminada, por ejemplo tres o cuatro iteraciones.

La invención tiene igualmente por objeto un programa de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o guardado en un soporte legible por un ordenador y/o ejecutable con un procesador, que comprende instrucciones para ejecutar las etapas de un proceso de sondeo según la invención cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

La invención tiene igualmente por objeto un dispositivo de sondeo ultrasónico que comprende:

- una sonda que incluye una caja y transductores ultrasónicos acoplados a la caja,
- medios de control diseñados para realizar un proceso de control de los transductores según la invención.

La invención se entiende mejor a partir de la descripción siguiente, dada únicamente a título de ejemplo y en relación a las figuras adjuntas, en las cuales:

Figura 1: representa esquemáticamente la estructura general de un dispositivo de sondeo según un modo de realización de la invención,

Figura 2: ilustra las etapas sucesivas de un proceso de sondeo que comprende un bucle de etapas y realizado por el dispositivo de sondeo de la Figura 1,

Figura 3: representa un ejemplo de utilización de la sonda de la Figura 1 para sondear un objeto acodado,

Figura 4: representa las señales de medida proporcionadas por los transductores del dispositivo de la Figura 1,

Figuras 5 y 6: B-scan obtenidos a partir de las señales de medida, para una primera y una segunda iteración del bucle de etapas, respectivamente

Figura 7: ilustra un fenómeno de interferencia, y

Figuras 8 y 9: B-scan obtenidos a partir de las señales de medida para una tercera y una cuarta iteración del bucle de etapas respectivamente.

Con referencia a la figura 1, un dispositivo de sondeo 100 de un objeto 102 según un modo de realización de la invención comprende un brazo articulado 104, una sonda de ultrasonidos 106 fijada al brazo articulado 104 y medios de mando 108 del brazo articulado diseñados para controlar el brazo articulado 104 con el fin de que éste desplace la sonda 106 con respecto al objeto 102.

El objeto 102 es, por ejemplo, una pieza mecánica que se desea examinar mediante un control no destructivo o bien, en un contexto médico, una parte del cuerpo humano que se desea controlar de modo no invasivo.

En el modo de realización de la figura 1, el objeto 102 está sumergido en un líquido, tal como agua 110, y la sonda 106 se mantiene a distancia del objeto 102 para que el agua 110 los separe.

5 La sonda 106 comprende primeramente una caja 112, esto es un elemento de estructura indeformable que sirve como referencia, acoplado a la sonda 106.

10 La sonda 106 comprende además N transductores $114_1 \dots 114_N$ dispuestos en la caja 112 y unidos a la misma. Los transductores $114_1 \dots 114_N$ están diseñados para emitir ondas ultrasonoras en la dirección al objeto 102 como respuesta a unas señales de mando C, según direcciones principales paralelas unas a otras, indicadas con las flechas de puntos de la figura 1.

Los transductores $114_1 \dots 114_N$ están diseñados además para detectar los ecos de ondas ultrasonoras que se reflejan sobre y en el objeto 102 y para generar señales de medida M correspondientes a dichos ecos.

15 El dispositivo de sondeo 100 comprende además un circuito electrónico 116 de control de los transductores $114_1 \dots 114_N$ de la sonda 106. El circuito electrónico 116 está conectado a la sonda 106 con el fin de transmitirle las señales de control C y para recibir las señales de medida M. El circuito electrónico 116 es por ejemplo el de un ordenador. El circuito electrónico 116 presenta una unidad central de procesamiento 118, tal como un microprocesador diseñado para emitir hacia la sonda 106 las señales de control C y para recibir de la sonda 106 las señales de medida M, y una memoria 120 donde está grabado un programa de ordenador 122.

20 El programa de ordenador 122 comprende un bucle de instrucciones 124 a 138 que puede ser ejecutado varias veces. En la siguiente descripción, se utiliza un rango de iteración p para distinguir las diferentes iteraciones del bucle de instrucciones 124 a 138. La ejecución inicial del bucle corresponde a p igual a cero (primera iteración), mientras que cada repetición del bucle corresponde al valor de p : p es igual a uno para la primera repetición (es decir la segunda iteración), a dos para la segunda repetición (es decir la tercera iteración), etc.

25 El programa de ordenador 122 comprende primeramente instrucciones 124 diseñadas para determinar los retardos de emisión $L^p = \{L^p_1, \dots, L^p_N\}$, donde L^p_n es el retardo de emisión a aplicar al transductor 114_n , a partir de los retardos iniciales E^0 y, llegado el caso, los retardos de emisión complementarios $E^1 \dots E^p$ que habrán sido determinados por las instrucciones 136 descritas más adelante. En el modo de realización descrito, los retardos de emisión L^p se determinan sumando los retardos iniciales E^0 y los retardos de emisión complementarios $E^1 \dots E^p$: $L^p = E^0 + E^1 + \dots + E^p$. En la primera ejecución de las instrucciones 124, es decir cuando p es igual a cero, los retardos de emisión L^0 son iguales a los retardos iniciales E^0 : $L^0 = E^0$. Los retardos iniciales E^0 están predefinidos en el programa de ordenador 122. Se trata por ejemplo de retardos nulos (ningún retraso entre los transductores $114_1 \dots 114_N$), en particular en el caso en que ninguna información, incluso aproximada, es conocida de la geometría del objeto 102. Como variante, los retardos iniciales E^0 pueden ser no nulos y engendran por ejemplo un frente de onda parcialmente adaptado a la geometría del objeto 102 en una primera aproximación. Dicha variante es utilizada por ejemplo cuando la geometría del objeto 102 es al menos parcialmente conocida.

30

35

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 126 diseñadas para controlar los transductores $114_1 \dots 114_N$ para que emitan hacia el objeto 102 ondas ultrasonoras con unos retardos de emisión L^p unas con respecto a otras. Para ello, las instrucciones 126 están diseñadas para transmitir señales de control $C^p = \{C^p_1, \dots, C^p_N\}$ a los transductores $114_1 \dots 114_N$, siendo C^p_n es el control transmitido al transductor 114_n que debe tener un retardo de emisión L^p_n . Estas señales de mando C^p están diseñadas para que los transductores $114_1 \dots 114_N$ emitan cada uno una onda ultrasonora impulsiva con pseudo-período temporal T, estando así las impulsiones desfasadas en el tiempo unas con respecto a otras los retardos de emisión L^p . Los retardos de emisión L^p tienen como finalidad compensar las diferencias entre las distancias que separan cada transductor del objeto 102 para el trayecto de ida, al efecto de que las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores alcancen en el mismo momento el objeto 102.

40

45

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 128 diseñadas para recibir desde los transductores señales de medida $S^p = \{S^p_1, \dots, S^p_N\}$, donde S^p_n es la señal de medida proporcionada por el transductor 114_n, que mide en particular los ecos por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto 102. Las instrucciones 128 están diseñadas además para registrar las señales de medida S^p . En el modo de realización descrito, las instrucciones 128 están diseñadas para registrar la señal de medida S^p_n de cada transductor 114_n en una entrada temporal de duración predeterminada y empezando, por ejemplo, cuando es emitida la señal de mando C^p_n de dicho transductor 114_n. Los registros de las señales de emisión S^p se designan $EN^p = \{EN^p_1, \dots, EN^p_N\}$, donde EN^p_n es el registro de la señal S^p_n del transductor 114_n.

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 130 diseñadas para determinar los desfases de recepción $R^p = \{R^p_1, \dots, R^p_N\}$ de los registros EN^p , a partir de los retardos de emisión L^p , siendo R^p_n el desfase de recepción del registro EN^p_n . En el modo de realización descrito, los desfases de recepción R^p están determinados por la fórmula siguiente: $R^p_n = \max(L^p_1, \dots, L^p_N) - L^p_n$. Los desfases de recepción R^p tienen por objeto compensar las diferencias entre las distancias que separan cada transductor del objeto para el trayecto de vuelta, de forma que los ecos de las ondas ultrasonoras, que se suponen deben reflejarse en el mismo momento en la superficie del objeto 102 mediante los retardos de emisión L^p , alcancen en el mismo momento los transductores 114₁...114_N.

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 132 diseñadas para desfasar los registros EN^p de las señales de medida S^p en función de los desfases de recepción R^p . Los registros así desfasados se denotan $\underline{EN}^p = \{\underline{EN}^p_1, \dots, \underline{EN}^p_N\}$, siendo \underline{EN}^p_n el registro desfasado de la señal S^p_n del transductor 114_n.

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 134 diseñadas para determinar los tiempos de ida y vuelta $t^p = \{t^p_1, \dots, t^p_N\}$, siendo t^p_n el tiempo de ida y vuelta determinado a partir del registro desfasado \underline{EN}^p_n correspondiente al transductor 114_n. Así, los tiempos de ida y vuelta t^p tienen en cuenta los retardos de emisión L^p y los desfases de recepción R^p . En el modo de realización descrito, el tiempo de ida y vuelta t^p_n para cada transductor 114_n se determina cuando se detecta, por ejemplo, el máximo de la envoltura de la señal correspondiente S^p_n registrado en el registro desfasado \underline{EN}^p_n .

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 136 diseñadas para determinar nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos de ida y vuelta t^p . En el modo de realización descrito, los retardos de emisión complementarios E^{p+1} se determinan mediante la fórmula siguiente:

$$E^{p+1}_n = \frac{1}{2} \left[\max(t^p_1, \dots, t^p_N) - t^p_n \right].$$

El programa de ordenador 122 comprende además instrucciones 138 diseñadas para evaluar un test de detención, con el fin de determinar la parada cuando el test de detención está verificado o la continuación de la ejecución del programa de ordenador 122 en caso contrario. En este último caso, las instrucciones 138 están diseñadas para volver a las instrucciones 124 a los efectos de provocar una nueva iteración del bucle de instrucciones 124 a 138, con los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} , de modo que el conjunto de los retardos de emisión complementarios comprende los $p+1$ retardos de emisión complementarios E^1, \dots, E^{p+1} . En la presente descripción, en ese momento el índice p se incrementa en una unidad, de modo que el conjunto de los retardos de emisión complementarios es en ese momento E^1, \dots, E^p , según la descripción de las instrucciones 124. En el modo de realización descrito, el test de detención verifica que la desigualdad siguiente se cumple: $\max(E^p_1, \dots, E^p_N) \leq T/4$, siendo T el pseudo-período temporal de las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores y siendo E^p los últimos retardos de emisión complementarios determinados en la etapa 134 (donde figuraban como E^{p+1}). Como variante, las instrucciones 138 pueden diseñarse para detener la ejecución del programa 122 al cabo de un número predeterminado de ejecuciones del bucle, por ejemplo cuatro o cinco, es decir p igual a tres o cuatro.

En referencia a la figura 2, se describe ahora un proceso de sondeo 200 realizado por el dispositivo 100 de la figura 1.

En el transcurso de una etapa 202, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 124 determina los retardos de emisión $L^p = \{L^p_1, \dots, L^p_N\}$ a partir de los retardos iniciales E^0 y, llegado el caso, los retardos de emisión complementarios $E^1 \dots E^p$ que se determinan en la etapa 222 descrita más adelante.

5 Durante las etapas 204₁, a 204_N, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 126 controla cada transductor 114_n para que emita ondas ultrasonoras hacia el objeto 102, donde las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores 114₁...114_N tienen retardos de emisión L^p unas con respecto a otras. Para ello, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 126 transmite cada señal de control C^p_n al transductor 114_n correspondiente, las señales de control C^p con los retardos de emisión L^p unas con respecto a otras.

10 En el transcurso de las etapas 206₁ a 206_N, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 128 inicia, después de transmitir cada señal de control C^p_n al transductor 114_n correspondiente, el registro de la señal de medida S^p_n emitida por dicho transductor 114_n.

En el transcurso de las etapas 208₁ a 208_N, cada transductor 114₁...114_N emite, después de recibir su señal de control, una onda ultrasonora impulsiva de pseudo-período temporal T . Así, las impulsiones están desfasadas en el tiempo unas con respecto a otras los retardos de emisión L^p .

15 En las etapas 210₁ a 210_N, cada transductor 114_n recibe los ecos de las ondas ultrasonoras reflejadas sobre y en el objeto 102.

En el transcurso de las etapas 212₁ a 212_N, cada transductor 114_n genera su señal de medida S^p_n , que mide en particular los ecos de las ondas ultrasonoras en la superficie del objeto 102. La unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 128 recibe dicha señal S^p_n y la registra en el registro EN^p_n .

20 En las etapas 214₁ a 214_N, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 128 detiene el registro EN^p_n de la señal S^p_n del transductor 114_n.

En una etapa 216, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 130 determina los desfases de recepción R^p a partir de los retardos de emisión L^p .

25 En una etapa 218, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 132 desfasa los registros EN^p de las señales de medida S^p en función de los desfases de recepción R^p para obtener los registros desfasados $\underline{EN^p}$.

En el transcurso de una etapa 220, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 134 determina los tiempos de ida y vuelta $t^p = \{t^p_1, \dots, t^p_N\}$ entre los transductores 114₁...114_N y el objeto 102 teniendo en cuenta retardos de emisión L^p y los desfases de recepción R^p , a partir de los registros desfasados $\underline{EN^p}$.

30 En el transcurso de una etapa 222, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 136 determina nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos de ida y vuelta t^p .

Así, es de señalar que las etapas 216 a 222 permiten determinar unos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de las señales de medida S^p .

35 En una etapa 224, la unidad de procesamiento 118 que ejecuta las instrucciones 138 determina si se detiene o se continúa la ejecución del programa de ordenador 122, y, en este último caso, incrementa p en una unidad antes de volver a la etapa 202.

40 El proceso de la figura 2 se realiza en cada posición del desplazamiento de la sonda 106 con respecto al objeto 102. En caso de que el objeto presente pequeñas variaciones de geometría a lo largo de dicho desplazamiento, los retardos de emisión iniciales E^0 en una posición dada se consideran ventajosamente iguales a los últimos retardos de emisión L^p determinados en una posición anterior, principalmente la posición justo anterior. Esto permite aumentar la velocidad de inspección de piezas de superficies muy amplias disminuyendo la cantidad de disparos en cada posición.

En referencia a las figuras 3 a 9, se detalla un ejemplo de realización del proceso de sondeo de la figura 2.

Con respecto a la figura 3, en el ejemplo descrito, el objeto 102 es una pieza que presenta un codo 302 de ángulo elevado y, por tanto, un radio bajo, que la sonda 106 del dispositivo de sondeo 100 debe sondear. La sonda 106 comprende por ejemplo $N = 49$ transductores.

5 A los efectos de sondear el codo 302, se activa el proceso de la figura 2.

En una primera ejecución del bucle de etapas, es decir cuando p es igual a cero (primera iteración), se emiten ondas ultrasonoras en las etapas 208_1 a 208_N por los transductores con retardos de emisión L^0 iguales a los retardos iniciales $E^0: L^0 = E^0$, nulos en el ejemplo descrito.

10 A continuación, en la etapa 218, se obtienen registros desfasados \underline{EN}^p incluyendo los del primero, del vigésimo cuarto hasta los cuarenta y nueve transductores representados en la figura 4.

Con respecto a la figura 5, la amplitud de la envoltura de las señales desfasadas \underline{EN}^p se determina en la etapa 220. En la figura 5, el eje vertical corresponde al tiempo, el eje horizontal a los transductores y la amplitud de la envoltura al nivel de los puntos grises. Dicha representación se conoce, como se indica anteriormente, con el nombre de "B-scan". Según una representación conocida de B-scan, la distancia de ida y vuelta ℓ_n para cada transductor 114_n se determina como la distancia que separa el origen de los tiempos del máximo de la amplitud de la envoltura, es decir del punto más oscuro en la línea vertical correspondiente al transductor 114_n . Por otra parte, se señala la aparición de una línea oscura LF que agrupa todos los puntos más oscuros de cada línea vertical y que corresponde al eco de la superficie del codo 302, seguida de un importante ruido estructural BF que no permite en ningún caso revelar la presencia de un eventual defecto en el objeto 102.

20 Como variante, se señala que la representación B-scan puede modificarse aplicando un tratamiento de promedio deslizante a las señales de medida registradas en los registros desfasados \underline{EN}^p .

Los retardos de emisión complementarios E^1 se determinan entonces en la etapa 222, y la continuación de la ejecución del programa se decide en la etapa 224, de modo que se realiza una primera repetición (segunda iteración) de las etapas (p se incrementa a 1).

25 La figura 6 representa el B-scan obtenido en la etapa 220 de esta primera repetición (o segunda iteración), a partir de los retardos de emisión $L^1 = E^0 + E^1$. Los retardos de emisión complementarios se calculan a partir de los tiempos de trayecto ida y vuelta, por lo que se podría obtener una línea oscura horizontal que indicaría que las ondas ultrasonoras de todos los transductores alcanzan en el mismo momento el codo 302. No obstante, se señala que no es el caso y que la línea oscura LF, correspondiente a la superficie del codo 302, sigue un poco abombada.

30 Con respecto a la figura 7, los inventores han determinado que, para piezas muy complejas, la primera iteración y su repetición hasta la etapa 220 no son suficientes para corregir las diferencias de geometría y los fenómenos de superposición de ondas en una misma señal de medición resultante. En efecto, cada transductor detecta un eco que es el producto de la interferencia entre el eco que resulta de su propia emisión de ondas ultrasonoras y los ecos que resultan de las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores próximos. Los inventores han determinado sin embargo que era posible adaptar el aparato de sondeo 100 a geometrías muy complejas, tales como el codo 302, iterando varias veces y completamente las etapas del proceso 200 de la figura 2.

35 Así, la figura 8 representa el B-scan obtenido en la etapa 220 de la segunda repetición (o tercera iteración) a partir de los retardos de emisión $L^2 = E^0 + E^1 + E^2$, mientras que la figura 9 representa el B-scan obtenido en la etapa 220 de la tercera repetición (o cuarta iteración), a partir de los retardos de emisión $L^3 = E^0 + E^1 + E^2 + E^3$. Se señala que la línea oscura LF es prácticamente horizontal en esta última figura, lo que indica que el aparato de sondeo 100 está adaptado a la geometría del objeto 102, es decir que el frente de ondas ultrasonoras formado por el conjunto de las ondas engendradas por todos los transductores $114_1 \dots 114_N$ tiene la misma curvatura que la superficie del codo 302.

Además, el ruido interno ha desaparecido, dejando aparecer la estructura real del objeto 102, en particular una línea clara LC que indica el fondo del codo 302. De este modo, todo defecto en el objeto 102 se hace aparente gracias a una repetición múltiple del bucle de etapas anteriormente descrito. En particular, los defectos de tipo deslaminación que se encuentran generalmente cerca del fondo LC se detectan mejor.

- 5 Se señala por otra parte que la invención no se limita al modo de realización descrito anteriormente. El experto en la materia podrá observar que surgirán diversas modificaciones que podrían ser aplicadas al modo de realización descrito anteriormente.

En particular, las instrucciones del programa de ordenador podrían sustituirse por circuitos electrónicos dedicados a las funciones realizadas durante la ejecución de dichas instrucciones.

- 10 Además, el proceso según la invención puede llevarse a cabo con un desplazamiento mecánico de la sonda o bien con un desplazamiento electrónico de una sub-abertura a lo largo de la abertura total del detector donde están situados los transductores.

- 15 En las reivindicaciones que se encuentran a continuación, los términos utilizados no deben ser interpretados como limitantes de las reivindicaciones al modo de realización expuesto en la presente descripción, sino para incluir todos los equivalentes que las reivindicaciones pretenden cubrir por su formulación y cuya previsión está al alcance del experto en la materia aplicando sus conocimientos generales para la realización de la enseñanza que acaba de describirse.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de transductores de ultrasonidos (114₁...114_N) de una sonda ultrasónica (106) con el objeto de sondear un objeto (102), que comprende las etapas siguientes:
- 5 - controlar (204₁ a 204_N) los transductores (114₁...114_N) para que emitan hacia el objeto (102) ondas ultrasonoras con retardos de emisión iniciales E^0 unas con respecto a otras,
 - recibir (212₁ a 212_N) desde los transductores (114₁...114_N) señales de medida S^0 que miden en particular los ecos por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto (102),
 - determinar (216, 218, 220, 222) retardos de emisión complementarios E^1 a partir de las señales de medida S^0 ,
 - 10 - controlar (204₁ a 204_N) los transductores (114₁...114_N) a los efectos de emitir hacia el objeto (102) ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^1 unas con respecto a otras, determinándose (202) los retardos de emisión L^1 a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de los retardos de emisión complementarios E^1 ,
- caracterizado porque comprende además las etapas siguientes, iteradas al menos una vez, siendo p el número de iteración:
- 15 - recibir (212₁ a 212_N) desde los transductores (114₁...114_N) nuevas señales de medición S^p , que miden los ecos por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto (102), las ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^p unas con respecto a otras, determinándose (202) los retardos de emisión L^p a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios E^1 ... E^p determinados anteriormente,
 - determinar (216, 218, 220, 222) nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de nuevas señales de medida S^p ,
 - 20 - controlar (204₁ a 204_N) los transductores (114₁...114_N) para que emitan ondas ultrasonoras hacia el objeto (102), las ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^{p+1} unas con respecto a otras, determinándose (202) los retardos de emisión L^{p+1} a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios E^1 ... E^{p+1} determinados anteriormente.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa (216, 218, 220, 222) en la cual se determinan los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende las etapas siguientes:
- determinar (216, 218, 220) los tiempos de ida y vuelta t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p ,
 - determinar (222) los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos t^p .
3. Procedimiento de control según la reivindicación 2, caracterizado porque la etapa (216, 218, 220) en la cual se determinan los tiempos de ida y vuelta t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende, para cada transductor (114₁...114_N), la etapa siguiente:
- determinar un tiempo de referencia en la nueva señal de medida S^p_n proporcionada por el transductor considerado (114_N), esencialmente como el momento en el cuál la envoltura de la amplitud de la nueva señal de medida S^p_n adquiere un valor máximo, donde n designa el índice del transductor considerado.
- 35 4. Procedimiento de control según la reivindicación 2 o 3, caracterizado porque la etapa (216, 218, 220) en la cual se determinan los tiempos t^p a partir de las nuevas señales de medida S^p comprende las etapas siguientes:
- determinar (216) desfases de recepción R^p a partir de los retardos de emisión L^p ,
 - desfasar (218) en el tiempo las nuevas señales de medida S^p en función de los desfases de recepción R^p .
- 40 5. Proceso según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque la etapa (222) en la cual se determinan los nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de los tiempos t^p comprende, para cada transductor (114₁...114_N), la etapa siguiente:

- determinar el nuevo retardo de emisión complementario E^{p+1}_n para el transductor considerado (114_n) según la ecuación:

$$E_n^{p+1} = \frac{1}{2} \left[\max(t_1^p, \dots, t_N^p) - t_n^p \right],$$

donde t_n^p es el tiempo de ida y vuelta determinado a partir de la nueva señal de medida S^p_n proporcionada por el transductor considerado (114_n), siendo n el índice del transductor considerado y N el número de transductores.

5

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque comprende además la etapa siguiente:

- al final de cada iteración p de las etapas, evaluar un test de parada, el cual, si se verifica, detiene el proceso y, si no se verifica, provoca la ejecución de una nueva iteración $p+1$ de las etapas.

10

7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque las ondas ultrasonoras emitidas por los transductores son ondas impulsivas que presentan un pseudo-período temporal T, y porque el test de parada comprende la verificación de la desigualdad siguiente: $\max(E^p_1, \dots, E^p_N) \leq T/4$.

8. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado porque el test de parada comprende verificar que el número de iteraciones ha alcanzado un número predeterminado, por ejemplo tres o cuatro iteraciones.

15

9. Programa de ordenador descargable desde una red de comunicación y/o grabado en un soporte legible por un ordenador y/o ejecutable por un procesador, caracterizado porque comprende instrucciones para la ejecución de las etapas de un proceso de sondeo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

20

10. Dispositivo de sondeo ultrasónico de un objeto (102) que comprende una sonda (106) que incluye una caja (112), transductores de ultrasonidos (114₁...114_N) acoplados a la caja (112) y medios de control (116) que permiten ejecutar:

- instrucciones (126) de control de los transductores (114₁...114_N) para que emitan hacia el objeto (102) ondas ultrasonoras con retardos de emisión iniciales E^0 unas con respecto a otras,

25

- instrucciones (128) de recepción desde los transductores (114₁...114_N) de señales de medida S^0 que miden en particular los ecos por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto (102),

- instrucciones (130, 132, 134, 136) de determinación de retardos de emisión complementarios E^1 a partir de las señales de medida S^0 ,

30

- instrucciones (126) de control de los transductores (114₁...114_N) para que emitan hacia el objeto (102) ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^1 unas con respecto a otras, determinándose los retardos de emisión L^1 a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y los retardos de emisión complementarios E^1 ,

- instrucciones (128) para iterar al menos una vez, siendo el número de iteración p , la recepción desde los transductores (114₁...114_N) de nuevas señales de medida S^p , que mide los ecos por reflexión de las ondas ultrasonoras en el objeto (102), las ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^p unas con respecto a otras, determinándose los retardos de emisión L^p a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios E^1 ... E^p determinados anteriormente,

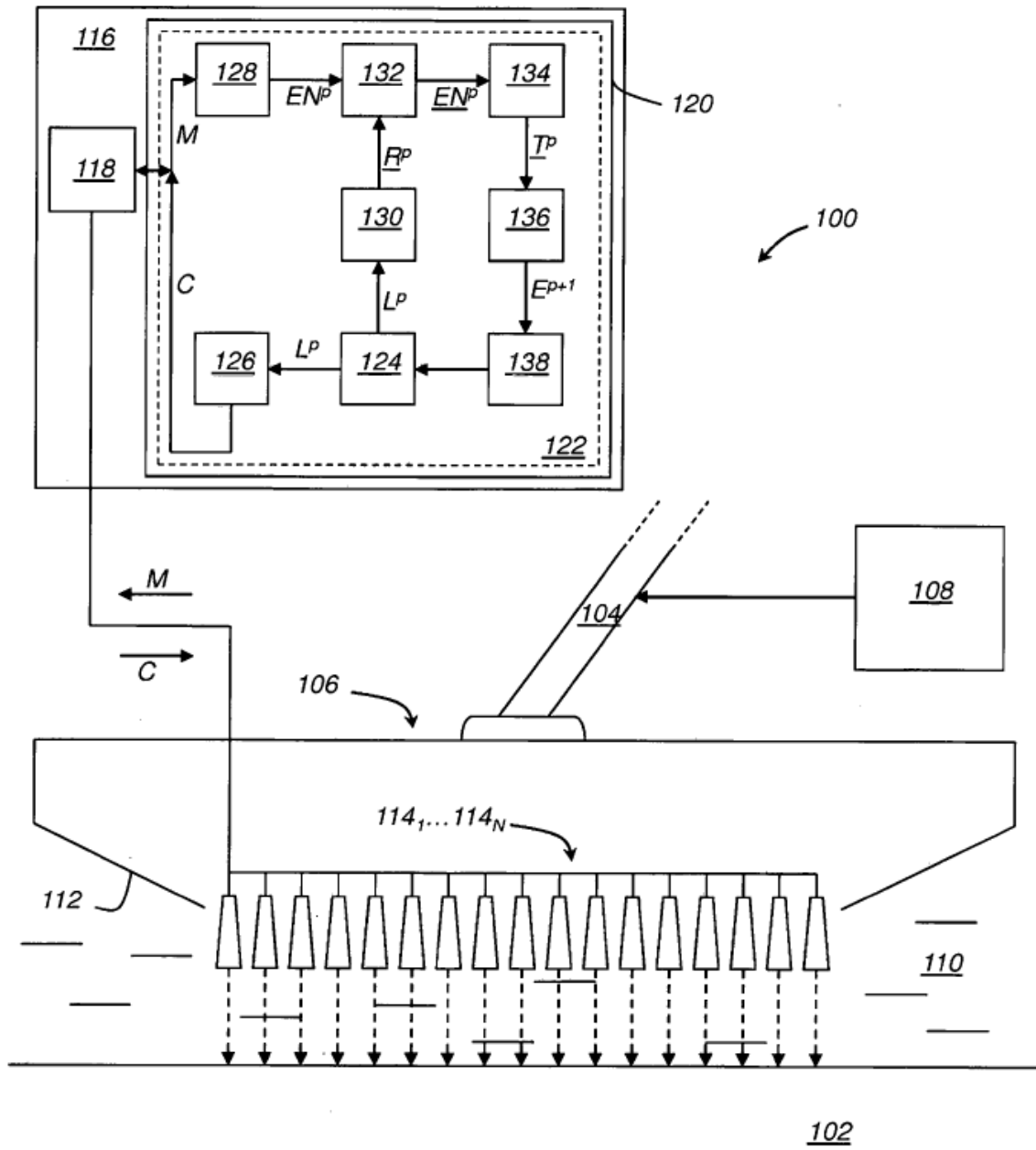
35

- instrucciones (130, 132, 134, 136) a iterar al menos una vez, para determinar nuevos retardos de emisión complementarios E^{p+1} a partir de nuevas señales de medida S^p ,

40

- instrucciones (126), a iterar al menos una vez, de control de los transductores (114₁...114_N) para que emitan ondas ultrasonoras hacia el objeto (102), las ondas ultrasonoras con retardos de emisión L^{p+1} unas con respecto a otras, determinándose los retardos de emisión L^{p+1} a partir de los retardos de emisión iniciales E^0 y de todos los retardos de emisión complementarios E^1 ... E^{p+1} determinados anteriormente.

Figura 1



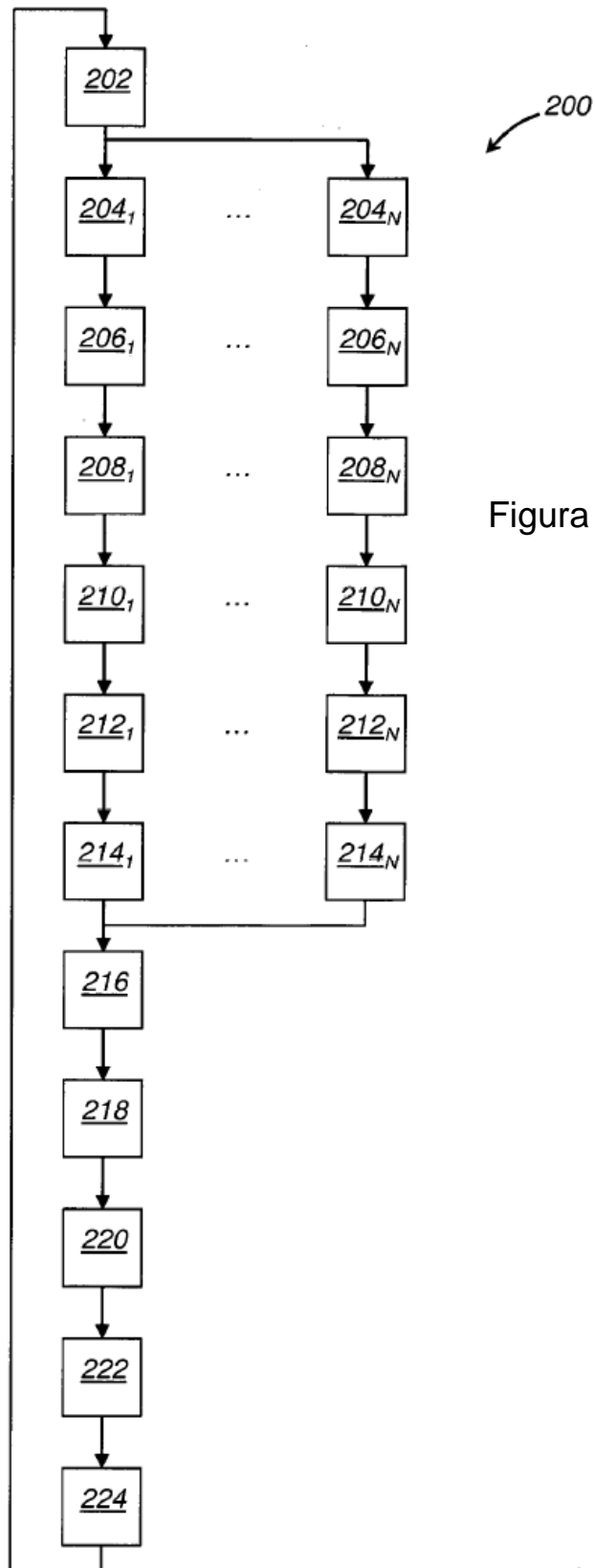


Figura 2

Figura 3

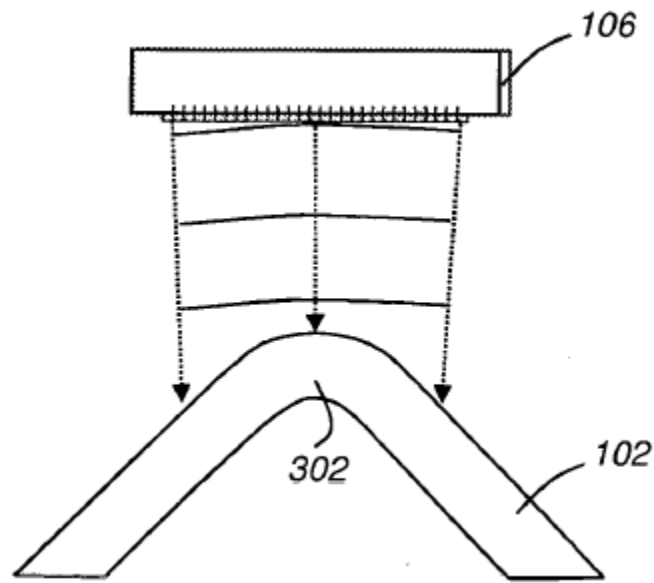


Figura 4

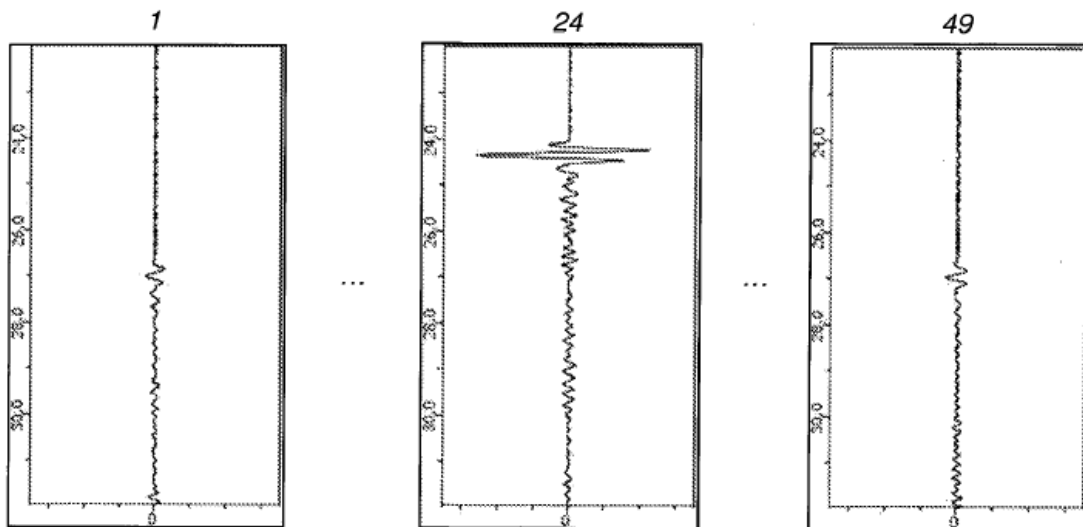


Figura 5

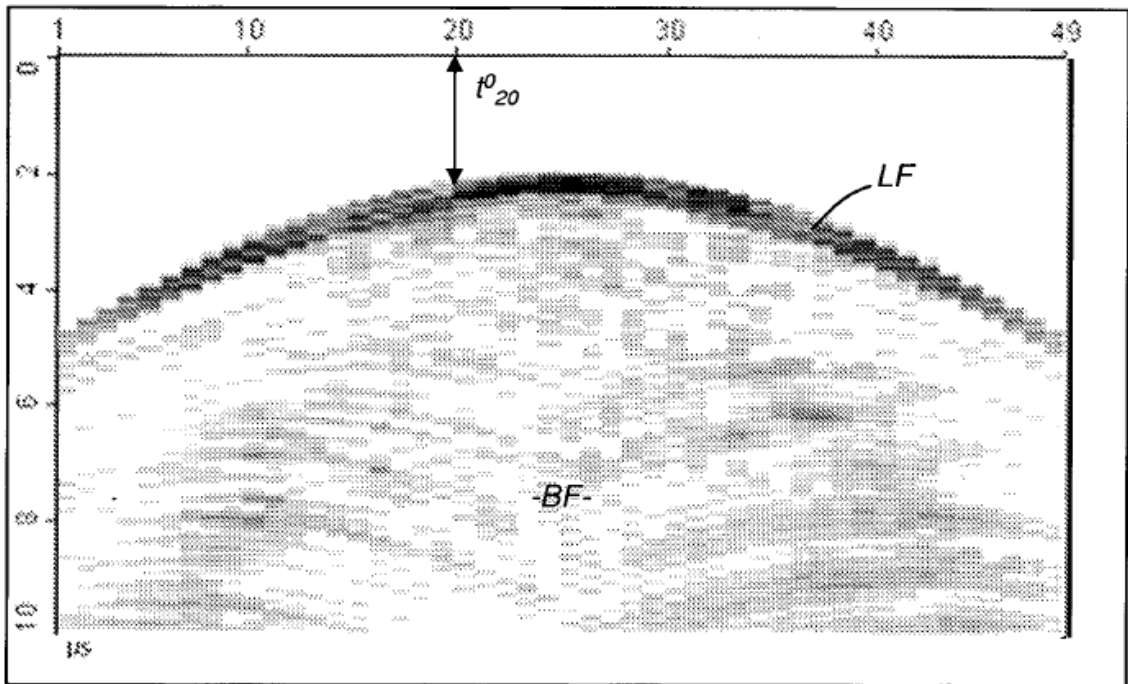


Figura 6

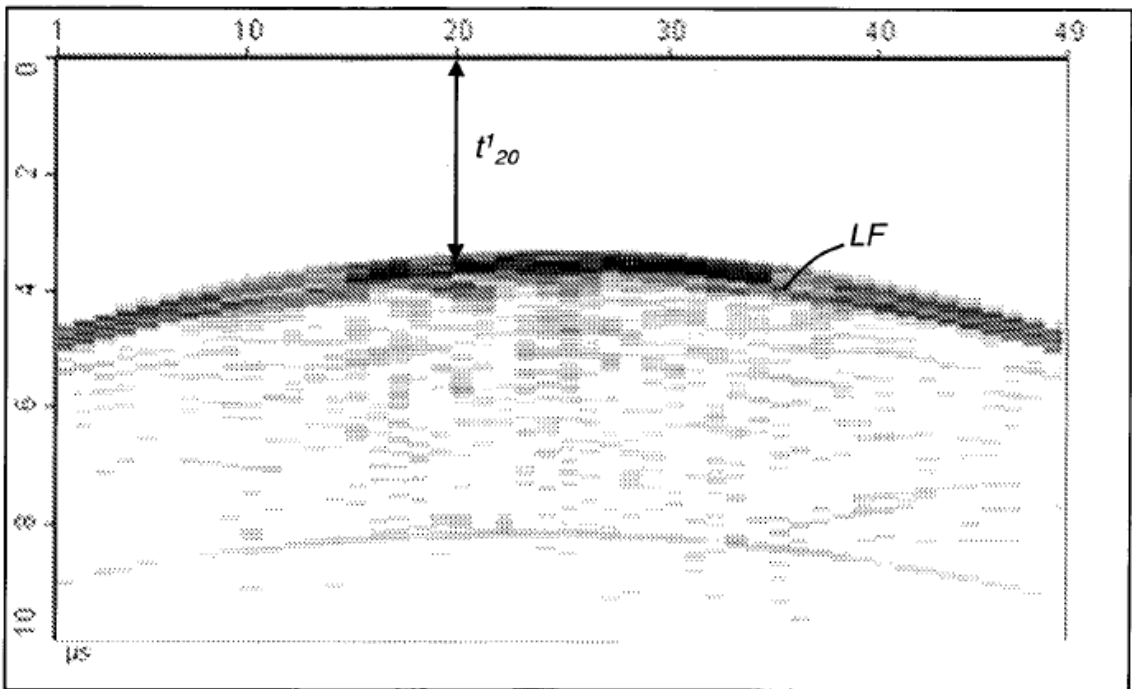


Figura 7

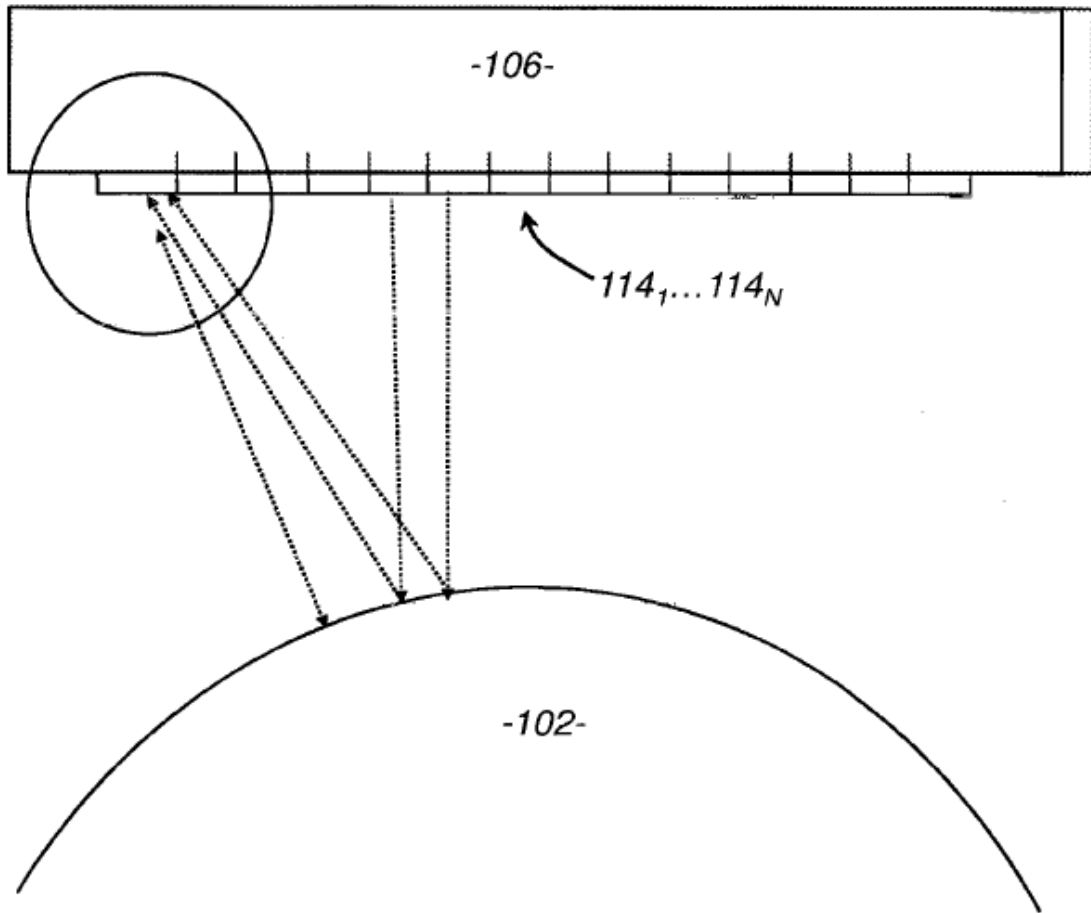


Figura 8

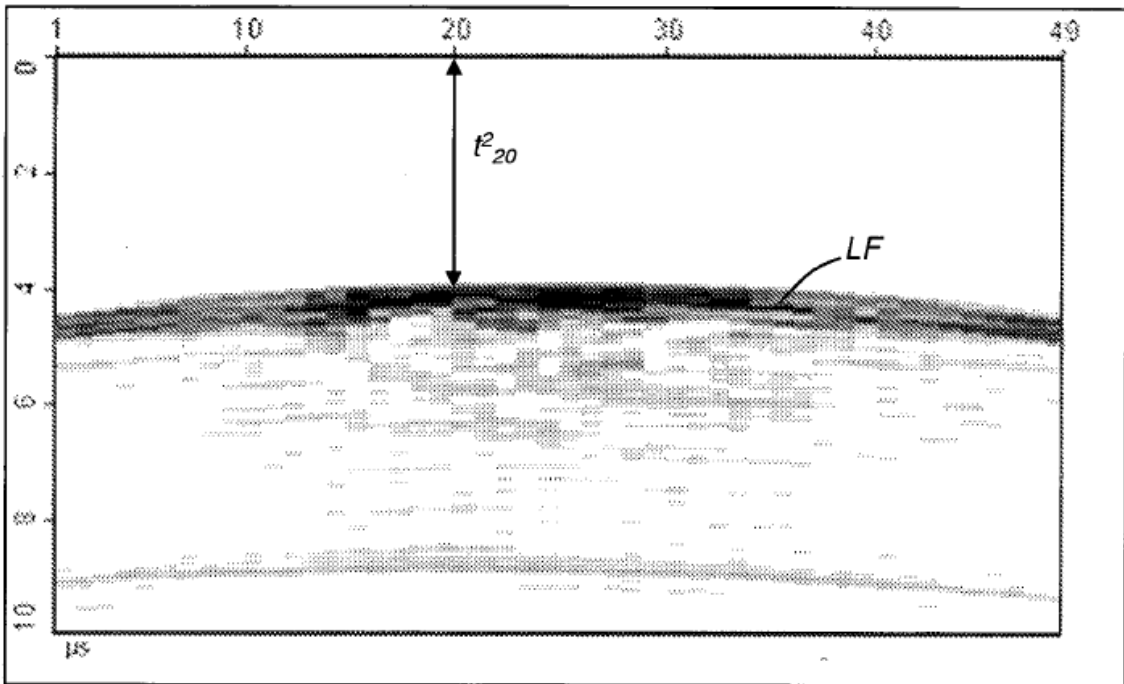


Figura 9

