

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 655 514**

51 Int. Cl.:

G01N 29/14 (2006.01)
G01N 29/11 (2006.01)
G01N 29/30 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)
G01N 29/46 (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)
G01N 29/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.09.2014 PCT/EP2014/069186**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015 WO15036398**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.09.2014 E 14765910 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 3044580**

54 Título: **Procedimiento de control no destructivo por ultrasonidos de una pieza por análisis de ecos**

30 Prioridad:

12.09.2013 FR 1358779

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.02.2018

73 Titular/es:

**AIRBUS (100.0%)
2 Rond-Point Émile Dewoitine
31700 Blagnac, FR**

72 Inventor/es:

**DOMINGUEZ, NICOLAS y
GUIBERT, FRANK**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 655 514 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 no destructivo por ultrasonidos de una pieza por análisis de ecos

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al campo del control no destructivo por ultrasonidos de una pieza, en particular a la determinación de una curva de amplificación variable implementada para compensar la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por la pieza.

Estado de la técnica

10 Los procedimientos de control no destructivo por ultrasonidos se utilizan en numerosos campos industriales. Estos controles son particularmente importantes cuando debe garantizarse la integridad de las piezas en servicio, principalmente en el caso de construcciones aeronáuticas.

Un dispositivo de control no destructivo por ultrasonidos incluye en general unos equipos para la inspección y unos equipos para el análisis de las señales captadas durante la inspección.

15 Los equipos para la inspección incluyen al menos un transductor ultrasónico, que realiza la conversión de una señal eléctrica en una onda ultrasónica y viceversa, y un generador/receptor de señales eléctricas que se conecta al transductor ultrasónico.

Los equipos para el análisis incluyen unos medios de captación de las señales recibidas desde el generador/receptor, y unos medios de cálculo para el procesamiento de las señales captadas, como por ejemplo para aislar los ecos ultrasónicos, determinar unos niveles de amplitud, etc.

20 En el marco de una inspección de una pieza por ultrasonidos, es conocida la calibración del dispositivo de control no destructivo por ultrasonidos de manera que, si el material que forma la pieza está sano, un reflector de referencia responde con la misma amplitud, cualquiera que sea la profundidad a la que se encuentre en la pieza, de manera que se asegure un diagnóstico de igual rendimiento en el grosor de dicha pieza. Un reflector de referencia de ese tipo puede ser, según las aplicaciones, un defecto de referencia o un elemento de la pieza en sí misma como por ejemplo la cara del fondo de la pieza.

25 Con el fin de realizar esta ecualización de la amplitud de los ecos ultrasónicos, es conocida la determinación de una curva de amplificación variable de la amplitud de los ecos ultrasónicos que permita compensar los efectos de pérdida (atenuación intrínseca del material, divergencia del campo ultrasónico) en el interior de un material sano del mismo tipo del que forma la pieza a inspeccionar. Esta curva de amplificación variable se designa generalmente por TCG ("Time Corrected Gain") o DAC ("Distance Amplitude Correction") según que se exprese en función del tiempo
30 o de la distancia. La corrección de la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por la pieza puede efectuarse entonces en tiempo real durante la captación, o durante el procesamiento posterior de las señales captadas por los medios de captación.

35 Actualmente, antes de cada inspección de una pieza por medio de un transductor ultrasónico, se ajusta la curva de amplificación variable TCG/DAC por un operario que efectúa, con dicho transductor ultrasónico, varias captaciones sobre una muestra de referencia, de material sano del mismo tipo que el que forma la pieza a inspeccionar, incluyendo varios reflectores de referencia idénticos a unas profundidades diferentes, por ejemplo unos defectos artificiales de dimensiones idénticas.

40 La curva de amplificación variable TCG/DAC así generada está limitada en precisión por el número de reflectores de referencia de la muestra de referencia. Además, el establecimiento de dicha curva de amplificación variable TCG/DAC necesita, antes de cada inspección de una pieza, varias captaciones (es decir disparos) ultrasónicos sobre una muestra de referencia, lo que vuelve al establecimiento de dicha curva de amplificación variable TCG/DAC en laboriosa, y no facilita la implementación y la comparación de resultados en unos emplazamientos geográficos diferentes (portabilidad de la muestra de referencia).

Exposición de la invención

45 La presente invención tiene por objetivo solucionar en todo o en parte unas limitaciones de las soluciones de la técnica anterior, principalmente aquellas expuestas anteriormente, proponiendo una solución que permita determinar, de manera automática y rápida, limitando al máximo las captaciones preliminares sobre una muestra de referencia, una curva de amplificación variable válida para un material que forma la pieza y el transductor ultrasónico considerado.

50 Con este fin, y según un primer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de control no destructivo por ultrasonidos de una pieza por análisis de los ecos reenviados por dicha pieza en respuesta a la emisión de una onda ultrasónica por medio de un transductor ultrasónico, incluyendo dicho procedimiento una etapa de determinación de una curva de amplificación variable y una etapa de corrección de la amplitud de los ecos reenviados por la pieza en función de la curva de amplificación variable y de los instantes de recepción de dichos ecos, caracterizado por que

dicho procedimiento incluye unas etapas de:

- obtención de una función de onda representativa del espectro en frecuencia de las ondas ultrasónicas emitidas por el transductor ultrasónico,
- 5 - obtención de funciones de transferencia F^m representativas de las respuestas en frecuencia de las muestras de referencia R^m del material que forma dicha pieza, de grosores e_m respectivos diferentes,
- cálculo de valores de atenuaciones de referencia entre por una parte la función de onda y, por otra parte, los resultados de cálculos de filtrado de dicha función de onda por las funciones de transferencia F^m respectivas de las muestras de referencia R^m ,

determinándose la curva de amplificación variable en función de los valores de las atenuaciones de referencia.

- 10 Dichas disposiciones permiten disminuir la duración de la inspección de la pieza, y más particularmente disminuir la duración necesaria para establecer la curva de amplificación variable.

En efecto, según la técnica anterior, la curva de amplificación variable se establece en función de valores de atenuaciones de referencia calculadas en función de las señales medidas en el transcurso de inspecciones reales de muestras de referencia. Según la invención, los valores de atenuación de referencia se calculan en función de
15 señales simuladas, obtenidas principalmente mediante los cálculos de filtrado de la función de onda por las funciones de transferencia, que se convierte en efectuar unas inspecciones virtuales de muestras de referencia.

En unos modos particulares de implementación, el procedimiento objeto de la invención puede incluir además una o varias de las características siguientes, tomadas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

- 20 En un modo particular de implementación, la función de onda se obtiene a partir de una base de datos en la que dicha función de onda se ha memorizado previamente. Dichas disposiciones permiten acelerar el establecimiento de la curva de amplificación variable en la medida en la que la etapa de obtención de la función de onda consiste en una lectura de dicha función en la base de datos.

25 En un modo particular de implementación, la función de onda se estima midiendo una onda ultrasónica emitida por el transductor ultrasónico en un medio de acoplamiento en ausencia de dicha pieza o de la muestra de referencia.

30 En un modo particular de implementación, las funciones de transferencia F^m se obtienen a partir de una base de datos en la que se han memorizado previamente dichas funciones de transferencia y/o se calculan a partir de al menos una función de transferencia de referencia obtenida a partir de una base de datos en la que se ha memorizado previamente dicha función de transferencia de referencia. Dichas disposiciones permiten acelerar el establecimiento de la curva de amplificación variable en la medida en que la etapa de obtención de las funciones de transferencia consiste en una lectura de dichas funciones de transferencia en la base de datos y/o en una lectura de al menos una función de transferencia de referencia en la base de datos seguida por cálculos numéricos de dichas funciones de transferencia.

En un modo particular de implementación, el procedimiento incluye una etapa de medición:

- 35 - de un espectro en frecuencia S_R de una onda ultrasónica que haya atravesado una muestra de referencia real R_R , de grosor d_R , realizada en material sano del mismo tipo que el de la pieza,
- de un espectro en frecuencia S de una onda ultrasónica de las mismas características que no haya atravesado dicha muestra de referencia real R_R ,

40 en la que la función de transferencia F^m de la muestra de referencia R^m de grosor e_m se determina en el campo de las frecuencias calculando para unos valores de frecuencias f discretas la expresión:

$$F^m(f) = \exp\left(\frac{e_m}{a \cdot d_R}\right) \cdot \frac{|S_R(f)|}{A \cdot |S(f)|},$$

expresión en la que a y A son unos factores positivos.

45 Dichas disposiciones permiten limitar al máximo las necesidades de inspección de muestras de referencia, en la medida en la que se calculan varias funciones de transferencia $F^m(f)$ a partir de los espectros en frecuencia $S(f)$ y $S_R(f)$ medidos para una única muestra de referencia real.

Ventajosamente para reducir la cantidad de datos que deben memorizarse, la función de transferencia F^m de la muestra de referencia R^m y de grosor e_m se determina según la expresión:

$$F^m(f) = \exp\left(-\frac{\alpha_R(f) \cdot e_m}{20}\right),$$

en la que $\alpha_R(f)$ es una función de transferencia de referencia determinada según la expresión:

$$\alpha_R(f) = \frac{1}{a \cdot d_R} \cdot 20 \cdot \log\left(\frac{A \cdot |S(f)|}{|S_R(f)|}\right).$$

5 En un modo particular de implementación, el procedimiento incluye una etapa de estimación de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en la pieza, y en la que:

- la amplitud de los ecos reenviados por la pieza se corrige en función de la curva de amplificación variable, de los instantes de recepción de dichos ecos, y de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en dicha pieza, o
- la curva de amplificación variable se determina en función de los valores de las atenuaciones de referencia y de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en dicha pieza.

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que sigue, dada a título de ejemplo en ningún caso limitativo, y realizada con referencia a las figuras que representan:

- 15 - la figura 1: una representación esquemática de un dispositivo de control no destructivo por ultrasonidos según la invención,
- la figura 2: una representación esquemática de las etapas de un procedimiento de determinación de una curva de amplificación variable con la duración de propagación de una onda ultrasónica en el material que forma la pieza según la invención,
- 20 - la figura 3: una representación esquemática de un modo de determinación de una función de onda de un transductor ultrasónico,
- la figura 4: un ejemplo de una función de onda en el campo temporal,
- la figura 5: un ejemplo de una función de onda en el campo de la frecuencia,
- las figuras 6 y 7: una representación esquemática de un modo de caracterización de una muestra de referencia real R_R ,
- 25 - la figura 8: un ejemplo de una función de atenuación de referencia según la invención,
- la figura 9: un ejemplo de función de transferencia según la invención,
- las figuras 10 y 11: un ejemplo de filtrado de una función de onda mediante una función de transferencia en los campos de la frecuencia y temporal,
- figura 12: unos ejemplos de modos de representación de valores de atenuación de referencia según la invención.

30 En estas figuras, unas referencias idénticas de una figura a otra designan unos elementos idénticos o análogos. Por razones de claridad, los elementos representados no están a escala, salvo indicación en contrario.

Descripción detallada de modos de realización

35 Tal como se representa en la figura 1, un procedimiento 6 de control no destructivo por ultrasonidos de una pieza 2 implementa unos equipos para la inspección ultrasónica, principalmente un transductor ultrasónico 100 y un generador/receptor 101 de señales, generalmente eléctricas, y unos equipos para el análisis de los datos recogidos en el transcurso de la inspección, tal como unos medios de cálculo 110 (un microcontrolador, un ordenador que dispone de un microprocesador, etc.) y unos medios de almacenamiento 111 (una memoria electrónica y/o magnética, etc.) para memorizar los resultados de la inspección ultrasónica.

40 Durante el control no destructivo por ultrasonidos, la pieza 2 se sumerge, de manera conocida, al menos parcialmente, en un medio de acoplamiento 3 constituido por agua o gel.

El transductor 100 se coloca en general de manera que emita unas ondas ultrasónicas que tengan una incidencia sustancialmente normal a una cara delantera 2a de la pieza.

El transductor 100 de la figura 1 se utiliza en emisión y en recepción, y mide unos ecos ultrasónicos debidos a unas

discontinuidades de las impedancias acústicas.

Se recibe un eco, denominado “de cara”, o “eco de entrada”, para una interfaz entre la cara delantera 2a de la pieza 2 y el medio de acoplamiento 3, y se recibe en general un eco, denominado “de fondo”, para una interfaz entre dicho medio de acoplamiento y una cara posterior 2b de dicha pieza, situada en el lado de la pieza opuesto al transductor 100.

En lo que sigue de la exposición, se utilizan las notaciones siguientes para representaciones en los campos de la frecuencia y temporal de las funciones: una función denotada por H puede corresponder a una u otra de las representaciones, H(f) es la representación en la frecuencia de la función H, y H(t) es la representación en el tiempo de dicha función H.

La figura 2 representa las principales etapas 61, 62, 63, 64, 65 y 66 de un modo preferido de implementación del procedimiento 6 de control no destructivo. En particular, la etapa 65 corresponde a la determinación de una curva de amplificación variable, implementada en el transcurso de la etapa 66 para corregir la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por la pieza 2. En lo que sigue de la descripción, se sitúa de manera no limitativa en el caso en el que se busca establecer una curva de amplificación variable que permita ecualizar la amplitud del eco de fondo. Tal como se ha indicado anteriormente, la invención puede aplicarse sin embargo considerando otros tipos de reflectores de referencia, por ejemplo para determinar una curva de amplificación variable que permita ecualizar la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por unos defectos de referencia.

Los resultados de ciertas etapas son reproducibles y, si dichos resultados se memorizan para reutilizarse, dichas etapas no se ejecutan necesariamente de nuevo.

En la etapa 61 del procedimiento 6, se caracteriza el transductor 100 ultrasónico.

La caracterización del transductor 100 consiste en la determinación de una función de onda F_o , representativa del espectro en frecuencia de las ondas ultrasónicas emitidas por dichos transductores y recibidas en ausencia de pieza. La función de onda F_o se determina por ejemplo colocando una placa reflectante 4 en la cara del transductor 100 en el medio de acoplamiento 3, tal como se ha representado en la figura 3, y midiendo el eco de una onda ultrasónica reflejada por la placa reflectante 4.

Preferentemente, la placa reflectante 4 se coloca a una distancia d del transductor 100, sustancialmente igual a la distancia utilizada para el control no destructivo de la pieza 2, principalmente en el caso de un transductor ultrasónico enfocado.

Un ejemplo de eco medido se representa en la figura 4. Un eco de ese tipo es una representación temporal $F_o(t)$ de la función de onda F_o asociada al transductor 100.

La función de onda $F_o(t)$ se transpone preferentemente en el campo de las frecuencias, por ejemplo mediante transformada de Fourier, con el fin de tener una función de onda $F_o(f)$ directamente en la forma de un espectro en frecuencia. El espectro en frecuencia asociado al eco representado en la figura 4 se representa en la figura 5.

Las frecuencias f consideradas para la función de onda $F_o(f)$ son preferentemente unos valores discretos comprendidos en un intervalo $[f_{MIN}, f_{MAX}]$. El intervalo $[f_{MIN}, f_{MAX}]$ se elige de manera que lo esencial de la potencia de las ondas ultrasónicas emitidas por cada transductor ultrasónico que pueda utilizarse esté comprendido en dicho intervalo. En el ejemplo de la figura 5, $f_{MIN} = 0$ Hz y $f_{MAX} = 10$ MHz.

La función de onda F_o asociada al transductor 100 depende únicamente del transductor 100 y no depende de la pieza 2 a controlar.

La función de onda asociada al transductor 100 preferentemente se memoriza por tanto en la base de datos para reutilizarse para determinar una curva de amplificación variable para otras piezas distintas a la pieza 2 por medio del mismo transductor 100. En este caso, si la función de onda F_o se ha establecido y memorizado previamente en la base de datos, la etapa 61 no se ejecuta necesariamente salvo por ejemplo de manera sustancialmente periódica para tener en cuenta la evolución en el tiempo de las características del transductor 100. La base de datos memoriza preferentemente varias funciones de onda $F_{o1}, F_{o2}, F_{o3}, \text{etc.}$, correspondientes a diferentes transductores ultrasónicos susceptibles de implementarse durante inspecciones de piezas. La base de datos puede incluir igualmente, asociadas a un mismo transductor ultrasónico, varias funciones de onda correspondientes a diferentes valores posibles de la distancia d de control.

Una base de datos de ese tipo permite ganar tiempo en la implementación del procedimiento 6 de control no destructivo no ejecutando la etapa 61 de caracterización del transductor ultrasónico cuando la función de onda correspondiente ya es conocida y está memorizada en la base de datos.

En el curso de la etapa 62, se caracteriza un material sano, del mismo tipo que el material que forma la pieza 2. Esta caracterización se efectúa por ejemplo inspeccionando al menos una muestra de referencia real R_R realizada en dicho material sano, de manera que se obtenga al menos una función de transferencia de referencia α_R

representativa de la respuesta en frecuencia de dicha muestra de referencia real.

La al menos una función de transferencia de referencia α_R se determina emitiendo unas ondas ultrasónicas en dirección a la muestra de referencia real R_R , con un transductor ultrasónico (o dos transductores en el caso de una inspección por transmisión).

- 5 La al menos una función de transferencia de referencia α_R se determina por ejemplo a partir de un espectro en frecuencia $S(f)$ de una onda ultrasónica que no haya atravesado la muestra de referencia real R_R y de un espectro en frecuencia $S_R(f)$ de una onda ultrasónica que haya atravesado dicha muestra de referencia real, que se miden preferentemente en el intervalo $[f_{\text{MIN}}, f_{\text{MÁX}}]$ descrito anteriormente.

- 10 En el caso de una medición de los espectros en frecuencia por transmisión, tal como se ha representado en las figuras 6 y 7, utilizando un transductor 50 en emisión y un transductor 51 en recepción, el espectro en frecuencia $S(f)$ se mide sin la muestra de referencia real R_R representada en la figura 6 y el espectro en frecuencia $S_R(f)$ se mide intercalando dicha muestra de referencia entre los transductores 50 y 51 representados en la figura 7.

En un modo preferido de implementación, la función de transferencia de referencia α_R se determina calculando, para cada frecuencia f considerada en el intervalo $[f_{\text{MIN}}, f_{\text{MÁX}}]$, la expresión siguiente:

15
$$\alpha_R(f) = \frac{1}{d_R} \cdot 20 \cdot \log \left(\frac{T \cdot |S(f)|}{|S_R(f)|} \right)$$

expresión en la que T es un coeficiente de transmisión, que tiene en cuenta las pérdidas en las interfaces correspondientes a una cara delantera y una cara posterior de la muestra de referencia real R_R .

El coeficiente T , cuyo valor o bien se calcula o bien se mide, es igual a la expresión siguiente:

$$T = \frac{4Z_{MC} \cdot Z_{CO}}{(Z_{MC} + Z_{CO})^2}$$

- 20 en la que Z_{MC} es la impedancia acústica del medio de acoplamiento y Z_{CO} es la impedancia acústica del material.

En el caso de una inspección por doble transmisión de la muestra de referencia real R_R , es decir en un montaje con un transductor y un espejo como en la figura 3, la función de transferencia de referencia $\alpha_R(f)$ se calcula por ejemplo según la expresión:

$$\alpha_R(f) = \frac{1}{2 \cdot d_R} \cdot 20 \cdot \log \left(\frac{T^2 \cdot |S(f)|}{|S_R(f)|} \right).$$

- 25 En efecto, debido a la doble transmisión a través de la muestra de referencia real R_R , el coeficiente de transmisión T y el grosor d_R de dicha muestra de referencia deben tenerse en cuenta dos veces.

- 30 La función de transferencia de referencia $\alpha_R(f)$ es igualmente calculable siguiendo otros métodos, por ejemplo comparando un espectro en frecuencia del eco de la cara y un espectro en frecuencia del eco del fondo enviados por la muestra de referencia real, y se entiende que el cálculo de dicha función de atenuación no está limitado a los métodos descritos. De manera más general, la función de transferencia de referencia $\alpha_R(f)$ se calcula según la expresión

$$\alpha_R(f) = \frac{1}{a \cdot d_R} \cdot 20 \cdot \log \left(\frac{A \cdot |S(f)|}{|S_R(f)|} \right)$$

- 35 en la que a y A son unos factores reales que dependen del modo de inspección implementado para medir los espectros en frecuencia $S(f)$ y $S_R(f)$ ($a = 1$ y $A = T$ para una inspección por transmisión, $a = 2$ y $A = T^2$ para una inspección por doble transmisión).

En esta forma, la función de transferencia de referencia α_R corresponde a una respuesta en frecuencia por unidad de longitud, y puede utilizarse fácilmente para calcular unas funciones de transferencia F^m para unas muestras de referencia (virtuales) R^m de grosores e_m arbitrarios, según la expresión siguiente:

$$F^m(f) = \exp \left(-\frac{\alpha_R(f) \cdot e_m}{20} \right),$$

- 40 La función de transferencia $F^m(f)$ es igualmente calculable directamente a partir de los espectros en frecuencia $S(f)$ y $S_R(f)$, y el cálculo o no de dicha función de transferencia de referencia depende del modo de implementación elegido.

La función de transferencia $F^m(f)$ se determina por ejemplo directamente según la expresión general siguiente:

$$F^m(f) = \exp\left(\frac{e_m}{a \cdot d_R}\right) \cdot \frac{|S_R(f)|}{A \cdot |S(f)|},$$

Una función de transferencia de referencia $\alpha_R(f)$ se representa en [la figura 8](#) y unas funciones de transferencia F^m , para unas muestras de referencia R^m de grosores e_m , se representan en [la figura 9](#).

5 Se ha de observar que la función de transferencia de referencia α_R y las funciones de transferencia F^m no dependen del transductor ultrasónico utilizado sino únicamente de las características de las muestras de referencia reales R_R . Igualmente que para las funciones de onda F_o , la o las funciones de transferencia de referencia α_R y/o las funciones de transferencia F^m se memorizan preferentemente en una base de datos para reutilizarse. De ese modo, para un material sano, la etapa 62 de caracterización, para la que se efectúa la inspección de al menos una muestra de referencia real R_R , no se ejecuta de nuevo para las inspecciones posteriores de piezas realizadas en el mismo material sano. La base de datos memoriza preferentemente varias funciones de transferencia de referencia α_R y/o funciones de transferencia F^m correspondientes a diferentes tipos de materiales sanos.

10 La etapa 63 del proceso 6 de control no destructivo corresponde a una etapa de obtención de funciones de transferencia F^m para unas muestras de referencia R^m para unos grosores e_m ($1 \leq m \leq M$) diferentes adaptados al grosor de la pieza 2 a controlar. Más particularmente, los grosores e_m considerados son ventajosamente iguales o inferiores al grosor de la pieza 2. Si las funciones de transferencia F^m , asociadas a dichos grosores e_m iguales o inferiores al grosor de la pieza 2, se encuentran en la base de datos, la etapa 63 consiste en una lectura de dichas funciones de transferencia F^m en dicha base de datos. En caso contrario, dichas funciones de transferencia F^m se calculan por ejemplo a partir de la función de transferencia de referencia α_R previamente memorizada en la base de datos.

15 En la etapa 64 del procedimiento 6 de control no destructivo, se calculan unos valores de atenuación de referencia para las muestras de referencia R^m de grosores e_m cuyas funciones de transferencia F^m se han obtenido en el transcurso de la etapa 63. Dichos valores de atenuación de referencia se calculan utilizando la función de onda F_o característica del transductor 100, obtenida a partir de la base de datos, y de las funciones de transferencia F^m ($1 \leq m \leq M$) características de las muestras de referencia R^m de grosores e_m .

20 Para simular la atenuación de ondas ultrasónicas del transductor 100 por la muestra de referencia R^m de grosor e_m , la función de onda F_o asociada al transductor 100 se filtra por la función de transferencia F^m .

25 El filtrado se calcula, de manera conocida, en el campo temporal o en el campo de la frecuencia. En el caso de un filtrado calculado en el campo de la frecuencia, el producto de la función de transferencia por la función de onda $F^m(f) \cdot F_o(f)$ se calcula para cada frecuencia S considerada en el intervalo $[f_{\text{MÍN}}, f_{\text{MÁX}}]$.

30 Un ejemplo que ilustra el cálculo del filtrado en el campo de la frecuencia se representa en [la figura 10](#). El resultado del cálculo del filtrado se representa igualmente en el campo temporal en [la figura 11](#), bajo la referencia $F^m(f) \cdot F_o(f)$.

35 Se calcula un valor de atenuación de referencia para cada muestra de referencia R^m ($1 \leq m \leq M$), por ejemplo calculando la relación de las potencias de la función de onda F_o antes y después del filtrado, calculándose dichas potencias mediante integración de los espectros en frecuencia $F_o(f)$ y $F^m(f) \cdot F_o(f)$. El valor de atenuación de referencia se estima en otro modo de cálculo en el campo temporal calculando una relación de los valores de los extremos de la función de onda $F_o(t)$ antes y después del filtrado.

En [la figura 12](#), se representan unos valores de atenuaciones de referencia en función de diferentes grosores.

40 En la etapa 65, se determina la curva de amplificación variable en función de los valores de atenuaciones de referencia determinados en la etapa 64. En el ejemplo ilustrado por la figura 2, la curva de amplificación variable TCG, se expresa en función del tiempo, y se determina en consecuencia en función igualmente de una estimación de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en la pieza 2, con el fin de efectuar la conversión de los grosores e_m en tiempos de propagación.

45 En la etapa 66, por lo tanto una vez que se determina la curva de amplificación variable TCG, se realiza la inspección de la pieza 2 y se corrige la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por la pieza 2 en función de dicha curva de amplificación variable TCG y de los instantes de recepción de dichos ecos ultrasónicos. La corrección de la amplitud de los ecos ultrasónicos reenviados por la pieza 2 puede efectuarse en tiempo real durante la inspección, o en un procesamiento posterior sobre las señales captadas durante la inspección. Debido a esta corrección, el eco de fondo tendrá la misma amplitud que el eco de entrada si el material de la pieza 2 está sano.

50 En el caso de una curva de amplificación variable DAC, se utiliza durante la corrección la estimación de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en la pieza 2, con el fin de convertir los instantes de recepción de los ecos ultrasónicos en distancias recorridas.

5 La descripción anterior ilustra claramente que mediante sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención alcanza los objetivos que se le habían fijado. En particular, la presente invención permite determinar una curva de amplificación variable de manera simple y rápida gracias a la determinación de los valores de atenuaciones de referencia por simulación numérica más que por inspección real de muestras de referencia, reutilizando unas funciones de onda y unas funciones de transferencia memorizadas en una base de datos.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento (6) de control no destructivo por ultrasonidos de una pieza (2) por análisis de los ecos reenviados por dicha pieza (2) en respuesta a la emisión de una onda ultrasónica por medio de un transductor ultrasónico (100), incluyendo dicho procedimiento una etapa de determinación de una curva de amplificación variable y una etapa de corrección de la amplitud de los ecos reenviados por la pieza (2) en función de la curva de amplificación variable y de los instantes de recepción de dichos ecos, caracterizado por que dicho procedimiento incluye unas etapas de:

- obtención de una función de onda representativa del espectro en frecuencia de las ondas ultrasónicas emitidas por el transductor ultrasónico (100),

10 - obtención de funciones de transferencia F^m representativas de las respuestas en frecuencia de muestras de referencia R^m del material que forma dicha pieza, de grosores e_m respectivos diferentes,

- cálculo de valores de atenuaciones de referencia entre por una parte la función de onda y, por otra parte, los resultados de cálculos de filtrado de dicha función de onda por las funciones de transferencia F^m respectivas de las muestras de referencia R^m ,

determinándose la curva de amplificación variable en función de los valores de las atenuaciones de referencia.

15 2. Procedimiento (6) según la reivindicación 1, en el que la función de onda se obtiene a partir de una base de datos en la que se ha memorizado previamente dicha función de onda.

3. Procedimiento (6) según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la función de onda se estima midiendo una onda ultrasónica emitida por el transductor ultrasónico (100) en un medio de acoplamiento (3) en ausencia de dicha pieza (2) o de la muestra de referencia.

20 4. Procedimiento (6) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las funciones de transferencia F^m se obtienen a partir de una base de datos en la que se han memorizado previamente dichas funciones de transferencia y/o se calculan a partir de al menos una función de transferencia de referencia obtenida a partir de una base de datos en la que se ha memorizado previamente dicha función de transferencia de referencia.

5. Procedimiento (6) según una de las reivindicaciones anteriores, que incluye una etapa de medición:

25 - de un espectro en frecuencia S_R de una onda ultrasónica que haya atravesado una muestra de referencia real R_R , de grosor d_R , realizada en material sano del mismo tipo que el de la pieza (2),

- de un espectro en frecuencia S de una onda ultrasónica de las mismas características que no haya atravesado dicha muestra de referencia real R_R ,

30 en la que la función de transferencia F^m de la muestra de referencia R^m de grosor e_m se determina en el campo de las frecuencias calculando para unos valores de frecuencias f discretas la expresión:

$$F^m(f) = \exp\left(\frac{e_m}{a \cdot d_R}\right) \cdot \frac{|S_R(f)|}{A \cdot |S(f)|},$$

expresión en la que a y A son unos factores positivos.

6. Procedimiento (6) según la reivindicación 5, en el que la función de transferencia F^m de la muestra de referencia R^m de grosor e_m se determina según la expresión:

35
$$F^m(f) = \exp\left(-\frac{\alpha_R(f) \cdot e_m}{20}\right),$$

en la que $\alpha_R(f)$ es una función de transferencia de referencia determinada según la expresión:

$$\alpha_R(f) = \frac{1}{a \cdot d_R} \cdot 20 \cdot \log\left(\frac{A \cdot |S(f)|}{|S_R(f)|}\right).$$

7. Procedimiento (6) según una de las reivindicaciones anteriores, que incluye una etapa de estimación de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en la pieza (2), y en la que:

40

ES 2 655 514 T3

- la amplitud de los ecos reenviados por la pieza (2) se corrige en función de la curva de amplificación variable, de los instantes de recepción de dichos ecos, y de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en dicha pieza, o

5 - la curva de amplificación variable se determina en función de los valores de las atenuaciones de referencia y de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas en dicha pieza.

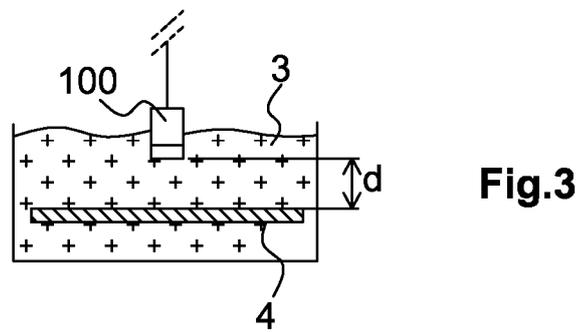
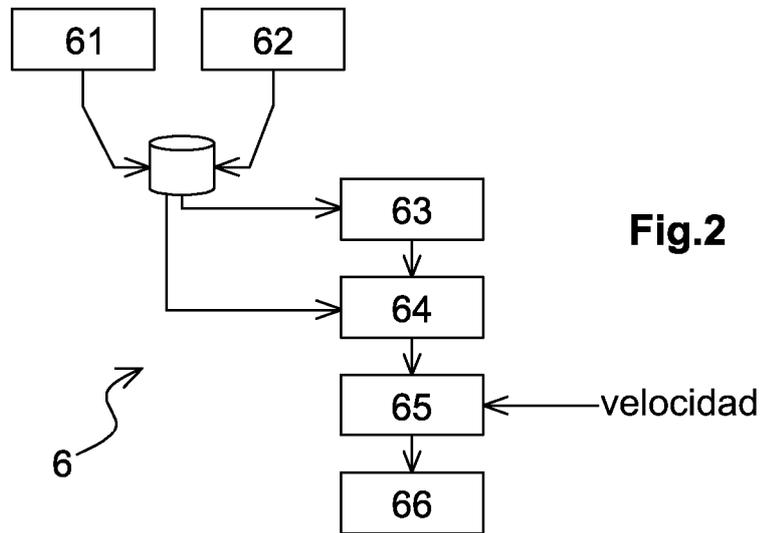
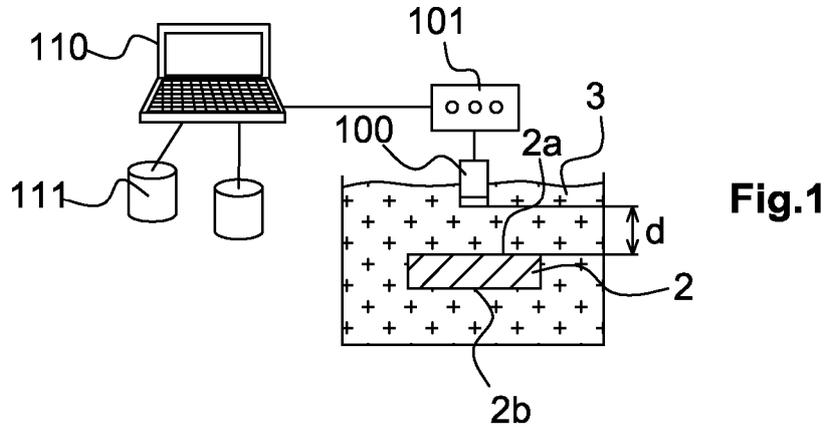


Fig.4

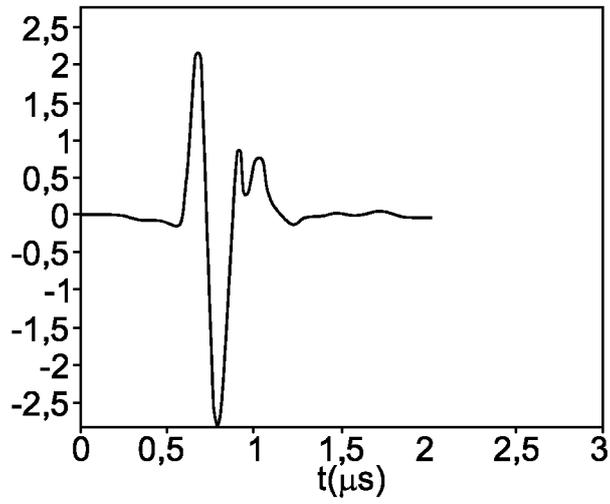


Fig.5

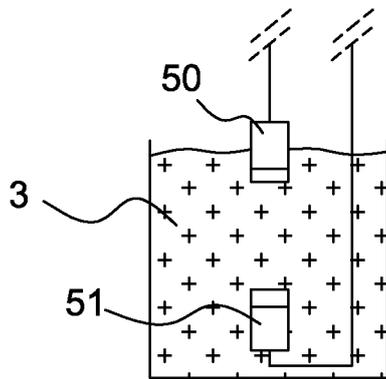
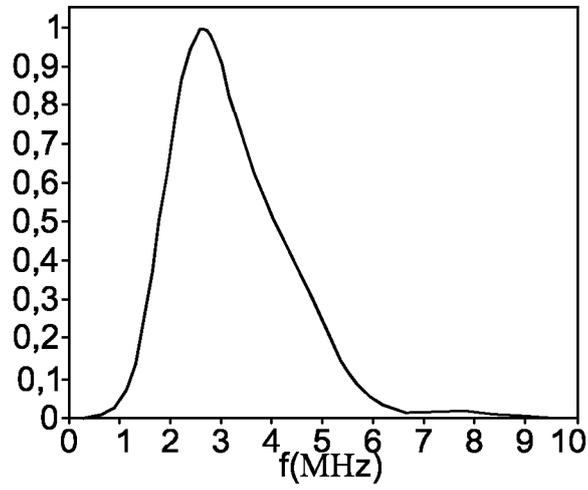


Fig.6

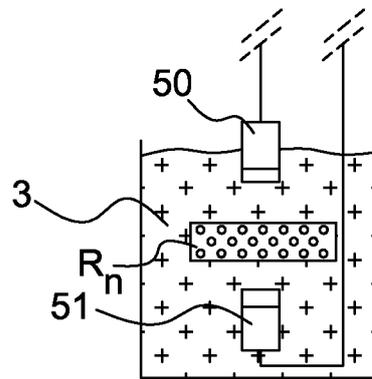


Fig.7

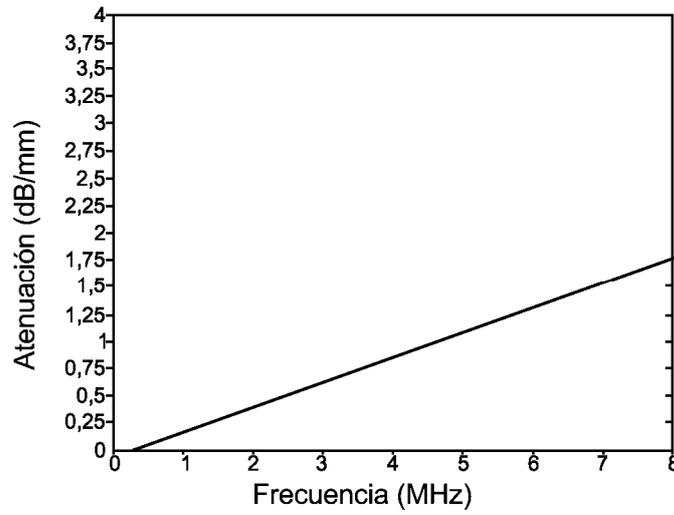


Fig.8

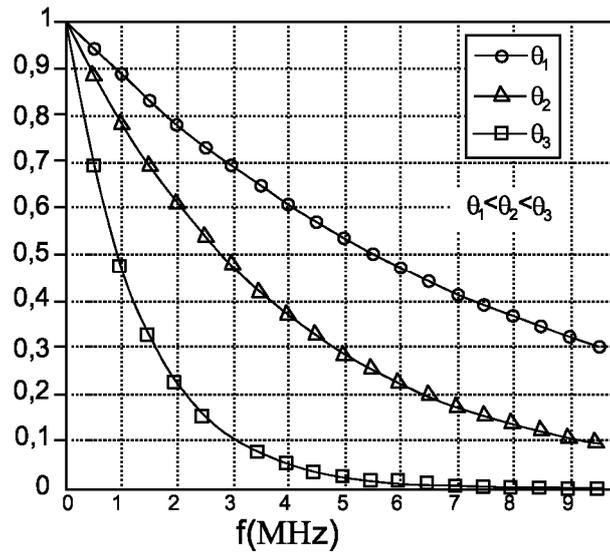


Fig.9

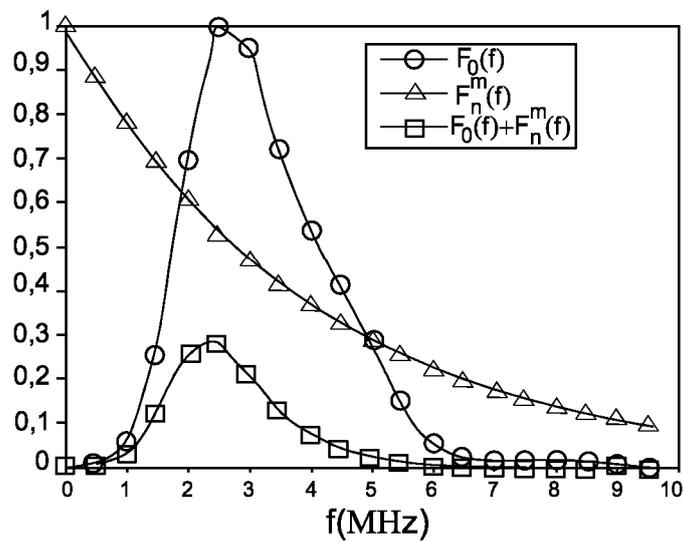


Fig.10

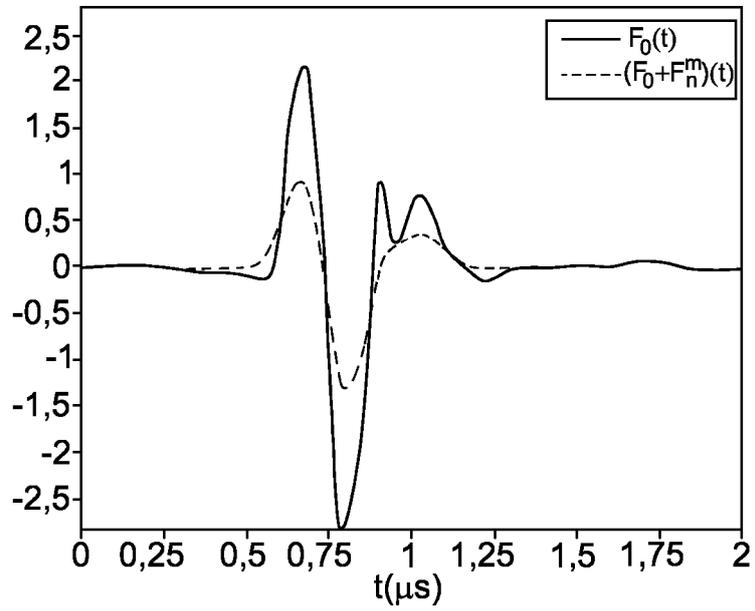


Fig.11

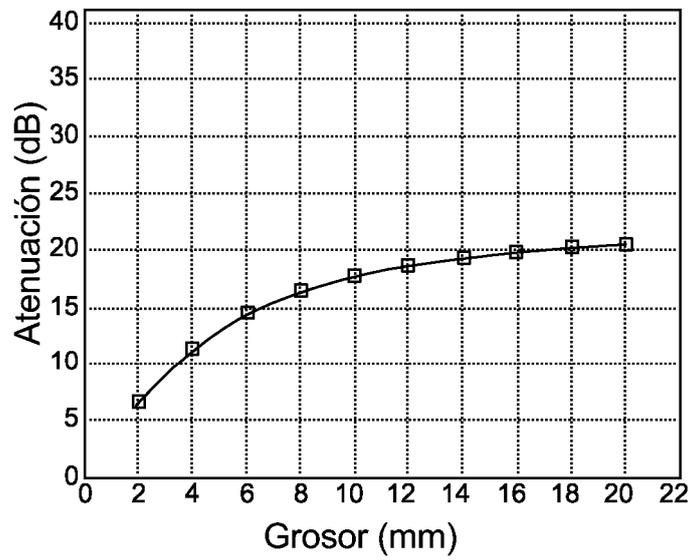


Fig.12