

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 597 979**

21 Número de solicitud: 201500541

51 Int. Cl.:

G01N 3/30 (2006.01)

G01N 29/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

22.07.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

24.01.2017

88 Fecha de publicación diferida del informe sobre el estado de la técnica:

09.02.2017

Fecha de concesión:

30.05.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

06.06.2017

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES

72 Inventor/es:

MARTINEZ ROJAS , Juan Antonio;
SÁNCHEZ MONTERO, Rocío;
ALPUENTE HERMOSILLA, Jesús;
LÓPEZ ESPÍ, Pablo Luis;
SELVA REAL , Daniel y
GARCÍA BALUFO, Miriam

54 Título: **Sistema de espectrometría vibroacústica para el análisis no destructivo de materiales**

57 Resumen:

Sistema espectral por ondas vibroacústicas de impacto indirecto para el análisis de propiedades mecánicas, químicas y defectos en materiales. Se detalla y reivindica la utilización de una estructura consistente en una plataforma antivibración, una lámina resonante, un percutor y micrófonos en el rango audible conectados a un sistema de adquisición, procesado y análisis de datos. Su aplicación se centra en la caracterización de materiales, tanto en fase sólida como fluida, mediante la determinación de sus propiedades elastodinámicas, así como alteraciones en su composición química o estructural, empleando técnicas espectroacústicas en el rango de frecuencias audible.

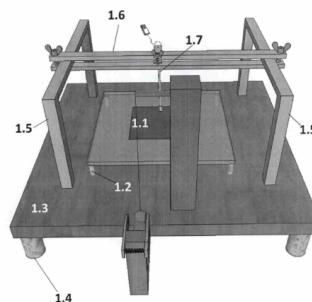


FIG. 1

ES 2 597 979 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP 11/1986.

DESCRIPCIÓN

Sistema de espectrometría vibroacústica para el análisis no destructivo de materiales.

5 Sector de la técnica

Este sistema de análisis de materiales por medio de la exploración resonante por ondas vibroacústicas, se inscribe dentro del sector de la tecnología de Ingeniería de Materiales, así como el correspondiente al diseño y tecnología de sistemas de ensayo no destructivo.

10

Estado de la técnica

El origen de las técnicas de impacto acústico se remonta a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, para la detección de defectos y fracturas ocultas en estructuras metálicas y grandes piezas como ruedas y ejes de ferrocarril. Sobre todo, a raíz de los avances y necesidades surgidos de la II Guerra Mundial, el desarrollo de métodos de análisis no destructivos, en concreto los acústicos, fue extraordinario, aunque la mayor parte de los esfuerzos se dedicaron a las tecnologías de ultrasonido. En la actualidad, existen multitud de sistemas de análisis no destructivo basados en ultrasonidos para el estudio de materiales, entre ellos los basados en métodos de impacto-eco.

20

Actualmente la práctica totalidad de los sistemas de análisis no destructivo de materiales basados en técnicas acústicas utilizan ultrasonidos, como puede verse en:

- 25 • M. Brigante and M A. Sumbatya, "Acoustic Methods for the Nondestructive Testing of Concrete. A Review of Foreign Publications in the Experimental Field", Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, No 2, pp 100-111. (ISSN 1061-8309, DOI: 10.1134/S1061830913020034)
- 30 • Y. Ito, T. Uomoto "Nondestructive testing method of concrete using impact acoustics". NDT & E International, 1997, Vol. 30, No. 4, pp. 217-222. (DOI: 10.1016/S0963-8695(96)00059-X)
- 35 • Mary J Sansalone and William B. Streett. "The Impact-Echo Method". NDTnet 1998 February, Vol. 3 No. 2 (<http://www.ndt.net/article/0298/streett/streett.htm>)

Por contra, la invención que se propone trabaja en el margen audible lo que provoca una disminución de los costes y de la complejidad técnica de los análisis, que pueden realizarse in situ. Asimismo, al trabajar en el margen audible, no es necesario emplear geles que permitan adaptar las impedancias acústicas entre el Instrumento de medida y el material.

40

Existen invenciones como (Mary J. Sansalone, Donald G. Pratt, "Non-destructive materials testing apparatus and technique for use in the field", US 5165270 A, 24 Nov 1992) basadas en el método de impacto-eco que hacen uso del estudio de ondas de tensión en el interior del material provocadas por impacto directo, con percutores mecánicos (técnicas de impacto directo sobre el material). Sin embargo, el sistema aquí propuesto se fundamenta en el acoplamiento vibroacústico entre el material bajo estudio y una lámina vibrante excitada por impacto, de modo que la excitación del material se produce de forma indirecta por medio de la lámina vibrante (técnica de impacto indirecto). Esta nueva técnica presenta además la ventaja de poder analizar materiales en cualquier

50

estado (sólido o fluido). La invención propuesta es de aplicación a la medida no destructiva de diversas propiedades relevantes de los materiales, de una forma rápida, eficaz y con un coste menor que los sistemas actuales.

- 5 Por tanto, el sistema que se propone permite el análisis mediante impacto indirecto de materiales, tanto sólidos como fluidos, utilizando sonidos audibles y sin necesidad de geles adaptadores de impedancias.

Descripción de la invención

10

La presente invención plantea la posibilidad de análisis no destructivos de materiales a través de impacto indirecto, lo cual redundará en un menor coste de producción y diversas ventajas técnicas. La energía de excitación del material se transfiere por medio de la vibración por impacto de una lámina vibrante a frecuencias de sonido audible. El acoplamiento entre el material y la lámina vibrante va a provocar modificaciones en las características espectrales de emisión de la lámina vibrante en vacío, cuyo análisis permite determinar la respuesta del material y sus propiedades mecánicas, químicas y estructurales. La desadaptación de impedancias acústicas entre el material bajo estudio y la lámina vibrante es la parte esencial de la presente invención.

20

El sistema que se propone está constituido por:

1. Una plataforma antivibración de bajo coste compuesta por un laminado de corcho y madera a dos niveles. Lo que permite que el sistema sea portátil, robusto y de fácil transporte.
2. Estructura de soporte de la lámina vibrante realizada con el mismo material que la plataforma antivibración.
3. Una lámina cuadrada de vidrio (lámina vibrante), de 200 x 200 x 2.5 mm, cuyas frecuencias de vibración se encuentran en el margen audible (20 Hz-20 kHz). La lámina vibrante dispone de unas marcas indelebles que permiten el correcto posicionamiento de las muestras bajo estudio.
4. Plataforma soporte para el micrófono, que se encuentra elevada sobre la lámina vibrante y que permite el posicionamiento del micrófono a lo largo del eje central de la muestra.
5. Péndulo de acero soportado por un hilo de nylon con un mecanismo de suelta sincronizado con el comienzo de grabación.
6. Micrófono de condensador o electreto con respuesta plana entre los 20 Hz y 20 kHz.
7. Equipo hardware tipo PC conectado al micrófono para la obtención de los datos registrados por este a través de una tarjeta de sonido capaz de grabar a 192 kHz. Este PC dispone de software de procesamiento de sonido y audio.

50

El sistema propuesto tiene aplicación para el análisis del estado o composición de materiales y estructuras de manera no destructiva, presentando la ventaja de no necesitar geles adaptadores de impedancias que pueden, en algunos casos, deteriorar el material a estudiar.

El sistema descrito ha sido diseñado para su uso, tanto en entorno de laboratorio como *in situ*, siendo completamente portátil y modular, por lo cual incluso podría ser transportado por piezas. Asimismo, no requiere un mantenimiento exhaustivo salvo por un nivel aceptable de limpieza. Es ideal para entornos agresivos donde otros sistemas con componentes más frágiles podrían sufrir fácilmente daños.

Explicación de los dibujos

Para una fácil comprensión de la descripción que se está realizando, esta se complementa con un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1: muestra los elementos básicos que conforman el sistema de espectrometría vibroacústica.

Figura 2: muestra otra perspectiva del sistema.

Figuras 3, 4 y 5: muestran las dimensiones de cada uno de los elementos del sistema.

Figura 6: muestra el registro y extracción de los sonidos de impacto sobre la lámina.

Figura 7: muestra el análisis impacto a impacto.

Figura 8: muestra el resultado final del proceso de análisis espectral de la señal de impacto.

Modo de realización

Para la realización del sistema se requiere los siguientes elementos:

1. Una lámina de vidrio (1.1) cuyas frecuencias de vibración caen dentro del rango audible (20 Hz-20 kHz). Las dimensiones de la lámina son: 200 x 200 x 2,5 mm (Anchura x Longitud x Grosor). El material que conforma dicha lámina debe ser vidrio.
2. Una estructura de soporte (1.2) de la lámina de vidrio, previamente descrita. En concreto, esta estructura está formada por cuatro Cilindros de corcho y madera y de dimensiones 20 x 30 mm (Diámetro x Altura).
3. Una plataforma de soporte formada por los siguientes elementos:
 - a. Lámina rectangular (1.3) de dimensiones 280 x 350 x 23 mm (Anchura x Longitud x Grosor). Esta lámina está formada por corcho y madera a dos niveles.
 - b. Cuatro cilindros de corcho natural (1.4) de 35 x 30 mm (Diámetro x Altura), sobre los que apoya la plataforma descrita anteriormente.
4. Estructura para soporte del micrófono, formada por:

- a. Dos arcos idénticos (1.5) situados a ambos lados de la lámina de vidrio y adheridos, sin contacto con dicha lámina, a la plataforma descrita en el punto 3.a. Sus dimensiones son de 165 x 235 mm (Altura x Longitud), siendo los listones de perfil cuadrado y lado 17 mm.
 - b. Guía de ajuste móvil del micrófono (1.6), situada por encima de la lámina de vidrio y apoyada en ambos arcos descritos en el apartado 4.a. La longitud de dicho elemento es de 275 mm.
 - c. Micrófono de condensador o electreto (1.7), con sensibilidad en todo el rango audible, con conexión a un ordenador. Irá en la guía móvil (1.6).
5. Plataforma de lanzamiento (2.1) del elemento percutor (péndulo) (2.2). Consiste en una escuadra, situada en el centro de una de las caras de la lámina de vidrio (1.1) y adherida a la plataforma de madera 3.a. Sus dimensiones son de 345 mm de altura y un perfil cuadrado de 45 mm de lado. En un lateral, se adherirá un elemento que sirva de soporte para el hilo de nylon del cual pende el percutor.
6. Elemento percutor formado por un péndulo de acero (2.2), que cuelga de un hilo de nylon.
7. Mecanismo de disparo o suelta del percutor, sincronizado con la adquisición de datos por parte del micrófono, integrado dentro de la plataforma de lanzamiento del elemento percutor (2.2).
8. Un ordenador con tarjeta de sonido y entrada de micrófono, capaz de grabar sonido audible.
- El funcionamiento en general del sistema descrito se basa en la liberación del péndulo (2.2) desde un ángulo fijo, este impacta sobre la superficie lateral de la lámina de vidrio (1.1) que produce un sonido audible cuyas frecuencias de resonancia estarán en función de la muestra situada sobre la misma. El sonido es registrado por el micrófono (1.7), almacenado y procesado en el ordenador correspondiente.
- El proceso de extracción de propiedades de los materiales mediante el sistema descrito conlleva las siguientes etapas:
- Se procede a la excitación de la lámina de vidrio (1.1) en vacío, es decir, sin ningún material encima de dicha lámina de vidrio (1.1), generando con ello lo que denominaremos, un patrón espectral característico, que servirá de referencia para el resto de medidas. Dicho espectro resulta de las medidas en el rango audible con el micrófono (1.7) y su posterior procesamiento
 - Posteriormente, se repite la excitación de la lámina de vidrio (1.1) con el material bajo estudio situado en el centro de dicha lámina de vidrio (1.1) y se realiza un análisis diferencial de su espectro respecto al patrón característico, obtenido de la medida en vacío descrita previamente. Esta comparativa es característica de cada material y permite su diferenciación.
 - En último lugar, se determinan las propiedades deseadas del material mediante el análisis y procesamiento de las diferencias del sonido recogido a partir de las dos

medidas directas realizadas. Debido a las diferentes velocidades de propagación en cada material, se obtienen las propiedades de los materiales bajo estudio.

5 En las figuras 1 y 2 se representa en distintas proyecciones el sistema propuesto, mostrando todos y cada uno de los elementos esenciales y descritos previamente

En las figuras 3, 4 y 5 se detalla la acotación y dimensiones del sistema propuesto, así como las de los de cada uno de los elementos constitutivos del mismo.

10 En las figuras 6, 7 y 8 se representa el proceso de análisis de datos: se extrae una secuencia de impactos grabada a través del micrófono situado perpendicularmente a la muestra a una distancia de 10 mm, se analiza su contenido espectral por medio de operaciones matemáticas basadas en autoconvolución de la señal y se identifican las
15 bandas de frecuencia que caracterizan los parámetros de interés. Los patrones de comparación de muestras puras se obtienen en el laboratorio y se usarán para calibrar el sistema.

Aplicación industrial

20 Un ejemplo de aplicación de este sistema consiste en la caracterización en identificación por especies de muestras laminadas de madera, siendo esto de gran utilidad en la industria de la madera y derivados celulósicos.

25 El sistema puede ser fabricado industrialmente y comercializado por empresas de sensores, electrónica, bienes de equipos, etc.

Los usuarios finales serían aquellos organismos y empresas dedicados al control de materiales y estructuras por ejemplo en la industria de la madera, construcción, control de
30 calidad, etc.

REIVINDICACIONES

Un sistema de espectrometría vibroacústica para el análisis no destructivo de materiales que comprende:

- 5 a. Como parte principal, una lámina de vidrio (1.1) cuyas resonancias acústicas caen dentro del rango audible (20 Hz-20 kHz). La lámina de vidrio servirá, asimismo, como soporte del material bajo estudio.
- 10 b. Una estructura de soporte (1.2) de la lámina de vidrio, fabricada en un material antivibración.
- c. Una plataforma de soporte que aporta unidad y estabilidad a todo el sistema.
- 15 Dicha plataforma está formada por los siguientes elementos:
 - i. Lámina rectangular (1.3) de madera, forrada en la parte superior e inferior con láminas de corcho natural, dificultando con ello la propagación de ondas acústicas y mejorando el aislamiento de la lámina de vidrio.
 - 20 ii. Cuatro cilindros de corcho natural (1.4), sobre los que apoya la plataforma descrita.
 - d. Estructura para el soporte del micrófono, formada por.
 - 25 i. Dos arcos idénticos (1.5) situados a ambos lados de la lámina de vidrio y adheridos, sin contacto con dicha lámina, a la plataforma de soporte (1.3).
 - 30 ii. Guía de ajuste móvil del micrófono (1.6), situada por encima de la lámina de vidrio y apoyada en ambos arcos (1.5). Dicha guía dispone de una ranura central, que permitirá el desplazamiento del micrófono en una de las dimensiones de la lámina de vidrio (1.1).
 - 35 iii. Micrófono de condensador o electreto (1.7), con sensibilidad en todo el rango audible, con conexión a un ordenador Ira acoplado en la guía móvil (1.6) y será el elemento transductor del sistema.
 - e. Plataforma de lanzamiento (2.1) del elemento percutor (péndulo). Consiste en una escuadra, situada en el centro de una de las caras de la lámina de vidrio (1.1) distanciada, y adherida a la plataforma de madera (1.3). En un lateral, se adherirá un elemento que sirva de soporte para el hilo de nylon del cual pende el percutor.
 - 40 f. Elemento percutor (2.2) formado por un péndulo metálico macizo, que cuelga de un hilo de nylon.
 - 45 g. Mecanismo de disparo o suelta del percutor, sincronizado con la adquisición de datos por parte del micrófono.
 - 50 h. Un ordenador con tarjeta de sonido y entrada de micrófono, capaz de grabar sonido audible.

2. Procedimiento de medida, que utiliza el sistema de la reivindicación 1, que se emplea para el estudio de propiedades físicas y estructurales de los materiales, que comprende las siguientes etapas:

- 5 a. La excitación de la lámina de vidrio (1.1) por medio del impacto lateral del péndulo (2.1), que genera un patrón espectral característico que servirá de referencia para el resto de medidas. El espectro es el resultado de la autoconvolución de las medidas en el rango audible con el micrófono (1.7) realizado por medio del ordenador correspondiente.
- 10 b. Se repite la excitación con el material bajo estudio situado en el centro de la lámina de vidrio y se realiza un análisis diferencial de su espectro (autoconvolución) respecto a la medida descrita en el apartado 2.a.
- 15 c. Se extraen además las propiedades del material, a partir del análisis acústico de las medidas diferenciales tomadas en los apartados 2.a y 2.b.

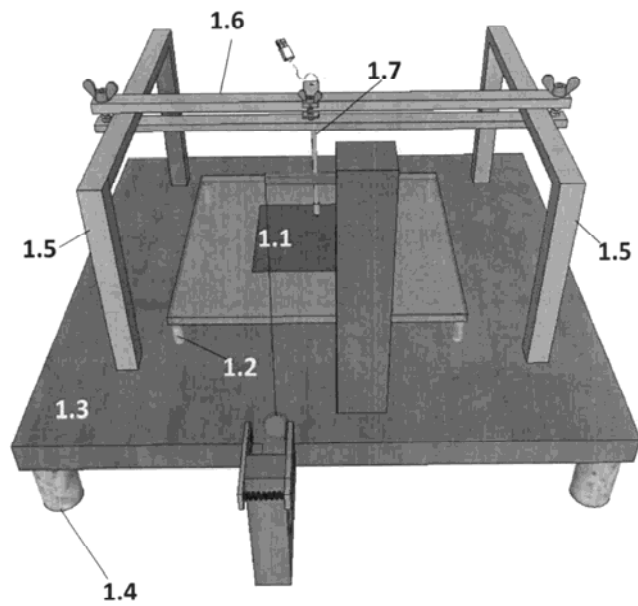


FIG. 1

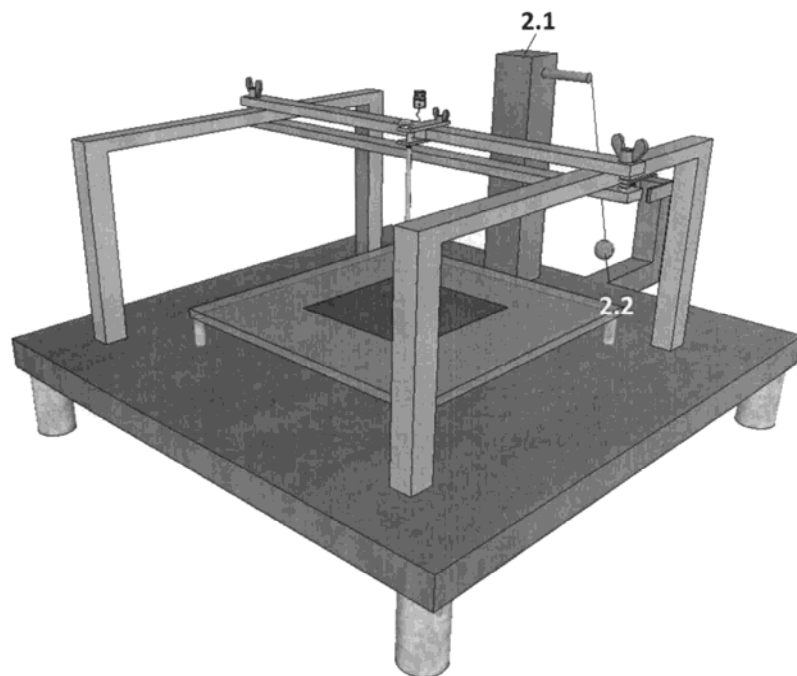


FIG. 2

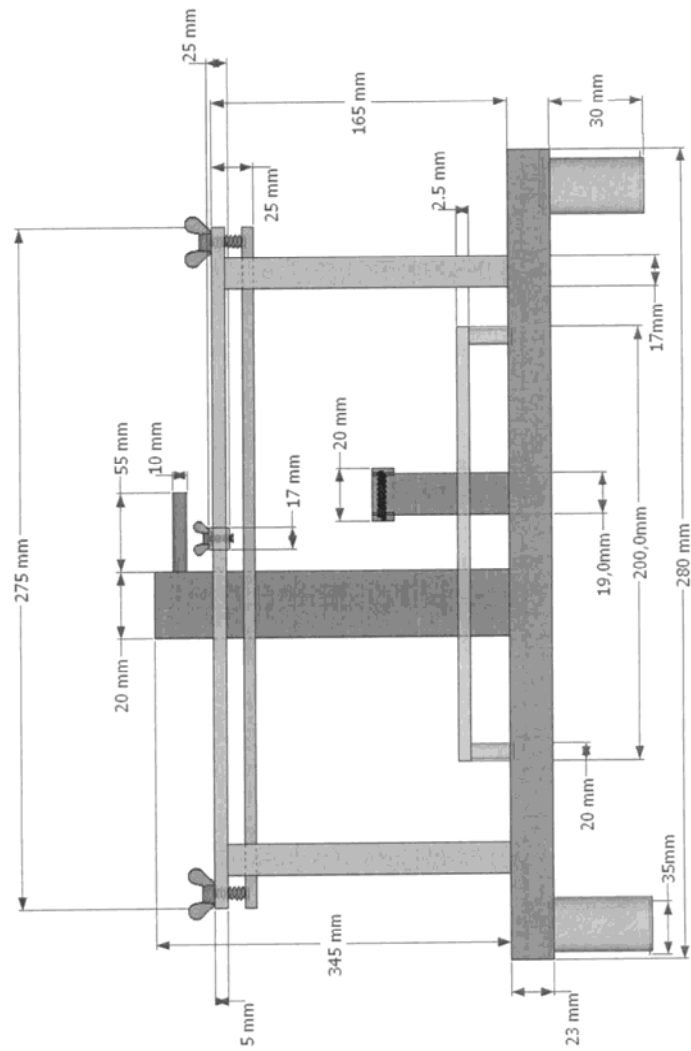


FIG. 3

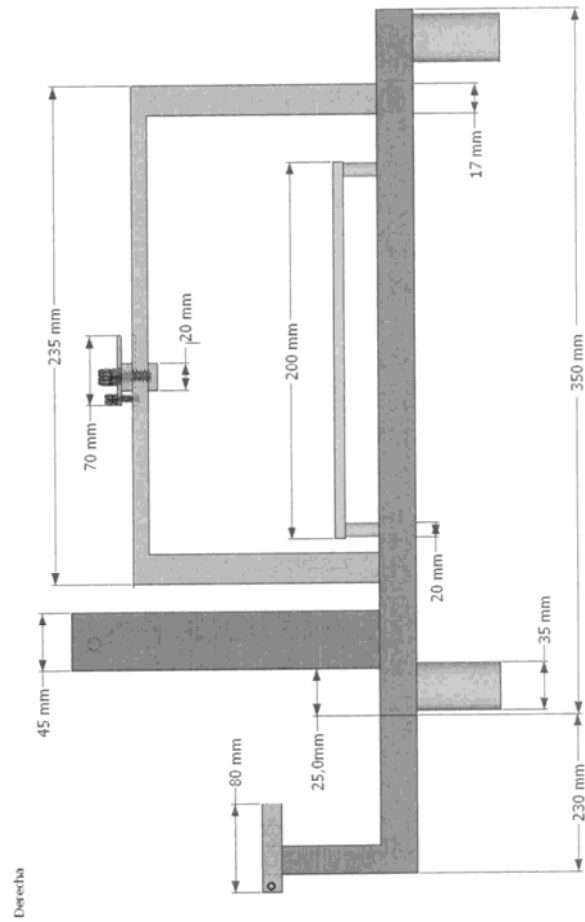


FIG. 4

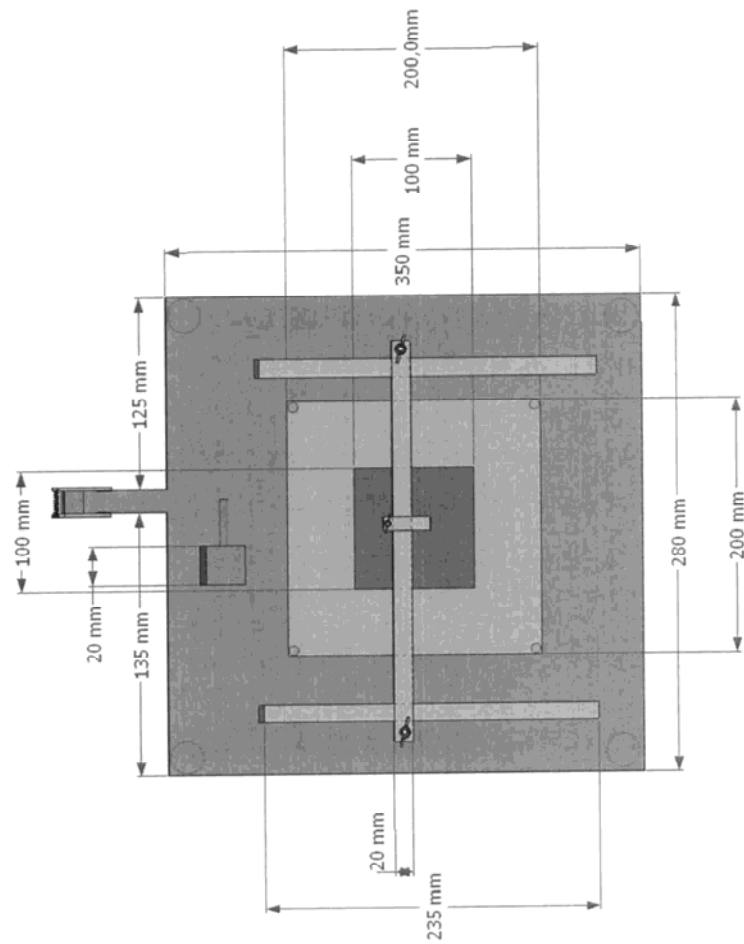


FIG. 5

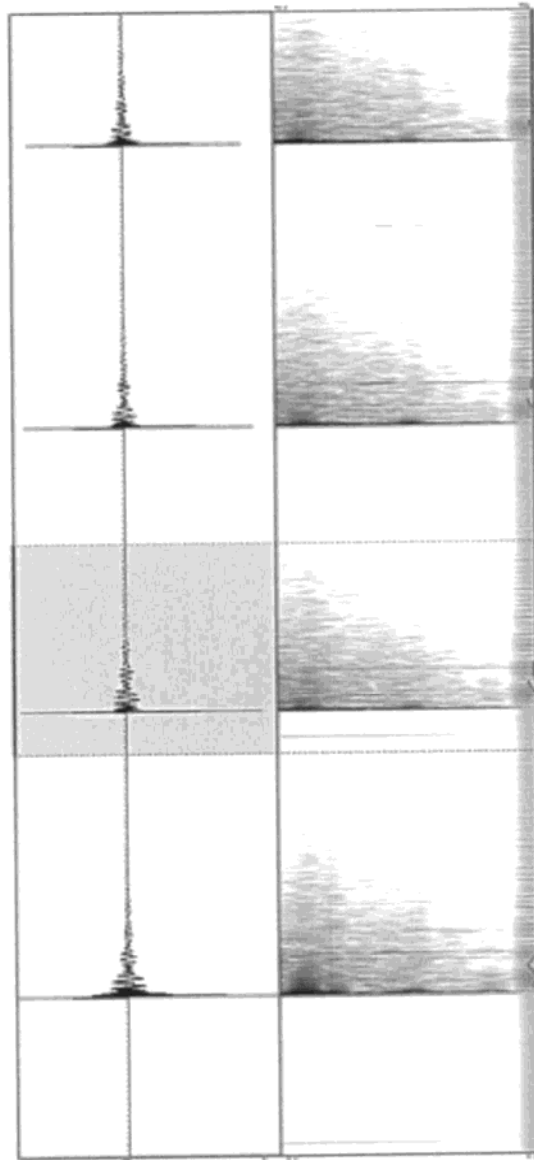


FIG. 6

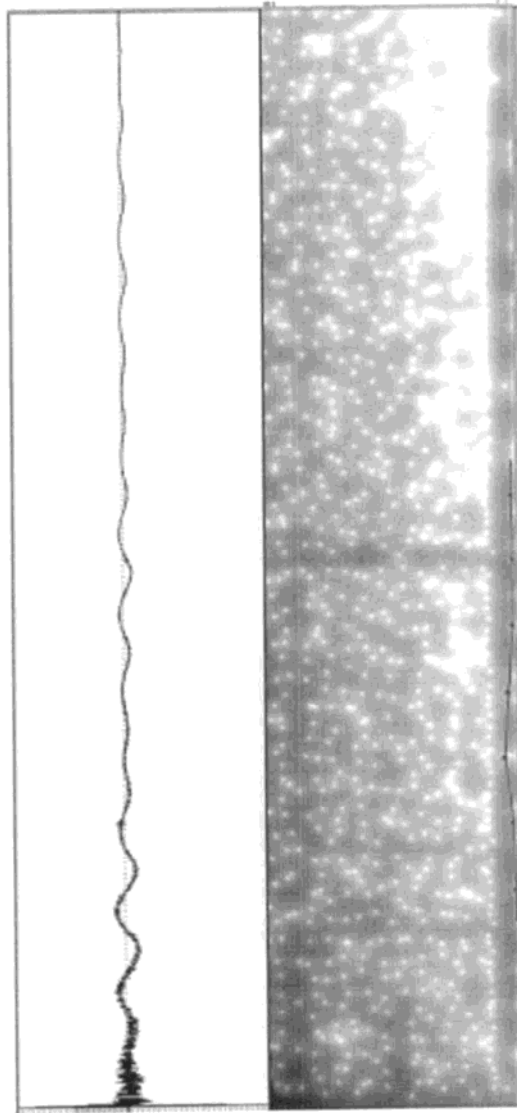


FIG. 7

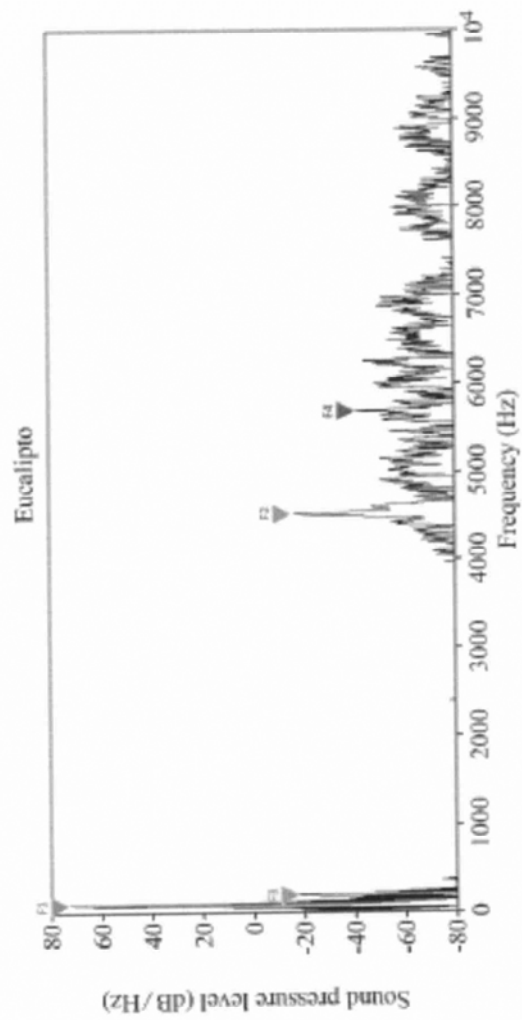


FIG. 8



- ②① N.º solicitud: 201500541
②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.07.2015
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N3/30** (2006.01)
G01N29/00 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	(ROJAS et al.) "Wood species identification using stress-wave analysis in the audible range". APPLIED ACOUSTICS, VOL: 72, No: 12, páginas: 934 – 942. 28/05/2011 ISSN 0003-682X Doi:10.1016/j.apacoust.2011.05.016	1,2
A	(PAN SIWEI et al.) "Modeling transient sound propagation over an absorbing plane by a half-space interpolated time-domain equivalent source method". The Journal of the Acoustical Society of America, VOL: 136, No: 4, páginas: 1744 – 1755. 10/2014 ISSN 0001-4966 Doi:10.1121/1.4895705	1,2
A	(ALVES et al.) "Determination of the transverse Young's modulus (TYM) of wood by means of an input power technique". Construction and Building Materials, VOL: 42, páginas: 11 – 21. 09/02/2013 ISSN 0950-0618 Doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.12.061	1,2
A	(DUFFOUR et al.) "Comparison between a type of vibro-acoustic modulation and damping measurement as NDT techniques". NDT & E INTERNATIONAL, VOL: 39, No: 2, páginas: 123 – 131. 01/03/2006 ISSN 0963-8695	1,2
A	(ABDELHAMID M et al.) "Subjective evaluations of sound radiated by impacted plates, using the design of experiments method". APPLIED ACOUSTICS, VOL: 71, No: 6 páginas: 531 - 538. 01/06/2010 ISSN 0003-682X Doi: 10.1016/j.apacoust.2009.12.006	1,2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
01.02.2017

Examinador
F. J. Olalde Sánchez

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, XPESP

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 01.02.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1,2	SI
	Reivindicaciones		NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	1,2	SI
	Reivindicaciones		NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	Wood species identification using stress-wave analysis in the audible range	28.05.2011
D02	Modeling transient sound propagation over an absorbing plane by a half-space interpolated time-domain equivalent source method	10.2014
D03	Determination of the transverse Young's modulus (TYM) of wood by means of an input power technique	09.02.2013
D04	Comparison between a type of vibro-acoustic modulation and damping measurement as NDT techniques	01.03.2006
D05	Subjective evaluations of sound radiated by impacted plates, using the design of experiments method	01.06.2010

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

De acuerdo con el artículo 29.6 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/86 de Patentes se considera, preliminarmente y sin compromiso, que los objetos definidos por las reivindicaciones 1,2 cumplen aparentemente los requisitos de novedad en el sentido del artículo 6.1 de la Ley 11/86 de Patentes (LP), y de actividad inventiva en el sentido del artículo 8.1 LP, en relación con el estado de la técnica establecido por el artículo 6.2 de dicha Ley. En concreto,

La solicitud contiene dos reivindicaciones independientes que define un sistema de espectrometría vibroacústica para el análisis no destructivo de materiales (reivindicación 1) y un procedimiento de medida que utiliza dicho sistema (reivindicación 2).

Los documentos citados reflejan el estado de la técnica, Todos ellos divulgaron sistemas y métodos de análisis de materiales por impacto de un péndulo recogiendo la respuesta sónica del material mediante microfónos.

De ninguno de ellos tomados por sí solos o en combinación deriva de una manera evidente la estructura reivindicada, en concreto, la disposición de una lámina de vidrio cuyas resonancias acústicas se encuentran dentro del rango audible destinada a soportar el espécimen a analizar, sobre la que incide el elemento percutor del péndulo. Por consiguiente, tanto el sistema definido por la reivindicación 1 como el procedimiento que utiliza dicho sistema, parecen cumplir los requisitos de novedad y actividad inventiva.