

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 956**

21 Número de solicitud: 201930140

51 Int. Cl.:

G01N 29/24 (2006.01)

G01N 29/28 (2006.01)

G10K 11/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

20.02.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

20.08.2020

Fecha de concesión:

23.08.2021

45 Fecha de publicación de la concesión:

30.08.2021

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (100.0%)
C/ Serrano, nº 117
28006 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

GÓMEZ ÁLVAREZ-ARENAS, Tomás

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

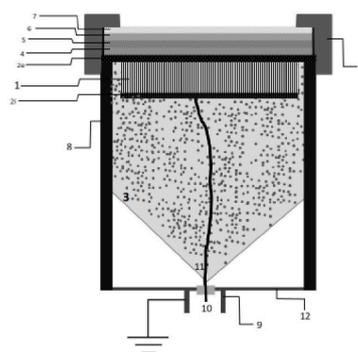
54 Título: **ESTRUCTURA LAMINAR COMO PARTE DE UN TRANSDUCTOR ULTRASONICO
PIEZOELÉCTRICO**

57 Resumen:

Estructura laminar como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico.

La presente invención se refiere a una estructura laminar, a su procedimiento de obtención y a su uso como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico para operar en modo pulso-eco en banda ancha y con alta sensibilidad y resolución axial en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar. Además la presente invención se refiere al transductor que comprende dicha estructura laminar o estratificada. Por tanto, la presente invención se puede encuadrar en el área de los materiales con aplicaciones como sensores en sistemas ultrasónicos.

FIG. 1.



ES 2 779 956 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

Estructura laminar como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico

5 La presente invención se refiere a una estructura laminar, a su procedimiento de
obtención y a su uso como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico para
operar en modo pulso-eco en banda ancha y con alta sensibilidad y resolución axial en
presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar. Además la
presente invención se refiere al transductor que comprende dicha estructura laminar o
10 estratificada.

Por tanto, la presente invención se puede encuadrar en el área de los materiales con
aplicaciones como sensores en sistemas ultrasónicos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

15 La técnica ultrasónica denominada de pulso-eco para la detección de discontinuidades
internas en sólidos o de la superficie trasera del mismo, es bien conocida y presenta
numerosas aplicaciones industriales. Esta técnica siempre emplea acoplantes líquidos
(agua o gel) o incluso sólidos blandos (acoplamiento en seco) entre el emisor/receptor
20 de ultrasonidos (transductor) y el sólido a inspeccionar (pieza) y no resulta
especialmente compleja ya que, este tipo de acoplamiento transductor/pieza es una
manera efectiva de asegurar la eficiente transmisión del ultrasonido desde el
transductor al sólido bajo inspección. Esto posibilita bien la detección de
discontinuidades internas (detección de grietas, cavidades o inclusiones) en el sólido o
25 bien la superficie opuesta (medida de espesor).

Cuando los transductores ultrasónicos operan mediante acoplamiento por aire o por
gases, la detección de ecos procedentes de las interfaces del gas/aire con un sólido,
de las discontinuidades internas de dicho sólido, o de la superficie trasera resulta
30 mucho más compleja puesto que existe un fuerte desacoplo de impedancia acústica
en las interfaces transductor-gas y gas-sólido. Esto hace que:

- i) la sensibilidad del transductor sea muy pobre,
- ii) la banda del transductor sea limitada

iii) la amplitud de señal reflejada en la primera interfaz del sólido sea muy alta, mientras que la de los ecos internos (o de la cara trasera) sea muy débil.

Además, i) y ii) dan lugar a que los transductores empleados para acoplamiento mediante gases tengan una señal de respuesta muy larga en el tiempo, lo cual produce una zona muerta también muy larga que imposibilita discernir la presencia de ecos próximos en el tiempo, es decir, la resolución axial es muy pobre.

Para presiones muy elevadas de gas los problemas anteriores se pueden llegar a reducir de tal forma que se hace posible resolver el problema empleando transductores convencionales para inmersión en agua. Esto es debido a que en este caso de presiones muy elevadas el aumento de densidad del gas contribuye a que, la impedancia acústica del gas aumente en la misma proporción. Para una presión suficientemente elevada, la desadaptación de impedancias entre transductor y gas y entre sólido y gas puede llegar a disminuir tanto que pueda ser posible emplear un transductor diseñado para funcionar mediante acoplamiento líquido. Aunque el resultado no sea óptimo, si la presión es suficientemente elevada y la impedancia del gas aumenta lo necesario, es posible obtener un rendimiento, al menos, aceptable. En la práctica se ha visto que es posible aplicar esta aproximación para presiones mayores que 69-103 bar (1000-1500 psi (US005587534A)). Lamentablemente, estas presiones son demasiado elevadas para la mayoría de las aplicaciones que se presentan en la industria por lo que esta aproximación resulta inútil.

Efectivamente, las presiones empleadas en el transporte y distribución de gas se encuentran en el rango 14-103 bar (200-1500 psi), por lo que esta aproximación al problema basada en el uso de transductores convencionales para inmersión en agua no es útil ya que a estas presiones los transductores diseñados para acoplamiento mediante líquidos no ofrecen prestaciones aceptables. A medida que la presión en el gas decrece (por debajo de 103 bar), la atenuación del ultrasonido aumenta y la impedancia disminuye, lo que reduce la sensibilidad de los transductores de inmersión y produce un empeoramiento de la relación señal ruido; además, alarga la señal de respuesta, lo que produce una pérdida de resolución axial.

Por otro lado, los transductores existentes para acoplamiento mediante aire tampoco resulta útiles para esta aplicación pues están diseñados para operar a presiones

reducidas y porque se diseñan para trabajar en modo transmisión y no en pulso-eco, presentando una pobre resolución axial que no es aceptable en estas aplicaciones.

5 Por tanto, es necesario desarrollar nuevos transductores resistentes a altas presiones (>14 bar), con alta sensibilidad (>-35 dB) y buena resolución axial (< 5 μ s) para detectar ecos generados por un cuerpo sólido (y sus discontinuidades internas) en presencia de un gas presurizado y empleando dicho gas como medio de acoplamiento.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10 La presente invención se refiere a una estructura laminar o estratificada y a su procedimiento de obtención y al uso de dicha estructura laminar o estratificada como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico y al transductor que comprende dicha estructura laminar o estratificada.

15 El transductor ultrasónico piezoeléctrico al que se refiere la presente invención opera en modo pulso-eco en banda ancha, con alta sensibilidad (>-35 dB) y con alta resolución axial (< 5 μ s) en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar (200-1500 psi), es decir, opera generando señales ultrasónicas y
20 detectando los ecos generados por un cuerpo sólido en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar (200-1500 psi).

Dicho transductor ultrasónico piezoeléctrico presenta una alta sensibilidad > -30 dB y un ancho de banda > 90 % y puede servir para realizar las siguientes medidas en
25 depósitos y tuberías que contienen o transportan gases a presiones de entre 14 bar y 103 bar (de entre 200 psi y 1500 psi).

- Perfilometría de la superficie interna
- Medida del espesor de la pared.
- Detección de corrosión por reducción de espesor.
- 30 - Detección de grietas u otros defectos.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a una estructura laminar o estratificada (a partir de aquí "la estructura de la presente invención") caracterizada por que comprende

- 5

 - una membrana polimérica adaptativa resonante (7) de espesor de entre 50 μm y 150 μm que presenta
 - unas condiciones de resonancia de cuarto de onda a una frecuencia central (f_c) mayor o igual de 1 MHz, de entre 1 MHz y 4 MHz,
 - una impedancia acústica de entre 0,1 MRayl y 0,5 MRayl,
 - una porosidad mayor del 70 % y
 - unos poros interconectados;
- 10

 - una lámina adhesiva sensible a la presión (6), de espesor menor de 60 μm ,
 - situada sobre la lámina resonante (7) y cubriendo dicha lámina (7) completamente;
 - que presenta una impedancia acústica de entre 0,5 MRayl y 1,5 MRayl;
- 15

 - una lámina de espuma sintáctica (5), de espesor de entre 100 μm y 500 μm
 - situada sobre la lámina (6) y cubriendo dicha lámina (6) completamente,
 - que presenta una impedancia acústica de entre 0,5 MRayl y 2 MRayl;
- 20

 - una lámina polimérica (4) de espesor de entre 100 μm y 500 μm
 - situada sobre la lámina (5) y cubriendo dicha lámina (5) completamente,
 - que presenta una impedancia acústica de entre 1,5 MRayl y 3,5 MRayl;
 - una primera lámina conductora (2e), de espesor de entre 20 nm y 100 nm, situada sobre la lámina (4) y cubriendo dicha lámina (4) completamente;
- 25

 - una lámina piezoeléctrica (1) que comprende una cara interna (i) y una cara externa (e)
 - de espesor de entre 0,5 mm y 2 mm,
 - que está situada sobre la lámina conductora (2e), donde la cara externa (e) está en contacto directo con la lámina conductora (2e), y
 - que está cubriendo dicha lámina conductora (2e) parcialmente;
- 30

 - una segunda lámina conductora (2i), de espesor de entre 20 nm y 100 nm, situada sobre la cara interna (i) de la lámina piezoeléctrica (1) y cubriendo dicha lámina (1) completamente;
 - un bloque (3), con acabado cónico anecoico,
 - de espesor de entre 15 mm y 30 mm,
 - situado sobre la lámina conductora (2i) y extendiéndose alrededor de las láminas (2i) y (1) hasta contactar con la lámina conductora (2e),
 - que presenta una impedancia acústica de entre 5 MRayl y 10 MRayl,

- o y que está compuesto por una resina epoxi que comprende partículas de diámetro de entre 1 μm y 50 μm seleccionadas de entre tungsteno, zirconia, alúmina y cualquiera de sus combinaciones;

5 donde (1), (2i), (2e), (3), (4), (5), (6) y (7) resisten presiones hidrostáticas de hasta 3800 psi (262 bar),

donde la lámina piezoeléctrica está polarizada a lo largo de su espesor, y

donde las láminas (4), (5) y (6) forman un conjunto que presenta unas condiciones de resonancia de cuarto de onda a la frecuencia central del transductor (f_c) que en este caso es una frecuencia mayor o igual de 1 MHz, de entre 1 MHz y 4 MHz.

10 Cumpliéndose dicha condición cuando se verifica que:

$$f_c = 1/[4(t_4/v_4 + t_5/v_5 + t_6/v_6)]$$

15 donde v_i y t_i son la velocidad de los ultrasonidos y el espesor en la capa i , siendo $i = 3, 4, 5$. El espesor de la lámina piezoeléctrica (1) se determina a partir de la frecuencia de resonancia del transductor, fijándose de tal forma que la frecuencia de la resonancia eléctrica de la lámina (1) sea igual a f_c .

20 La estructura laminar o estratificada de la presente invención puede tener cualquier sección: circular, rectangular, cuadrada, etc.

En la presente invención se entiende por “membrana polimérica adaptativa resonante” como aquella lámina de porosidad mayor del 70 % y con poros interconectados que presenta una impedancia acústica de entre 0,1 MRayl y 0,5 MRayl y unas condiciones
25 de resonancia de cuarto de onda a una frecuencia central mayor o igual de 1 MHz, de entre 1 MHz y 4 MHz. Dicha lámina es adaptativa porque, gracias a su naturaleza de poro abierto, el gas dentro de los poros está en equilibrio con el gas externo y esto le permite modificar su impedancia acústica en concordancia con la presión del gas externo. Dicha lámina es resonante porque su espesor es igual a un cuarto de la
30 longitud de onda del ultrasonido a la frecuencia de trabajo del transductor (f_c). Al variar la presión del gas externo, también varía la densidad del mismo y debido a esta naturaleza de poro abierto, la densidad efectiva de la lámina se también se modifica y lo hace en el mismo sentido. Un cambio de densidad en el gas implica un cambio proporcional de impedancia del mismo, de tal forma que, para mantener un
35 acoplamiento óptimo del transductor, también sería necesario modificar la impedancia

del material en la cara externa, lo cual no es posible. Este problema se aborda mediante el empleo de esta lámina de poro abierto cuya impedancia varía de la forma necesaria al variar la presión del gas externo. Por este motivo se califica de adaptativa.

- 5 En la presente invención se entiende por “lámina adhesiva sensible a la presión”, como aquella cinta adhesiva configurada para la unión permanente de dos superficies sólidas que no presenta ningún soporte físico. Por el término “sensible a la presión” se entiende en la presente invención a aquella que su adhesivo se activa bajo presión.
- 10 En la presente invención se entiende por “espuma sintáctica” como aquella espuma que está compuesta por una matriz polimérica a la que se añaden microesferas huecas de vidrio u otro material de similares características, preferiblemente de tamaño $< 20 \mu\text{m}$, distribuidas de forma aleatoria. Por ejemplo dichas espumas sintácticas se utilizan en sistemas de flotación para submarinos de aguas profundas,
- 15 para profundidades de 700 m a 10.000 m.

En la presente invención se entiende por “acabado cónico anecoico” como aquella terminación en forma de cono que presenta una estructura interna anecoica diseñada para dispersar en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas en

20 cualquiera de las superficies que la conforman.

En una realización preferida de la estructura de la presente invención, la membrana polimérica adaptativa resonante (7) se selecciona de entre polipropileno, nitrato de celulosa, ester de celulosa, polietersulfona y nilón.

25

En otra realización preferida de la estructura de la presente invención, la lámina adhesiva sensible a la presión (6) se selecciona de entre una lámina de acrílico o una lámina de poliuretano.

30 En otra realización preferida de la estructura de la presente invención, la lámina de espuma sintáctica (5) está compuesta por una resina epoxi con esferas huecas de diámetro de entre $1 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$. Las esferas huecas son preferiblemente de vidrio o poliolefina.

35 La lámina polimérica (4) es una resina epoxi preferiblemente.

En otra realización preferida de la estructura de la presente invención, las láminas conductoras (2e) y (2i) están compuestas independientemente por un material conductor seleccionado de entre Au, Ag, Cu, Sn y cualquiera de sus combinaciones.

- 5 En otra realización preferida de la estructura de la presente invención, donde la composición de la lámina piezoeléctrica (1) se seleccionada de entre una cerámica tipo PZT de titanato zirconato de plomo $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$, un material compuesto de cerámica piezoeléctrica y resina con conectividad tipo 1-3 y con una concentración volumétrica de cerámica de entre el 25% y el 80%, y un monocristal piezoeléctrico tipo
- 10 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT).

Otro aspecto de la invención se refiere al procedimiento de obtención de la estructura de la presente invención (a partir de aquí “el procedimiento de la invención”) caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- 15 (a) unir la lámina piezoeléctrica (1) cubierta por con las láminas conductoras (2i) y (2e) a una lámina de sacrificio, preferiblemente de policarbonato, mediante cinta adhesiva (6) por una primera cara,
- (b) unir un receptáculo metálico (8), a la lámina de sacrificio con la ayuda de cinta adhesiva (6),
- 20 (c) rellenar el espacio formado entre la lámina piezoeléctrica (1) y el receptáculo metálico con resina (3) y curar dicha resina (3),
- (d) retirar lámina de sacrificio,
- (e) metalizar la primera cara de la lámina piezoeléctrica (1) para que la lámina conductora (2e) cubra completamente el piezoeléctrico y el borde del casquillo,
- 25 (f) depositar la lámina polimérica (4) sobre la lámina conductora (2e) curar y pulir,
- (g) pegar la lámina de espuma sintáctica (5) a la lámina polimérica (4) preferiblemente el adhesivo tiene la misma composición que la lámina polimérica (4),
- 30 (h) adherir la lámina adhesiva sensible a la presión (6) sobre la lámina de espuma sintáctica (5),
- (i) pegar la membrana polimérica adaptativa resonante (7) a la lámina adhesiva sensible a la presión (6),
- (j) fijar el conjunto de láminas (1), (2e), (2i), (3), (4), (5), (6) y (7) por ejemplo
- 35 con una corona protectora (11) y voltear, y

(k) rellenar el espacio interior del receptáculo metálico con la ayuda de un molde cónico para formar un bloque (3) con forma cónica.

5 El procedimiento de la presente invención se puede verificar mediante la medida de la impedancia eléctrica en los bornes (láminas (2i) y (2e)) en cada etapa del mismo.

10 En una realización preferida del procedimiento de la presente invención, la etapa (e) de metalizar la primera cara de la lámina piezoeléctrica (1) para formar la lámina conductora (2e) que cubra completamente el piezoeléctrico y el borde del casquillo, se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas de entre pulverización catódica, metalizado a vacío, metalizado por evaporización, metalizado por serigrafía, deposición por inmersión y recubrimiento por rotación.

15 En otra realización preferida del procedimiento de la presente invención, la deposición de la etapa (f) se lleva a cabo mediante técnicas de deposición seleccionadas de entre deposición por inmersión, recubrimiento por rotación, y serigrafía.

20 En otra realización preferida del procedimiento de la presente invención, la etapa (g) referente al pegado de la lámina de espuma sintáctica (5) a la lámina polimérica (4) se lleva a cabo utilizando un adhesivo que tiene la misma composición química que la lámina polimérica (4).

25 Otro aspecto de la presente invención se refiere al uso de la estructura de la presente invención como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico para detectar ecos generados por un cuerpo sólido en presencia de un gas presurizado a una presión de 14 bar y 103 bar (de entre 200 psi y 1500 psi), por ejemplo para detectar ecos de tuberías de gas natural.

30 Anteriormente se ha mencionado que la estructura laminar o estratificada de la presente invención puede tener cualquier sección: circular, rectangular, cuadrada, etc. La sección de dicha estructura se seleccionará en función de la sección final que se desee para el transductor; la forma del receptáculo metálico (8) de la etapa (b) del procedimiento de la presente invención determinará la sección final del transductor. Por ejemplo, si se pretende obtener un transductor de sección circular, entonces el
35 receptáculo metálico (8) utilizado en la etapa (b) del procedimiento de obtención de la

estructura de la presente invención será cilíndrico.

En la presente invención se entiende por “transductor ultrasónico piezoeléctrico” como aquel generador y receptor de ultrasonidos basado en el uso de un material piezoeléctrico.

En la presente invención el transductor ultrasónico piezoeléctrico trabaja en modo pulso eco, es decir, entre el transductor y el sólido a inspeccionar media un gas presurizado, a una presión de entre 14 bar y 103 bar (de entre 200 psi y 1500 psi).

El último aspecto de la presente invención se refiere a un transductor ultrasónico piezoeléctrico para detectar ecos generados por un cuerpo sólido en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar (de entre 200 psi y 1500 psi), caracterizado por que comprende

- la estructura de la presente invención mencionada anteriormente,
 - donde la membrana polimérica adaptativa resonante (7) está configurada para actuar como una capa resonante cuarto de onda a la frecuencia central del transductor,
 - donde el conjunto formado por (4), (5) y (6) está configurado para que actúe conjuntamente como una única capa resonante a la frecuencia central del transductor y reduzca gradualmente la impedancia acústica de la estructura,
 - donde la primera lámina conductora (2e) y la segunda lámina conductora (2i) están configuradas para actuar como electrodo y posibilitar la aplicación/medida de campo eléctrico en lámina piezoeléctrica (1),
 - donde el bloque (3) está configurado para amortiguar la vibración de la lámina piezoeléctrica (1) y evitar cualquier eco de fondo,
- un receptáculo metálico (8) que comprende un conector coaxial (9) con conexión a tierra y un conector interno (10) de una tapa trasera (12) del receptáculo metálico (8) y que está configurado para alojar la estructura laminada y proporcionar blindaje electromagnético.
 - donde (2e), (3), (4), (5), (6) y (7) están en contacto con las paredes internas del receptáculo (8);
- un conector coaxial (9) que une el conector interno (10) de la tapa trasera (12) del receptáculo metálico (8) con la segunda lámina conductora (2i) que está

configurado para aplicar un voltaje al elemento piezoeléctrico a través del conector o bien para medir el voltaje generado en el elemento piezoeléctrico; y

- una corona protectora (12) configurada para proteger la membrana polimérica adaptativa resonante (7) y el borde lateral de la membrana polimérica adaptativa resonante (7), el conjunto formado por (4), (5) y (6), el bloque (3), la primera lámina conductora (2e) y la segunda lámina conductora (2i).

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención. Los siguientes ejemplos y figuras se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativos de la presente invención.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

15

FIG. 1 Representación esquemática del transductor ultrasónico piezoeléctrico

- (1) Lámina piezoeléctrica
- (2) Lámina conductora:
 - primera lámina conductora (2e) y segunda lámina conductora (2i)
- (3) Bloque de amortiguación
- (4) Lámina polimérica
- (5) Lámina de espuma sintáctica
- (6) Lámina adhesiva sensible a la presión
- (7) Membrana polimérica adaptativa resonante
- (8) Receptáculo metálico
- (9) Cable o conector coaxial
- (10) Conector interno del conector coaxial (9)
- (11) Corona protectora
- (12) Tapa trasera del receptáculo metálico (8)

30

FIG. 2 Casquillo, tapa trasera y corona frontal. Dimensiones.

FIG. 3 Módulo de la impedancia eléctrica (ohm) del disco de composite piezoeléctrico [(1), (2i), (2e)] frente a la frecuencia (MHz) medido en el entorno de la frecuencia de

resonancia (1 MHz). Línea discontinua: medida experimental, línea de puntos: cálculo teórico.

5 **FIG. 4** Vista lateral del disco piezoeléctrico tras soldar (1) el cable (2) a la superficie metalizada del piezoeléctrico (3)

FIG. 5 Vista lateral de la fijación del disco piezoeléctrico a una lámina de poliuretano (2) empleando un adhesivo de doble cara (1).

10 **FIG. 6** Vista lateral del disco piezoeléctrico y del casquillo cilíndrico (1) listos para ser fijados de forma concéntrica..

FIG. 7 Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo empleando resina epoxi (1).

15

FIG. 8 Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo ya liberado del soporte para fabricación.

20 **FIG. 9** Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo y con la cara externa completamente metalizada (1).

FIG. 10 Impedancia eléctrica del disco piezoeléctrico libre (línea discontinua) y del disco fijado al casquillo (línea continua).

25 **FIG. 11** Vista lateral de la deposición de la capa de resina (1) sobre la superficie metalizada.

FIG. 12 Vista lateral del transductor con la lámina de resina rectificada y pulida (1).

30 **FIG. 13** Impedancia eléctrica del transductor antes (línea discontinua) y después (línea continua) de depositar y lijar la capa de resina.

FIG. 14 Vista lateral del transductor con las capas de adhesivo epoxi (1) y espuma sintáctica (2) depositadas.

35

FIG. 15 Impedancia eléctrica del transductor antes (línea discontinua) y después (línea continua) de depositar la capa de espuma sintáctica.

5 **FIG. 16** Vista lateral del transductor con las capas de cinta adhesiva (2) y membrana (1).

FIG. 17 Impedancia eléctrica del transductor antes (línea discontinua) y después (línea continua) de colocar la membrana.

10 **FIG. 18** Vista lateral del transductor con corona frontal (1).

FIG. 19 Vista lateral del transductor con el molde (1) para la terminación de la contramasa

15 **FIG. 20** Vista lateral del transductor con la contramasa (1) finalizada.

FIG. 21 Impedancia eléctrica del transductor antes (línea discontinua) y después (línea continua) de colocar la contramasa.

20 **FIG. 22** Vista lateral del transductor con el extremo libre del cable soldado al pin interno (3) del conector coaxial (2) alojado en la tapa trasera (1).

FIG. 23 Vista lateral del transductor cerrado por la parte trasera.

25 **FIG. 24** Espectro del coeficiente de transmisión (magnitud y fase) de la membrana empleada para la capa externa del transductor. Línea continua: cálculo teórico de la magnitud, línea discontinua: cálculo teórico de la fase, puntos: medidas.

30 **FIG. 25** Respuesta impulsiva (a) y banda de sensibilidad (b) del transductor de 1 MHz en aire en condiciones normales.

FIG. 26 Respuesta impulsiva (a) y banda de sensibilidad (b) del transductor de 1 MHz en aire con una sobrepresión de 5 bar.

EJEMPLOS

A continuación se ilustrará la invención mediante unos ensayos realizados por los inventores, que pone de manifiesto la efectividad del producto de la invención.

5

El siguiente ejemplo de realización se refiere a un transductor ultrasónico piezoeléctrico de sección circular. En la siguiente tabla 1 se enuncian y describen los elementos que componen el transductor.

10 Tabla 1: Elementos del transductor con su descripción

Elemento		Descripción
Lámina piezoeléctrica	(1)	Cerámica piezoeléctrica de PZT5A en matriz de resina epoxi. Concentración volumétrica de cerámica piezoeléctrica PZT5A 50 %, Polarizado en la dirección del espesor. Conectividad 1-3 (dice and fill, pixel: 200 μm) Forma: disco Diámetro: 9,83 mm Espesor: 1,544 mm
Lámina conductora	(2i) y (2e)	Lámina conductora de CuSn Espesor: 100 nm
Bloque	(3)	Resina epoxi cargada con partículas de tungsteno (20 μm diámetro). Impedancia acústica 4 MRayl. Espesor: 30 mm
Lámina polimérica	(4)	Resina epoxi Impedancia: 2,75 MRayl Forma: disco Diámetro: 14 mm Espesor: 360 μm
Lámina de espuma	(5)	Resina epoxi cargada con esferas huecas de vidrio

sintáctica		(diámetro 20 μm), Impedancia: 0,7 MRayl. Forma: disco Diámetro: 14 mm Espesor: 330 μm
Lámina adhesiva sensible a la presión	(6)	Impedancia: 0,7 MRayl Forma: disco Espesor: 60 μm Diámetro: 14 mm
Membrana polimérica adaptativa resonante	(7)	Material: Polipropileno Impedancia: 0,1 MRayl Porosidad 70 % Espesor: 90 μm Diámetro: 14 mm Poros interconectados
Receptáculo metálico o Casquillo	(8)	Tubo de aluminio Diámetro interno: 11 mm Diámetro externo: 13,3 mm Longitud: 28 mm
Cable o Conector trasero	(9)	Conector tipo SMB de panel. Es un tipo estándar de conector coaxial
Corona protectora cara frontal	(11)	Aluminio Diámetro externo: 15,2 mm Luz: 11,0 mm Altura: 5,1 mm

* Es un material compuesto de cerámica piezoeléctrica y resina. La resina es la matriz y la cerámica se presenta en forma de un apilamiento de pilares. A este tipo de compuesto se le conoce como 1-3, 1 porque la cerámica esta conectada sólo en 1 dirección, que son los pilares, y 3 porque la resina está conectada en las tres direcciones del espacio que es una matriz.

Dice and fill hace referencia al método de fabricación estándar de este material: se toma un disco cerámico se producen una serie de cortes espaciados regularmente en dos direcciones ortogonales que da lugar a los pilares, y luego se rellenan los huecos con resina.

A continuación se listan los materiales utilizados en la fabricación:

Elementos estructurales [(8), (9), (11)]:

- 10 • Casquillo metálico conductor (cilindro de diámetro interno 11 mm y grosor de pared 1 mm). 25 mm de longitud.
- Tapa trasera, plana, con taladro pasante circular en el centro para conector SMB.
- Corona frontal metálica para protección de la cara radiante.

15

Casquillo, tapa trasera y corona frontal según Figura 2.

Otros materiales:

- 20 • Conector coaxial de panel, tipo SMB.
- Cable (0,2 mm) [(9)].
- Disco de material compuesto piezoeléctrico [(1), (2i), (2e)], conectividad 1-3, cerámica PZT5A y resina epoxi al 50%. Fabricado por la técnica *dice and fill*. Polarizado en la dirección del espesor y metalizado en ambas caras planas (recubrimiento de CuSn de 100 nm de espesor). Disco de 9,83 mm de diámetro, espesor 1,54 mm. Frecuencia de resonancia: 1 MHz.
- 25 • Resina epoxi, densidad 1150 kg/m³, velocidad de los ultrasonidos 2450 m/s [(4)]
- Espuma sintáctica [(5)] (resina epoxi cargada con esferas huecas, diámetro < 20 µm (de impedancia acústica de 0,7 MRayl y velocidad de ultrasonidos de 2100 m/s).
- 30 • Cinta adhesiva de doble cara sensible a la presión [(6)]. Sin soporte, grosor: 60 micras, impedancia acústica 0,6 MRayl.
- Membrana polimérica resonante [(7)] a la frecuencia central del transductor (1MHz ±10%). Material: Polipropileno; Impedancia: 0,095 MRayl (±10%);

Porosidad: 70%, Tipo de porosidad: abierta (interconectada). Espesor: 90 μm Diámetro: 14 mm.

Materiales para la contramasa [(3)]:

- 5
- Resina epoxi, densidad 1150 kg/m^3 , velocidad de los ultrasonidos 2450 m/s
 - Polvo de caucho (tamaño de partícula < 120 micras).
 - Polvo de tungsteno (tamaño de partícula: 12 micras).

Materiales auxiliares:

- 10
- Espuma de poliuretano de baja densidad ($100\text{-}300 \text{ kg/m}^3$) para la fabricación del molde cónico para el acabado de la contramasa [(3)].
 - Agente demoldeante.
 - Lámina de plástico (200 μm , policarbonato).
 - Estaño y pasta para soldar.

15

Procedimiento de fabricación:

(1) Procedimiento para la verificación inicial del disco piezoeléctrico por medida de impedancia eléctrica y para verificaciones sucesivas durante el proceso de fabricación.

20

Se comprueba la integridad e idoneidad del disco piezoeléctrico mediante la medida de su impedancia eléctrica en un analizador de impedancias o un analizador de redes en el entorno de la frecuencia de resonancia del modo espesor proporcionada por el fabricante, en este caso 1 MHz. Para medir la impedancia eléctrica del disco se conectan las caras metalizadas a los bornes de salida del analizador de impedancias. Se verifica que la resonancia eléctrica se encuentra en 1 MHz (tolerancia 5%). Esta será la frecuencia central del transductor a fabricar. También se verifica la integridad de la resonancia piezoeléctrica, comparando la curva de impedancia medida con la proporcionada por el fabricante. Igualmente, se verifica la influencia casi despreciable de modos radiales de vibración (resonancias de menor frecuencia y sus armónicos que pueden solapar con la resonancia del modo espesor situada en 1 MHz).

La Figura 3 muestra el Módulo de la impedancia eléctrica (ohm) del disco de composite piezoeléctrico [(1), (2i), (2e)] frente a la frecuencia (MHz) medido en el entorno de la frecuencia de resonancia (1 MHz). La curva con línea discontinua es la

35

medida experimental y la curva punteada es la calculada teóricamente (modelo 1D). Las pequeñas oscilaciones a baja frecuencia son los modos radiales en el disco que son prácticamente despreciables frente al modo espesor que aparece a 1 MHz.

5 Esta misma medida de impedancia eléctrica tomada en bornes del disco piezoeléctrico se repite a cada paso del proceso para verificar la integridad de la respuesta piezoeléctrica y del correcto montaje y dimensionamiento de las capas y elementos colocados a cada paso mediante la comparación de la curva de impedancia medida con la que se calcula sabiendo las propiedades (espesor, impedancia y
10 amortiguamiento) de cada capa depositada.

(2) Fijación del disco piezoeléctrico al casquillo y preparación de conexiones eléctrica.

Se toma un trozo de cable de longitud aproximadamente igual a dos veces la longitud
15 del casquillo (60 mm en este caso) y se pelan ambos extremos en una longitud, aproximada, de 3 mm). Se enrolla en forma de solenoide (con un diámetro aproximado de 1/3 el diámetro interno del casquillo, 4 mm en este caso, y una longitud similar a la del casquillo, 28,2 mm en este caso) y se suelda uno de sus extremos a una de las caras del disco piezoeléctrico empleando estaño y pasta para soldar. El otro extremo
20 del cable queda libre. Ver figura 4. Vista lateral del disco piezoeléctrico tras soldar el cable.

Se aplica un agente demoldeante a la otra cara del disco piezoeléctrico.

25 Se toma una lámina de plástico (policarbonato 200 um, 30 x 30 mm) y se pega cinta adhesiva de doble cara sobre una superficie de 40 x 40 mm. Esto hará de soporte para la fijación del disco piezoeléctrico al casquillo. Se pega el disco piezoeléctrico a esta lámina por la cara sobre la que se aplicó el demoldeante. Ver figura 5. *Vista lateral del disco piezoeléctrico con el cable fijado al soporte para fijación al casquillo.*

30 Se pega el casquillo metálico al film de plástico de forma concéntrica al disco piezoeléctrico, asegurando la estanqueidad de la cavidad formada por casquillo, disco piezoeléctrico y lámina de policarbonato. Ver figura 6. Vista lateral del disco piezoeléctrico y del casquillo, listos para ser fijados.

35

Se rellena el borde entre el casquillo y el disco piezoeléctrico (ancho de 1 mm en el presente ejemplo) con resina epoxi cargada con polvo de tungsteno y polvo de goma, fabricado siguiendo el procedimiento explicado en (3). Ver figura 7. Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo.

5

Se deja curar la resina depositada entre el casquillo y el disco piezoeléctrico.

Una vez curada la resina, se retira la lámina de policarbonato pegado al disco piezoeléctrico y al cilindro. Se limpia la superficie externa del disco piezoeléctrico y el borde del casquillo metálico de cualquier residuo de adhesivo restante, preservando la metalización del disco piezoeléctrico. El resultado final en este paso es que el disco piezoeléctrico queda fijado al casquillo mediante un anillo de resina cargada con partículas de 1 mm de grosor (en este caso). Ver figura 8. Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo ya liberado del soporte para fabricación.

15

Se metaliza la superficie que se acaba de limpiar: disco piezoeléctrico + anillo de resina + borde del casquillo. Se puede emplear cualquier técnica disponible, bien, pulverización catódica (en inglés sputtering), evaporación o serigrafía (en inglés screen printing). Ver figura 9. Vista lateral del disco piezoeléctrico fijado al casquillo y con la cara externa completamente metalizada.

20

Finalmente, se verifica la conductividad eléctrica entre la superficie que se acaba de metalizar y el casquillo metálico del transductor y se repite la medida de impedancia eléctrica para verificar que la resonancia piezoeléctrica se mantiene inalterada salvo por la introducción de un ligero amortiguamiento debido a la fijación del disco piezoeléctrico al casquillo. El resultado de la medida de impedancia se muestra en la figura 10 donde se ven las medidas correspondientes al disco piezoeléctrico libre y al disco fijado en el casquillo y se puede verificar el efecto de amortiguamiento introducido al fijar el disco piezoeléctrico al casquillo tanto en el modo espesor como en los modos radiales que desaparecen por completo.

30

(3) Fabricación del material multicapa para la adaptación óptima de impedancias al gas/aire.

35 Deposición de una lámina de resina de 300-350 micras, empleando una técnica de

screen printing, deep coating o cualquier técnica similar sobre la superficie externa del disco piezoeléctrico. Para este fin, se mezclan ambos componentes de la resina, se elimina el aire atrapado empleando una campana de vacío y se deposita, mientras está en estado líquido, sobre la superficie metalizada, cubriéndola por completo. No es necesario que la capa depositada quede plana ni planoparalela. La cantidad de resina depositada, equivalente a una capa de 300-350 micras, se controla mediante pesada en una balanza de precisión. El resultado final se puede ver figura 11 Vista lateral de la deposición de la capa de resina sobre la superficie metalizada.

10 La resina así depositada se deja curar siguiendo las instrucciones del fabricante de la resina.

Una vez curada, se pule su superficie externa empleando una pulidora automática para dejar un acabado plano y normal al eje del casquillo. El grosor final de esta capa debe ser 260 μm , la rugosidad $< 5 \mu\text{m}$. El resultado tras esta etapa se puede ver en la figura 12. Vista lateral del transductor con la lámina de resina rectificada y pulida.

En este punto se repite la medida de impedancia eléctrica del transductor para verificar la correcta deposición de la lámina de resina, según se explicó en (1). Para esto, se conecta el extremo libre del cable y el casquillo a los terminales del analizador de impedancias. El resultado se muestra en la figura 13.

De un bloque de espuma sintáctica se corta una lámina de 1 mm de grosor, lado > 25 mm.

25 El grosor de la lámina anterior se rebaja, bien mediante un torno de control numérico o bien empleando una pulidora hasta un grosor de 330 μm , garantizando el planoparalelismo de ambas caras de la lámina. De esta lámina, se corta un disco con el mismo diámetro que el diámetro externo del casquillo del transductor (13,3 mm en este caso). Dicha operación puede hacerse empleando un sacabocados.

30 Se pega la lámina de espuma sintáctica a la superficie del transductor empleando la misma resina epoxi que se depositó sobre la superficie del piezoeléctrico. El grosor añadido de resina epoxi para conseguir este pegado debe ser de 100 μm . El control de la cantidad de resina añadida se efectúa mediante pesada en una balanza de

precisión. Ver figura 14. Vista lateral del transductor con las capas de resina epoxi y espuma sintáctica depositadas.

5 Una vez curada la capa anterior y por tanto pegada la lámina de espuma sintáctica, se repite la medida de impedancia eléctrica conectando el extremo libre del cable y el casquillo a los terminales del analizador de impedancias para verificar la correcta colocación de esta lámina según se explicó en (1). El resultado se muestra en la figura 15. Impedancia eléctrica del transductor antes (línea discontinua) y después (línea continua) de depositar la capa de espuma sintáctica.

10

Una vez verificado, se coloca sobre la superficie externa de la capa de espuma sintáctica una lámina de cinta adhesiva de doble cara sensible a la presión (grosor 60 μm). Sobre esta lámina de cinta adhesiva se coloca la membrana polimérica adaptativa y resonante. Ver figura 16. Vista lateral del transductor con las capas de
15 cinta adhesiva y membrana. Para asegurar un correcto pegado de la lámina de cinta adhesiva de doble cara tanto a la espuma sintáctica como a la membrana, se somete a una presión en la dirección normal del plano de unión de unos 150 kN/m^2 . Y a una temperatura de 50 °C durante 30 minutos.

20 Una vez acabado este ciclo y enfriado el transductor, se repite la medida de impedancia eléctrica conectando el extremo libre del cable y el casquillo a los terminales del analizador de impedancias para verificar la correcta colocación de esta lámina según se explicó en (1). El resultado se muestra en la figura 17.

25 *(4) Corona frontal.*

Una vez depositada la última capa del apilamiento de capas, se procede a proteger tanto la cara frontal como la lateral colocando el anillo frontal de protección, que puede ir simplemente encajado o encajado y pegado sobre el casquillo. Ver figura 18. Vista
30 lateral del transductor con corona frontal.

(5) Colocación de la contramasa (backing).

Una vez colocada la corona frontal de protección se coloca el transductor en posición
35 vertical, apoyado sobre la corona frontal. La cavidad formada por el casquillo y la

superficie del disco piezoeléctrico se rellena con la mezcla de resina epoxi, tungsteno y polvo de goma antes de que la mezcla empiece a curar, hasta una altura de 2/3 de la altura total del casquillo, asegurando que el extremo libre del cable soldado al disco piezoeléctrico quede libre. Se deja curar la mezcla. Ver figura 19. Vista lateral del transductor con la contramasa depositada.

Fabricación del molde para el acabado cónico de la contramasa. Se corta un disco de la espuma de poliuretano de baja densidad ($100-300 \text{ kg/m}^3$), de diámetro igual al diámetro interno del casquillo metálico y grosor igual al radio. En una de las caras de este disco se talla una superficie cónica con generatriz a 45 grados del eje. En el vértice se practica un pequeño agujero ($< 1 \text{ mm}$ diámetro).

Se coloca el molde así fabricado sobre la contramasa depositada en el casquillo haciendo pasar el extremo libre del cable soldado al disco piezoeléctrico por el agujero practicado en el vértice de la superficie cónica. Ver figura 20. Vista lateral del transductor con el molde para la terminación de la contramasa.

Se rellena el espacio cónico que queda entre el molde y la contramasa con la misma mezcla de resina, tungsteno y polvo de goma con la que se fabricó la contramasa. Se deja curar. Ver figura 20. Vista lateral del transductor con la contramasa finalizada.

Una vez colocada la contramasa, se vuelve a verificar el correcto funcionamiento mediante la medida de la impedancia eléctrica del transductor. El resultado se muestra en la figura 21.

25

(6) Colocación del conector y tapa trasera.

Se fija el conector coaxial SMB de panel a la tapa trasera. La tierra del conector se conecta a la tapa trasera. Se suelda el extremo libre del cable al pin interno del conector coaxial (SMB). Ver figura 22. Vista lateral del transductor con el extremo libre del cable soldado al pin interno del conector coaxial alojado en la tapa trasera.

Se fija la tapa trasera al casquillo asegurando la conectividad eléctrica entre la tapa trasera y el cuerpo del casquillo y entre el pin interno del conector y el cable del transductor. Ver fig. 23. Vista lateral del transductor cerrado por la parte trasera.

35

(7) Fabricación del material para hacer la contramasa (backing) del transductor y del material para fijar el disco piezoeléctrico al casquillo. Ambos materiales son idénticos.

5 El material se compone de resina epoxi, polvo de tungsteno (12 micras) y polvo de goma (<120 micras). Proporción en peso: Resina: 22%, Polvo de tungsteno: 72%, polvo de caucho: 6%

10 Se añaden al componente A de la resina los aditivos (polvo de tungsteno y polvo de goma).

Se mezclan bien los tres componentes.

15 Se añade el endurecedor de la resina (parte B).

Se coloca la mezcla en un vacío para eliminar el gas atrapado.

20 Se deposita la mezcla en su ubicación final. Se vuelve a desgasear la mezcla en campana de vacío.

Se somete a presión hidrostática para eliminar las burbujas más pequeñas (30 min, 6 bar).

25 Se cura la resina siguiendo las instrucciones del fabricante.

(8) Verificación de las propiedades de la membrana: frecuencia de resonancia e impedancia.

30 Para verificar la correcta selección de la membrana se aplica la técnica de caracterización descrita en las siguientes referencias

[1] T. Gómez Álvarez-Arenas, "Air-coupled ultrasonic spectroscopy for the study of membrane filters," *J. Memb. Sci.*, vol. 213, no. 1–2, pp. 195–207, Mar. 2003.

35 [2] T. E. Gómez Alvarez-Arenas, "A nondestructive integrity test for membrane filters based on air-coupled ultrasonic spectroscopy.," *IEEE Trans.*

Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 50, no. 6, pp. 676–85, Jun. 2003.

[3] T. E. Gómez Álvarez-Arenas. Dispositivo para la caracterización de materiales por ultrasonidos con acoplamiento por gases (aire) y su aplicación para llevar a cabo un test no destructivo para verificar la integridad de membranas porosas. Patente ES 2239500B1, 2003

5 que consiste en la medida del coeficiente de transmisión de la membrana a los ultrasonidos empleando incidencia normal y aire como medio de acoplamiento en un intervalo de frecuencia donde aparezca la resonancia espesor de la membrana. En estas estas condiciones, dicha resonancia, aparece a la frecuencia en la que la longitud de onda es igual a dos veces el espesor (es decir, resonancia $\lambda/2$). Esta frecuencia tiene que ser el doble que la frecuencia central del transductor, ya que cuando la membrana se deposite sobre el transductor su resonancia será $\lambda/4$. Es decir, se necesita una membrana cuya frecuencia de resonancia sea 2,0 MHz, la tolerancia para este criterio es del 5%.

15 Además, del análisis teórico de la magnitud y fase del coeficiente de transmisión también es posible determinar la impedancia del material [4].

[4] T. E. Gómez Álvarez-Arenas, "Simultaneous determination of the ultrasound velocity and the thickness of solid plates from the analysis of thickness resonances using air-coupled ultrasound.," *Ultrasonics*, vol. 50, no. 2, pp. 104–9, Feb. 2010.

El espectro del coeficiente de transmisión de la membrana seleccionada (magnitud y fase) y el ajuste teórico que permite determinar la impedancia se muestran en la figura 24. La frecuencia de resonancia $\lambda/2$ se haya a 1,95 MHz, por lo que la resonancia $\lambda/4$ estará en 0,98 MHz, y el valor de la impedancia es de 0,088 MRayl.

En la Figura 24 se muestra el Espectro del coeficiente de transmisión (magnitud y fase) de la membrana empleada para la capa externa del transductor. Línea azul: cálculo teórico, puntos verdes: medida.

Para medir la respuesta impulsiva y la banda de sensibilidad a presión ambiente y con una sobrepresión de aire de 5 bar, del transductor fabricado se emplea un emisor receptor de Olympus (5072), un pulso de excitación de amplitud 90 V y la señal recibida se lleva directamente al osciloscopio, sin ninguna amplificación extra. Se

coloca una inductancia de 22 uH en paralelo con los bornes del transductor. El reflector era un bloque de acero situado a 7 mm.

5 La figura 25 muestra la respuesta impulsiva y la banda de sensibilidad del transductor en modo pulso-eco obtenida a presión ambiental.

10 La figura 26 muestra la respuesta impulsiva y la banda de sensibilidad del transductor en modo pulso-eco del transductor obtenida con una sobrepresión de 5 bar (73 psi) de aire.

REIVINDICACIONES

1.- Estructura laminar caracterizada por que comprende

- 5
 - una membrana polimérica adaptativa resonante (7) de espesor de entre 50 μm y 150 μm que presenta
 - unas condiciones de resonancia de cuarto de onda a una frecuencia central mayor o igual de 1 MHz, de entre 1 MHz y 4 MHz,
 - una impedancia acústica de entre 0,1 MRayl y 0,5 MRayl,
 - una porosidad mayor del 70 % y
 - 10 ○ unos poros interconectados;
 - una lámina adhesiva sensible a la presión (6), de espesor menor de 60 μm ,
 - situada sobre la lámina resonante (7) y cubriendo dicha lámina (7) completamente;
 - que presenta una impedancia acústica de entre 0,5 MRayl y 1,5 MRayl;
 - 15 • una lámina de espuma sintáctica (5), de espesor de entre 100 μm y 500 μm
 - situada sobre la lámina (6) y cubriendo dicha lámina (6) completamente,
 - que presenta una impedancia acústica de entre 0,5 MRayl y 2 MRayl;
 - una lámina polimérica (4) de espesor de entre 100 μm y 500 μm
 - situada sobre la lámina (5) y cubriendo dicha lámina (5) completamente,
 - 20 ○ que presenta una impedancia acústica de entre 1,5 MRayl y 3,5 MRayl;
 - una primera lámina conductora (2e), de espesor de entre 20 nm y 100 nm, situada sobre la lámina (4) y cubriendo dicha lámina (4) completamente;
 - una lámina piezoeléctrica (1) que comprende una cara interna (i) y una cara externa (e)
 - 25 ○ de espesor de entre 0,5 y 2 mm,
 - que está situada sobre la lámina conductora (2e), donde la cara externa (e) está en contacto directo con la lámina conductora (2e), y
 - que está cubriendo dicha lámina conductora (2e) parcialmente;
 - una segunda lámina conductora (2i), de espesor de entre 20 nm y 100 nm,
 - 30 situada sobre la cara interna (i) de la lámina piezoeléctrica (1) y cubriendo dicha lámina (1) completamente;
 - un bloque (3), con acabado cónico anecoico,
 - de espesor de entre 15 mm y 30 mm,
 - situado sobre la lámina conductora (2i) y extendiéndose alrededor de
 - 35 las láminas (2i) y (1) hasta contactar con la lámina conductora (2e),

- o que presenta una impedancia acústica de entre 5 MRayl y 10 MRayl,
 - o y que está compuesto por una resina epoxi que comprende partículas de diámetro de entre 1 μm y 50 μm seleccionadas de entre tungsteno, zirconia, alúmina y cualquiera de sus combinaciones;
- 5 donde (1), (2i), (2e), (3), (4), (5), (6) y (7) resisten presiones hidrostáticas de hasta 262 bar,
- donde la lámina piezoeléctrica está polarizada a lo largo de su espesor, y
- donde las láminas (4), (5) y (6) forman un conjunto que presenta unas condiciones de resonancia de cuarto de onda a una frecuencia central mayor o igual de 1 MHz, de
- 10 entre 1 MHz y 4 MHz.
2. Estructura según la reivindicación 1, donde la membrana polimérica adaptativa resonante (7) se selecciona de entre polipropileno, nitrato de celulosa, ester de celulosa, polietersulfona y nilón.
- 15
3. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, donde la lámina adhesiva sensible a la presión (6) se selecciona de entre una lámina de acrílico o una lámina de poliuretano.
- 20
4. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la lámina de espuma sintáctica (5) está compuesta por una resina epoxi con esferas huecas de diámetro de entre 1 μm y 20 μm .
5. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde lámina polimérica
- 25 (4) es una resina epoxi.
6. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde las láminas conductoras (2e) y (2i) están compuestas independientemente por un material conductor seleccionado de entre Au, Ag, Cu, Sn y cualquiera de sus combinaciones.
- 30
7. Estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde la composición de la lámina piezoeléctrica (1) se seleccionada de entre una cerámica tipo PZT de titanato zirconato de plomo $\text{PbZrO}_3\text{-PbTiO}_3$, un material compuesto de cerámica piezoeléctrica y resina con conectividad tipo 1-3 y con una concentración volumétrica de cerámica de
- 35 entre el 25% y el 80%, y un monocristal piezoelectrico tipo $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$.

8. Procedimiento de obtención de la estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:
- 5 (a) unir la lámina piezoeléctrica (1) cubierta por con las láminas conductoras (2i) y (2e) a una lámina de sacrificio mediante cinta adhesiva (6) por una primera cara,
 - (b) unir un receptáculo metálico (8) a la lámina de sacrificio con la ayuda de cinta adhesiva (6),
 - 10 (c) rellenar el espacio formado entre la lámina piezoeléctrica (1) y el receptáculo metálico con resina (3) y curar dicha resina (3),
 - (d) retirar lámina de sacrificio,
 - (e) metalizar la primera cara de la lámina piezoeléctrica (1) para que la lámina conductora (2e) cubra completamente el piezoeléctrico y el borde del casquillo,
 - (f) depositar la lámina polimérica (4) sobre la lámina conductora (2e), curar y
 - 15 pulir,
 - (g) pegar la lámina de espuma sintáctica (5) a la lámina polimérica (4),
 - (h) adherir la lámina adhesiva sensible a la presión (6) sobre la lámina de espuma sintáctica (5),
 - (i) pegar la membrana polimérica adaptativa resonante (7) a la lámina adhesiva
 - 20 sensible a la presión (6),
 - (j) fijar el conjunto de láminas (1), (2e), (2i), (3), (4), (5), (6) y (7) y voltear, y
 - (k) rellenar el espacio interior del receptáculo metálico con la ayuda de un molde cónico para formar un bloque (3) con forma cónica.
- 25 9. El procedimiento según la reivindicación 8, donde la etapa (e) se lleva a cabo mediante técnicas seleccionadas de entre pulverización catódica, metalizado a vacío, metalizado por evaporización, metalizado por serigrafía, deposición por inmersión y recubrimiento por rotación.
- 30 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, donde la deposición de la etapa (f) se lleva a cabo mediante técnicas de deposición seleccionadas de entre deposición por inmersión, recubrimiento por rotación, y serigrafía.

11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde la etapa (g) se lleva a cabo utilizando un adhesivo que tiene la misma composición que la lámina polimérica (4).
- 5 12. Uso de la estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, como parte de un transductor ultrasónico piezoeléctrico para detectar ecos generados por un cuerpo sólido en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar.
- 10 13. Transductor ultrasónico piezoeléctrico para detectar ecos generados por un cuerpo sólido en presencia de un gas presurizado a una presión de entre 14 bar y 103 bar, caracterizado por que comprende
- la estructura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7,
 - 15 ○ donde la membrana polimérica adaptativa resonante (7) está configurada para actuar como una capa resonante cuarto de onda a la frecuencia central del transductor,
 - donde el conjunto formado por (4), (5) y (6) está configurado para que actúe conjuntamente como una única capa resonante de la frecuencia central del transductor y reduzca gradualmente la impedancia acústica de la estructura,
 - 20 ○ donde la primera lámina conductora (2e) y la segunda lámina conductora (2i) están configuradas para actuar como electrodo y posibilitar la aplicación/medida de campo eléctrico en la lámina piezoeléctrica (1),
 - donde el bloque (3) está configurado para amortiguar la vibración de la lámina piezoeléctrica (1),
 - 25 • un receptáculo metálico (8) que comprende un conector coaxial (9) con conexión a tierra y un conector interno (10) de la tapa trasera (12) del receptáculo metálico (8) y que está configurado para alojar la estructura y proporcionar blindaje electromagnético,
 - donde (2e), (3), (4), (5), (6) y (7) están en contacto con las paredes del
 - 30 receptáculo (8);
 - un conector coaxial (9) que une el conector interno (10) de la tapa trasera (12) del receptáculo metálico (8) con la segunda lámina conductora (2i) que está configurado para aplicar un voltaje al elemento piezoeléctrico a través del conector o bien para medir el voltaje generado en el elemento piezoeléctrico; y

- una corona protectora (12) configurada para proteger la membrana polimérica adaptativa resonante (7) y el borde lateral de la membrana polimérica adaptativa resonante (7), el conjunto formado por (4), (5) y (6), el bloque (3), la primera lámina conductora (2e) y la segunda lámina conductora (2i).

5

FIG. 1.

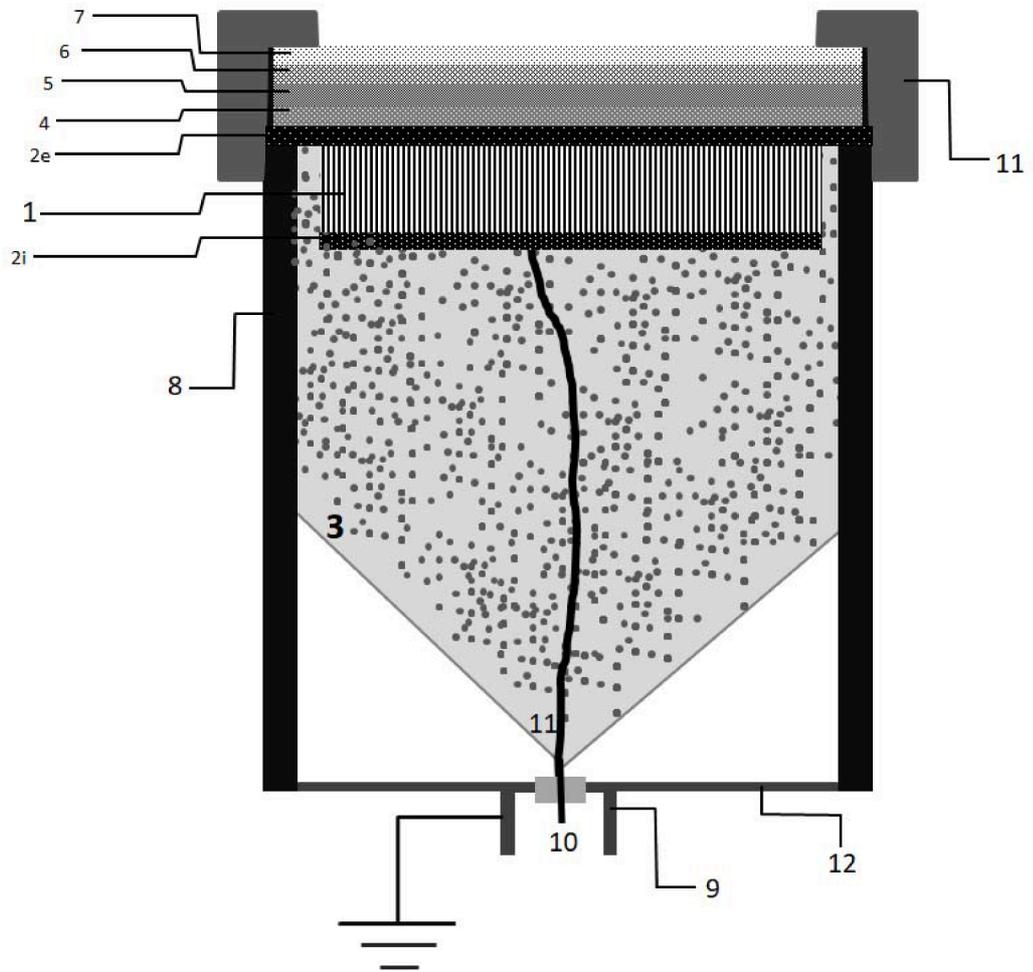


FIG. 2.

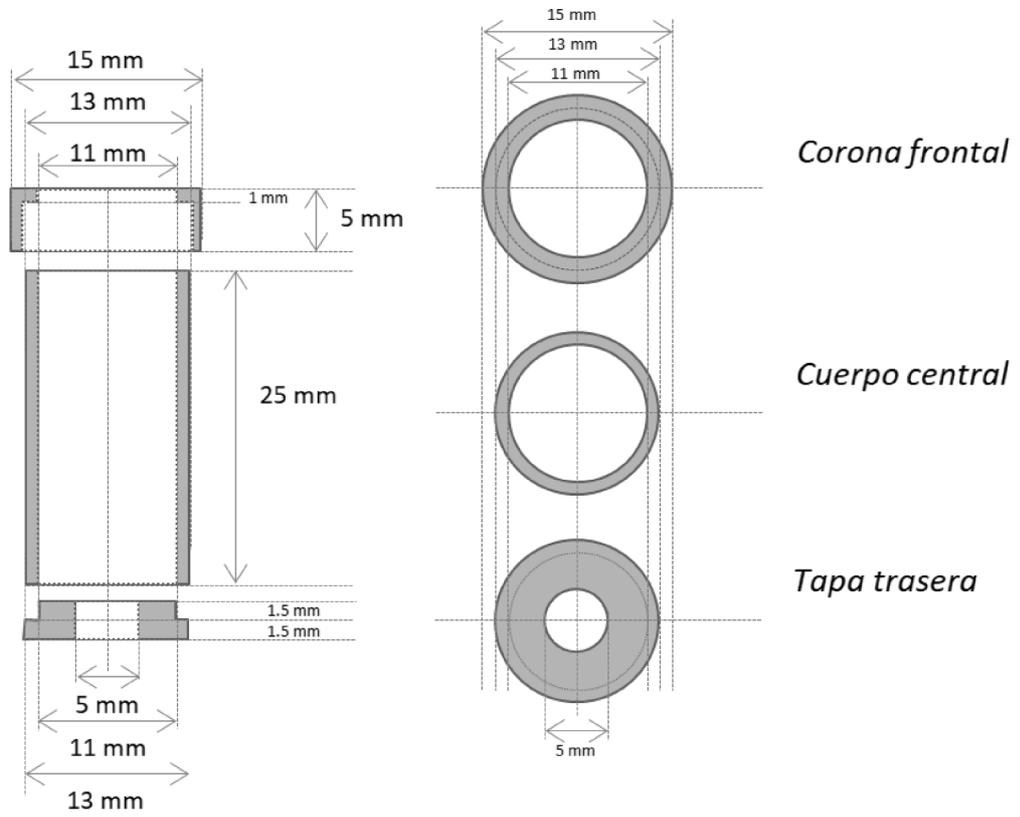


FIG. 3

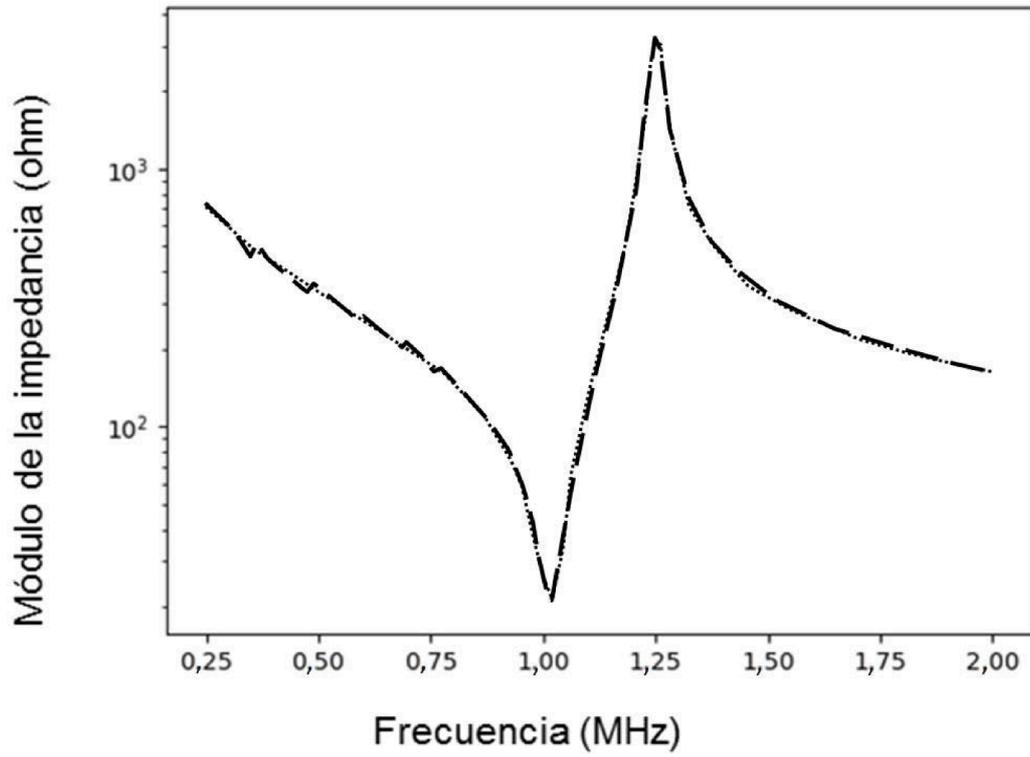


FIG. 4

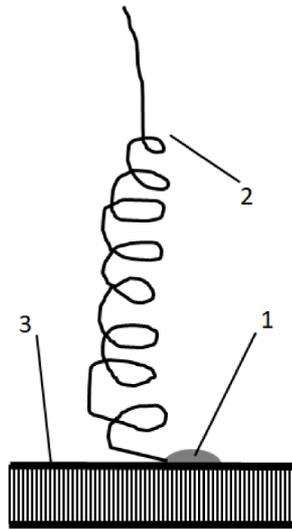


FIG. 5

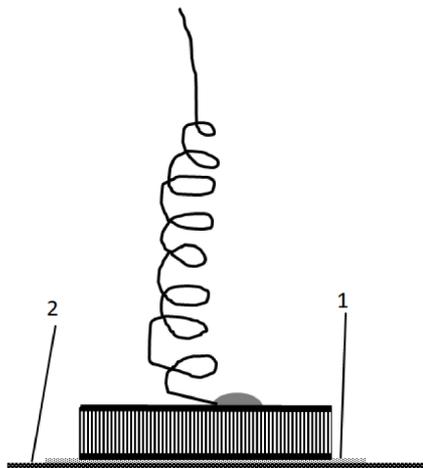


FIG. 6

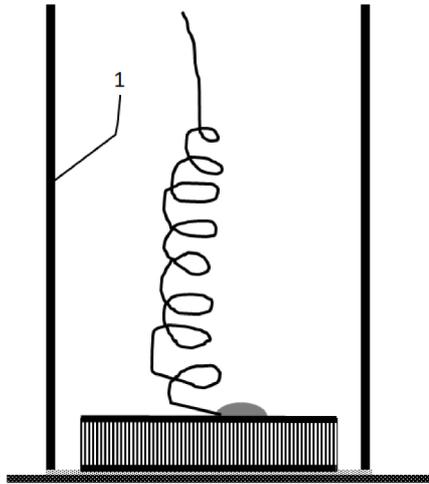


FIG. 7

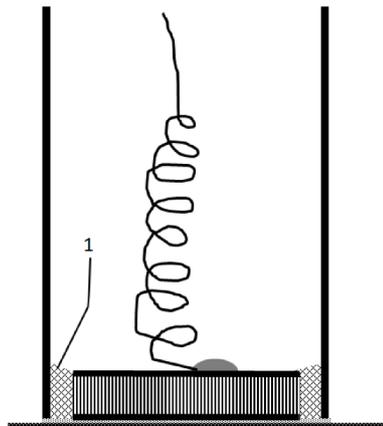


FIG. 8

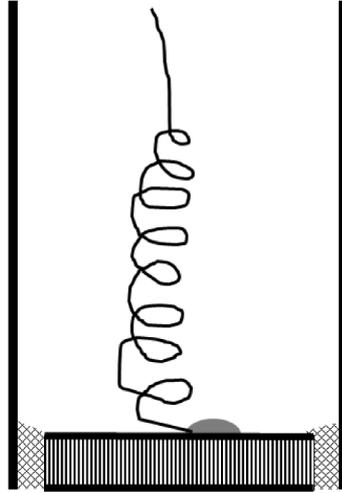


FIG. 9

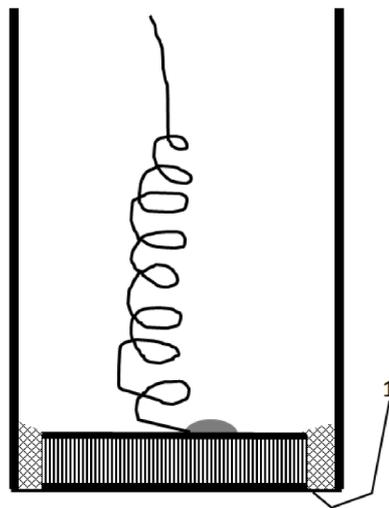


FIG. 10

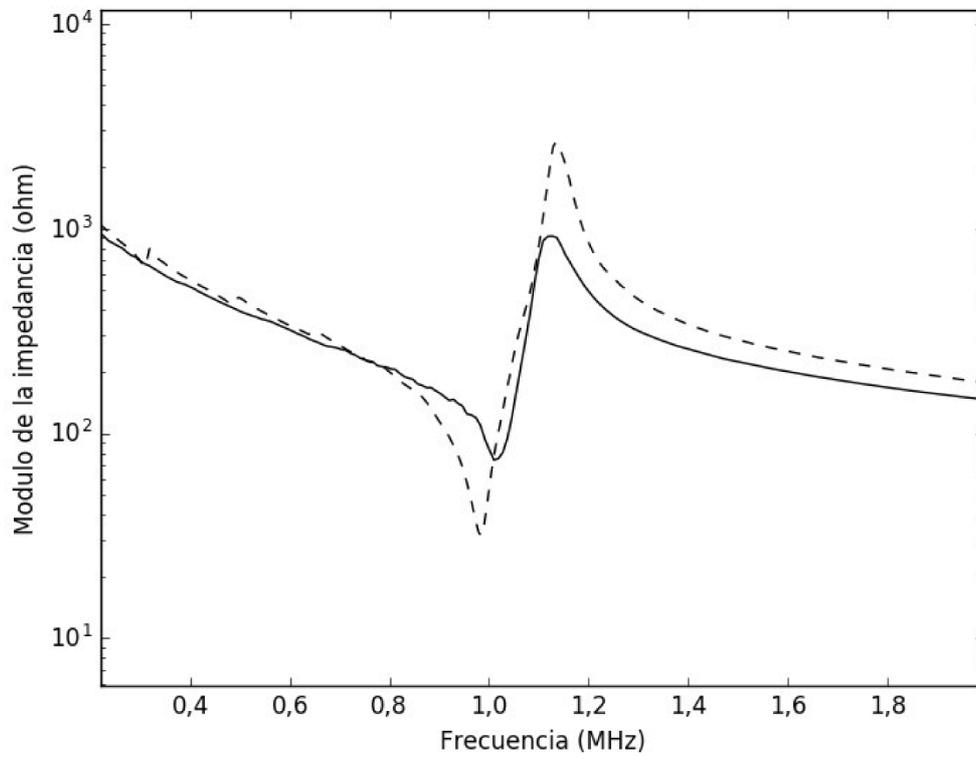


FIG. 11

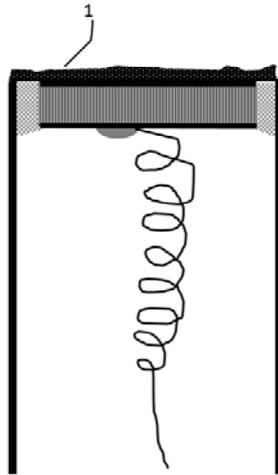


FIG. 12

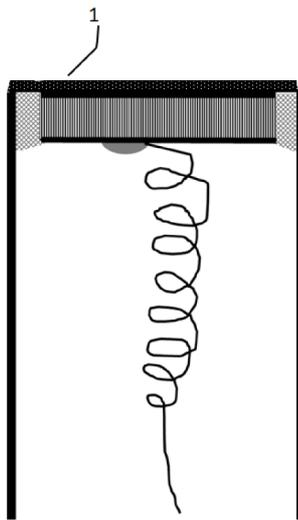


FIG. 13

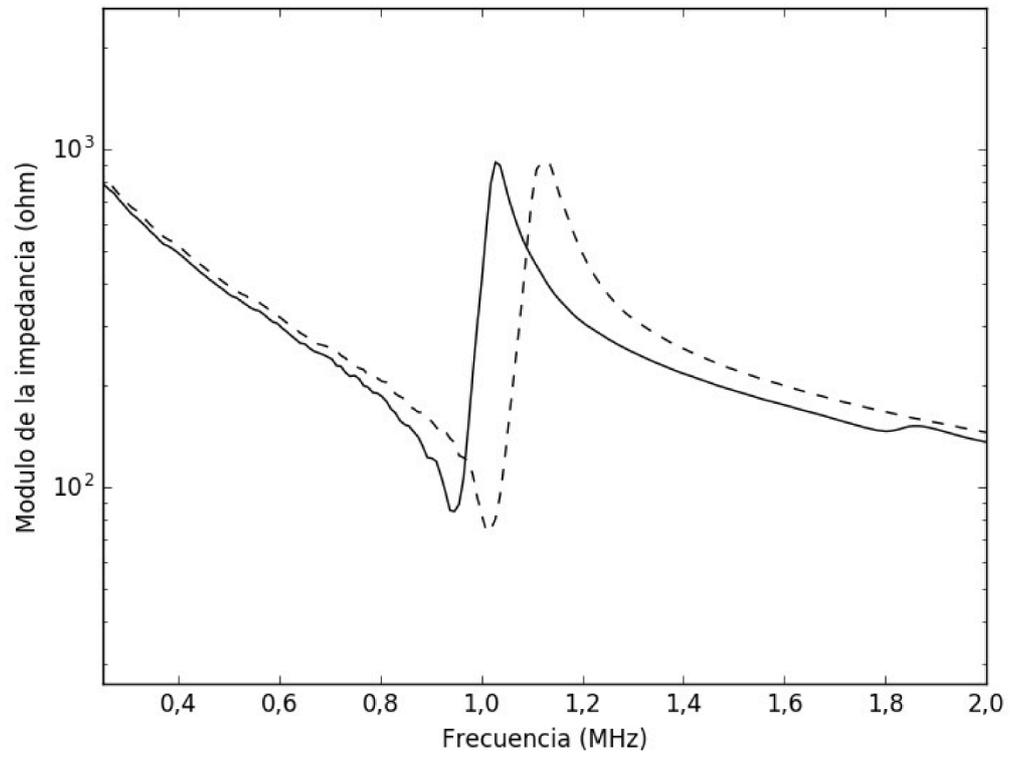


FIG. 14

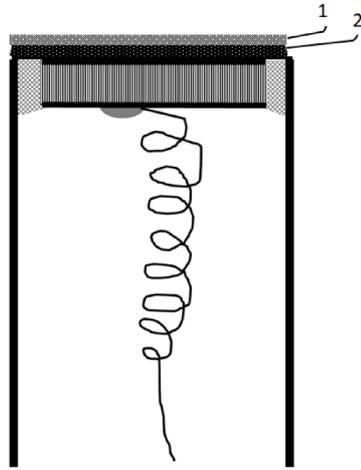


FIG. 15

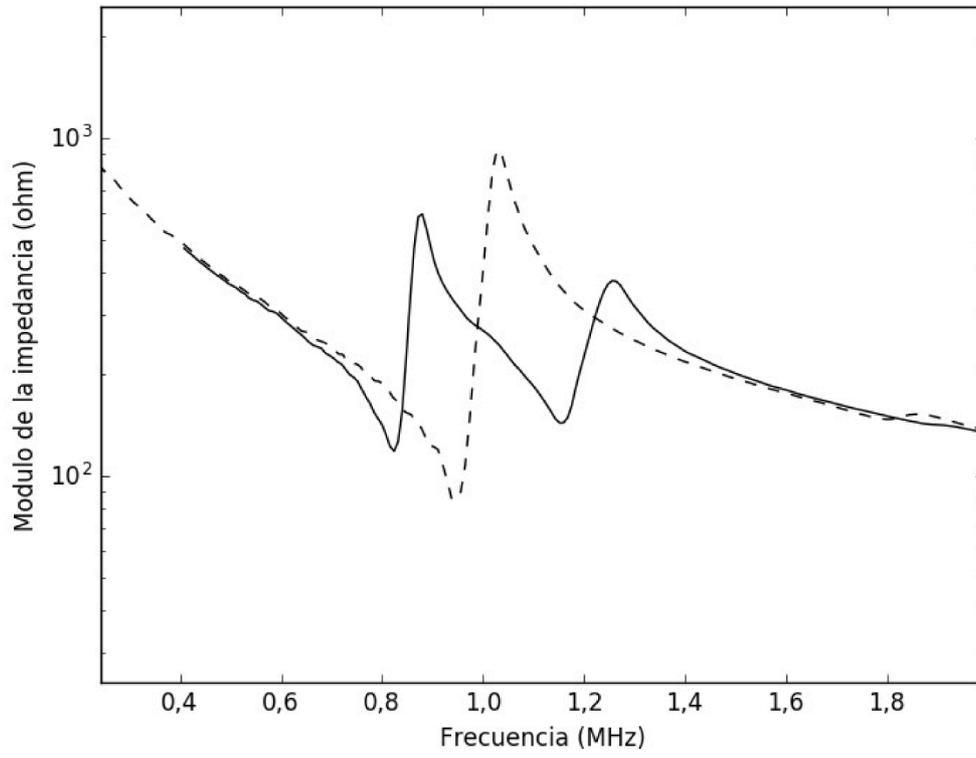


FIG. 16

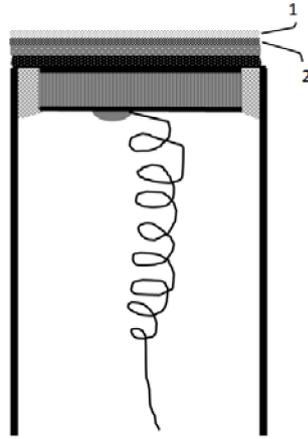


FIG. 17

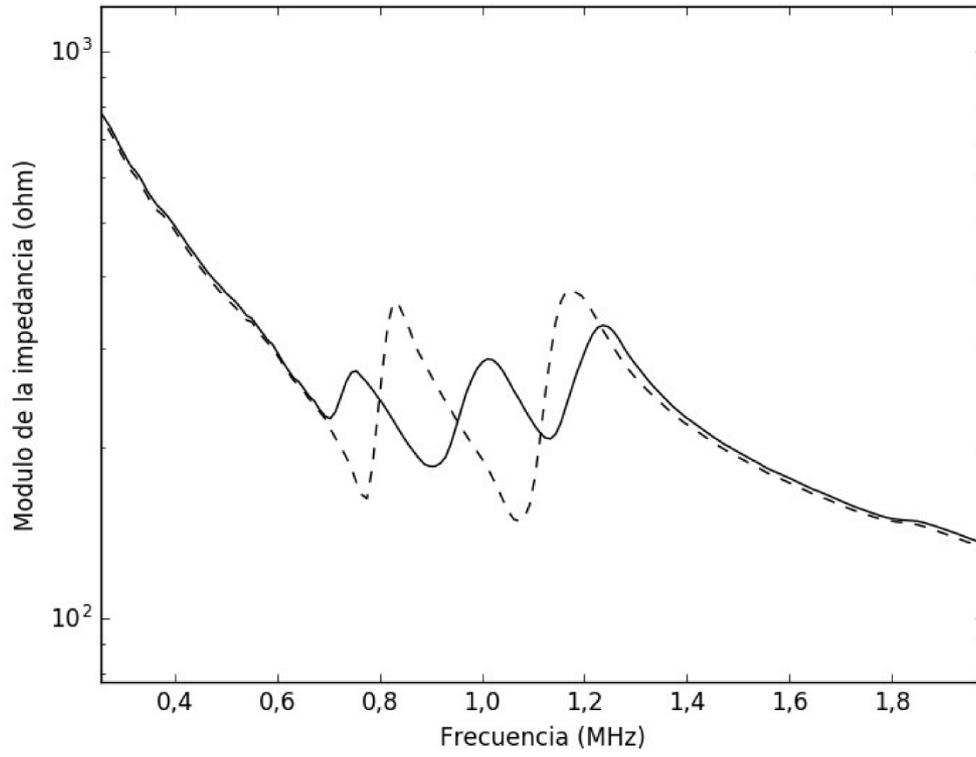


FIG. 18

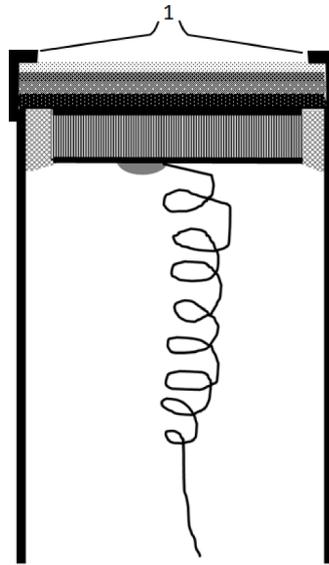


FIG. 19

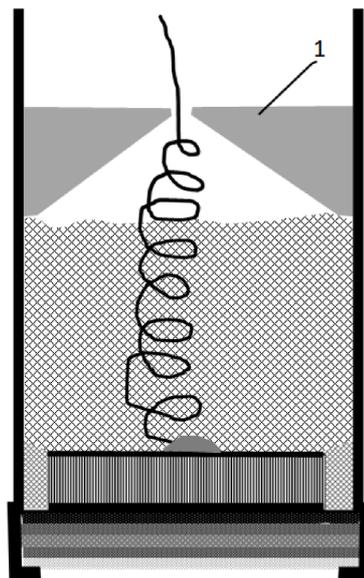


FIG. 20

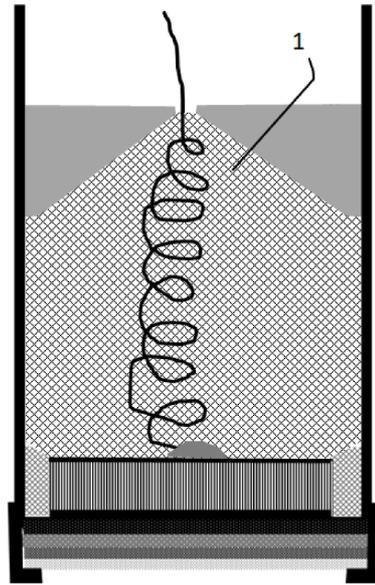


FIG. 21

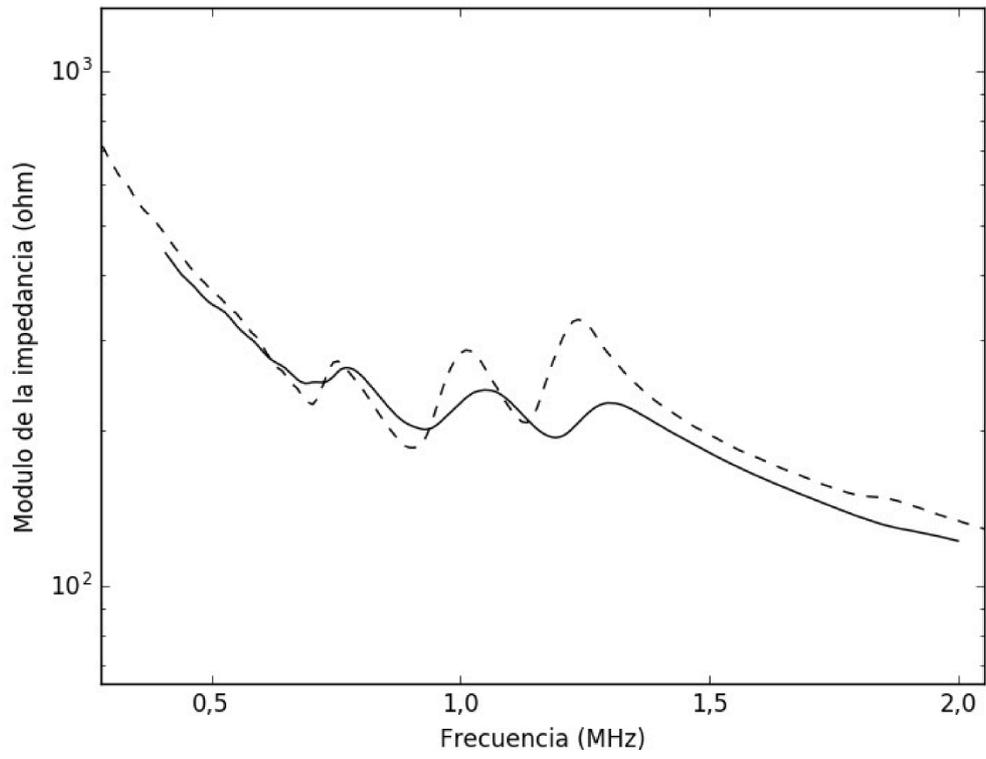


FIG. 22

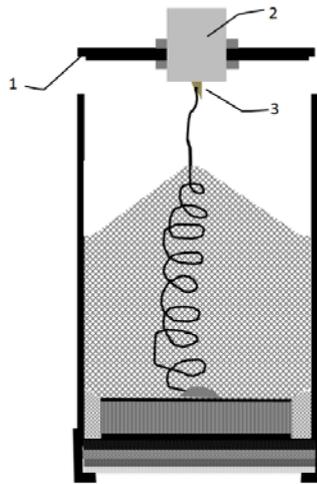


FIG. 23

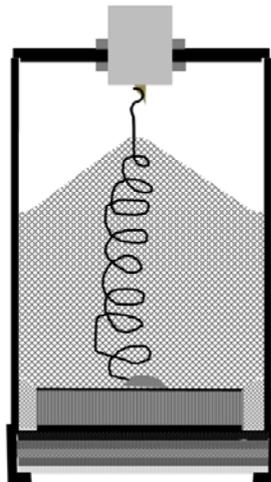


FIG. 24

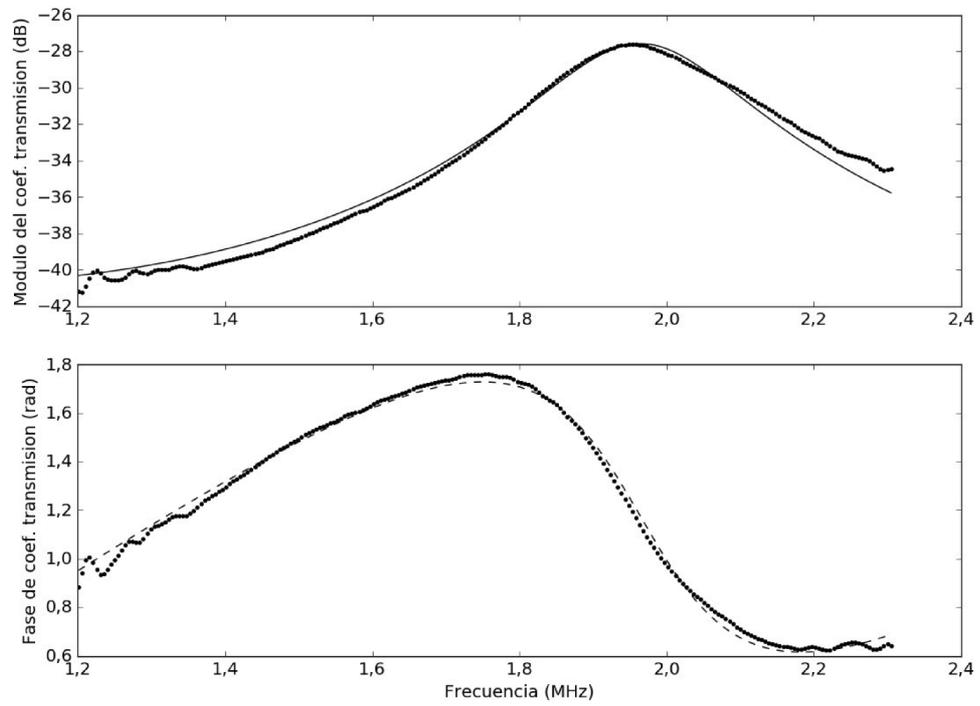


FIG. 25

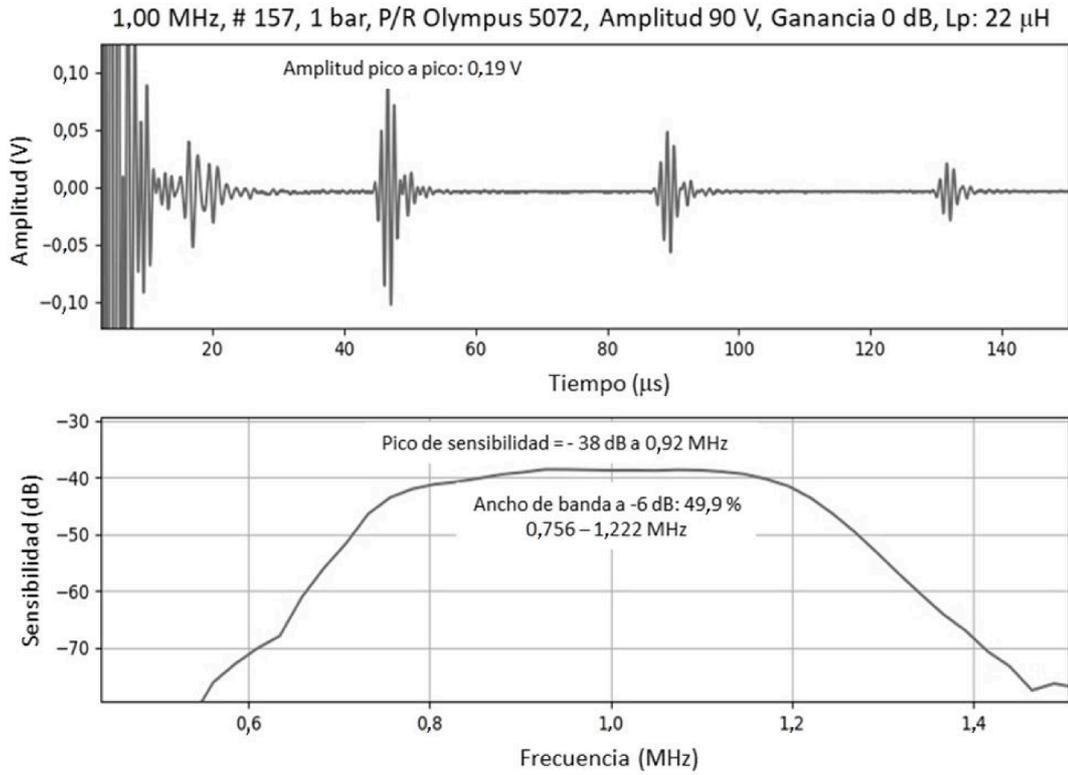


FIG. 26

