

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 783**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/04** (2006.01)  
**G01N 29/11** (2006.01)  
**G01N 29/22** (2006.01)  
**G01N 29/24** (2006.01)  
**G10K 11/26** (2006.01)  
**G01H 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2017** E 17152825 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019** EP 3214439

54 Título: **Sistema de ensayo por ultrasonidos que utiliza un detector de fibra óptica, método de ensayo por ultrasonidos y objeto estructural de aeronave**

30 Prioridad:

**29.02.2016 JP 2016037512**

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

**18.06.2020**

73 Titular/es:

**SUBARU CORPORATION (100.0%)**  
**1-20-8, Ebisu, Shibuya-ku**  
**Tokyo 150-8554, JP**

72 Inventor/es:

**TAKAHASHI, KOHEI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 767 783 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**

Sistema de ensayo por ultrasonidos que utiliza un detector de fibra óptica, método de ensayo por ultrasonidos y objeto estructural de aeronave

5 Las formas de realización descritas en la presente memoria se refieren en general a un sistema de ensayo por ultrasonidos, un método de ensayo por ultrasonidos y un objeto estructural de aeronave.

10 Convencionalmente, la ultrasonografía se conoce como un método de inspección no destructivo de un elemento estructural de una aeronave o similar. Además, también se conoce una técnica que utiliza un detector FBG (rejilla de fibra de Bragg) como un detector para el ensayo por ultrasonidos (por ejemplo, consúltese la publicación de solicitud de patente japonesa JP 2005-257289 A y la publicación de solicitud de patente japonesa JP 2006-132952 A). La utilización de un detector FBG como detector para recibir una onda de ultrasonidos puede mejorar la precisión de la detección de las ondas de ultrasonidos comparado con un caso en el que se utiliza un transductor de ultrasonidos como detector.

15 Sin embargo, un detector FBG tiene directividad de recepción. De forma específica, un detector FBG sólo puede recibir una onda de ultrasonidos, que se propague hacia la dirección aproximadamente longitudinal de la fibra. De este modo, cuando un detector FBG se utiliza como un detector para recibir una onda de ultrasonidos, es difícil recibir con alta precisión no sólo una onda de ultrasonidos que se propague desde la dirección perpendicular a la dirección longitudinal del detector FBG, sino también una onda de ultrasonidos que se propaga desde una dirección inclinada más de un determinado ángulo con la dirección longitudinal del detector FBG.

20 Por lo tanto, cuando es difícil disponer muchos detectores FBG o asegurar un espacio para disponer un detector FBG, existe un problema con que no se pueda detectar una onda de ultrasonidos utilizando un detector FBG. Por el contrario, incluso cuando se dispone un detector FBG, se puede detectar una onda de ultrasonidos sólo en un rango limitado.

25 En particular, cuando un objetivo de un ensayo por ultrasonidos es un objeto estructural de aeronave que tiene elementos de refuerzo, tales como largueros, costillas y larguerillos, unidos a un panel (que también se llama revestimiento), puede ser difícil asegurar un espacio para disponer un detector FBG debido a la interferencia con los numerosos elementos de refuerzo y cables.

30 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es permitir detectar las ondas de ultrasonidos con una precisión más alta que en ultrasonografía, sin ser restringido por la directividad de recepción de un detector para recibir una onda de ultrasonidos y/o un espacio para disponer el detector para recibir una onda de ultrasonidos.

35 El documento EP 0 397 960 A1 describe una técnica para acoplar la energía de ultrasonidos a una fibra óptica que se puede utilizar dentro de un vaso sanguíneo del cuerpo de un paciente.

40 Guo et al. describen detectores de fibra óptica para la supervisión de la salud estructural de plataformas aéreas (Sensors, vol. 11, no. 12, páginas 3687-3705, issn: 1424-8220, doi: 10.3390/s110403687). Lee et al. describen un cabezal de una placa detectora de acrilato de guiado de ondas para un detector acústico-óptico de rejilla de fibra de Bragg (Scripta Materialia, vol. 53, no. 10, páginas 1181-1186, 2005).

45 En general, de acuerdo con una forma de realización, un sistema de ensayo por ultrasonidos incluye un cuerpo de propagación de ultrasonidos y un detector de fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1.

50 El cuerpo de propagación de ultrasonidos modifica al menos una dirección de desplazamiento de al menos una onda de ultrasonidos que se propaga en un objetivo de ensayo. El detector de fibra óptica detecta la al menos una onda de ultrasonidos, de la cual la al menos una dirección de desplazamiento ha sido modificada mediante el cuerpo de propagación de ultrasonidos.

55 Además, se proporciona, de acuerdo con una forma de realización, un objeto estructural de aeronave al que se ha unido el sistema de ensayo por ultrasonidos anteriormente mencionado.

60 Además, de acuerdo con una forma de realización, un método de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la reivindicación 10 incluye: modificar al menos una dirección de desplazamiento de al menos una onda de ultrasonidos, que se propaga en el objetivo de ensayo, mediante la disposición de un cuerpo de propagación de ultrasonidos en un objetivo de ensayo; y detectar la al menos una onda de ultrasonidos, de la cual la al menos una dirección de desplazamiento ha sido modificada por el cuerpo de propagación de ultrasonidos, mediante un detector de fibra óptica.

65 Además, el método de ensayo por ultrasonidos incluye: disponer un detector de fibra óptica en una superficie de un objetivo de ensayo en una dirección en la que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica no sea paralela a

la superficie del objetivo de ensayo; y detectar al menos una onda de ultrasonidos mediante el detector de fibra óptica. La al menos una onda de ultrasonidos se propaga en el objetivo de ensayo.

En los dibujos adjuntos:

5 La FIGURA 1 muestra una estructura de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 2 es una vista superior de los principales elementos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrados en la FIGURA 1;  
 La FIGURA 3 es una gráfica que muestra una señal de detección, obtenida mediante un detector FBG colocado en el método convencional de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se haga paralela a la superficie del objetivo de ensayo, de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo en la dirección de la longitud del detector FBG;  
 La FIGURA 4 es una gráfica que muestra una señal de detección, obtenida mediante un detector FBG colocado en el método convencional de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se haga paralela a la superficie del objetivo de ensayo, de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo en una dirección perpendicular a la dirección de la longitud del detector FBG;  
 La FIGURA 5 es una gráfica que muestra una señal de detección de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo en la primera dirección, obtenida mediante un detector FBG colocado de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se haga perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo;  
 La FIGURA 6 es una gráfica que muestra una señal de detección de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo en la segunda dirección perpendicular a la primera dirección, obtenida mediante un detector FBG colocado de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se haga perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo;  
 La FIGURA 7 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo de la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 8 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 7;  
 La FIGURA 9 es una vista seccional longitudinal que muestra además otro ejemplo de estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 10 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 9;  
 La FIGURA 11 es una vista seccional longitudinal que muestra las estructuras de un detector de fibra óptica y un cuerpo de propagación de ultrasonidos incluidos en un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la segunda forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 12 es una vista superior del detector de fibra óptica y del cuerpo de propagación de ultrasonidos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrado en la FIGURA 11;  
 La FIGURA 13 es una vista frontal que muestra las estructuras de los principales elementos que representan las características de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 14 es una vista superior de los principales elementos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrado en la FIGURA 13;  
 La FIGURA 15 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo de la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 16 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 15;  
 La FIGURA 17 es una vista seccional longitudinal que muestra adicionalmente otro ejemplo de la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención;  
 La FIGURA 18 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 17; y  
 La FIGURA 19 muestra las estructuras de los principales elementos que representan las características de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la cuarta forma de realización de la presente invención.  
 Se describirán un sistema de ensayo por ultrasonidos, un método de ensayo por ultrasonidos y un objeto estructural de aeronave de acuerdo con las formas de realización de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos.

60 La FIGURA 1 muestra una estructura de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 2 es una vista superior de los principales elementos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrado en la FIGURA 1.

65 Un sistema de ensayo por ultrasonidos 1 realiza un ensayo no destructivo de un objetivo de ensayo O utilizando ondas de ultrasonidos. Ejemplos del objetivo de ensayo O incluyen un objeto estructural que compone un objeto en

movimiento, tal como un vehículo ferroviario, una nave espacial, un automóvil, un barco, una pala de un molino de viento, además de una aeronave. Como era de esperar, un edificio también puede ser el objetivo de ensayo O.

En particular, es importante inspeccionar periódicamente la existencia de daños en un objeto estructural de aeronave que requiere un alto grado de seguridad. Por lo tanto, también se puede producir un objeto estructural de aeronave al que se le ha unido como una parte, el sistema de ensayo por ultrasonidos 1. De forma específica, el sistema de ensayo por ultrasonidos 1 se puede unir a un objeto estructural de aeronave de forma continua e inspeccionar de forma periódica la existencia de un defecto, tal como un daño, en el objeto estructural de aeronave. En ese caso, el objetivo de ensayo O es una parte que compone el objeto estructural de aeronave. En un objeto estructural de aeronave, es especialmente importante detectar el desprendimiento en una parte adhesiva entre partes adheridas con fijadores o un adhesivo.

Por ejemplo, cuando un objeto estructural ala que tiene elementos de refuerzo, tales como largueros, costillas y larguerillos, unidos a un panel es el objetivo de ensayo O, el propio panel y una parte adherida entre el panel y un elemento de refuerzo pueden ser un objetivo de detección de la existencia de un defecto, tal como un daño o un desprendimiento. En el ejemplo mostrado las figuras, un panel O2 al que se ha unido un larguerillo O1 es el objetivo de ensayo O.

Cuando el objetivo de ensayo O es un objeto estructural de aeronave, tal como el panel O2 al que se ha unido el larguerillo O1, un material del objetivo de ensayo O es un material compuesto, tal como el GFRP (plástico reforzado con fibra de vidrio) o el CFRP (plástico reforzado con fibra de carbono), o un metal, tal como el aluminio o el magnesio.

El sistema de ensayo por ultrasonidos 1 puede estar compuesto de un sistema de control 2, al menos un actuador 3, un cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, un detector de fibra óptica 5 y un sistema de procesamiento de señales 6.

El sistema de control 2 es un circuito para controlar el actuador 3 de modo que se transmita una onda de ultrasonidos desde el actuador 3. Los elementos que procesan la información digital fuera del sistema de control 2 pueden estar compuestos por un circuito informático. Además, un dispositivo de entrada 2A se puede acoplar al sistema de control 2 de modo que el usuario pueda realizar manualmente las operaciones necesarias.

El actuador 3 es un transductor de ultrasonidos que emite ondas de ultrasonidos hacia el objetivo de ensayo O y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. De forma específica, el actuador 3 es un elemento piezoeléctrico, tal como una cerámica piezoeléctrica, que convierte una salida de señal de control del sistema de control 2 en una onda de ultrasonidos y transmite la onda de ultrasonidos. Las posiciones y el número de los actuadores 3 se pueden determinar preferiblemente de acuerdo con un área de ensayo. En el ejemplo mostrado en las figuras, los cuatro actuadores 3 se han dispuesto de modo que rodeen el área de ensayo del panel O2 al que se ha unido el larguerillo O1.

El cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 es una parte de unión para unir el detector de fibra óptica 5, utilizado como un detector para detectar las ondas de ultrasonidos que se propagan en el objetivo de ensayo O, de forma indirecta en una superficie del objetivo de ensayo O. En particular, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 tiene una estructura que permite modificar las direcciones de desplazamiento de las ondas de ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O. Por lo tanto, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 también sirve como medio para propagar las ondas de ultrasonidos.

El detector de fibra óptica 5 detecta las ondas de ultrasonidos que se propagan en el objetivo de ensayo O. El detector de fibra óptica 5 se une de forma indirecta en la superficie del objetivo de ensayo O a través del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. Por lo tanto, el detector de fibra óptica 5 detecta una onda de ultrasonidos cuya dirección de desplazamiento se ha modificado por el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

El detector de fibra óptica 5 puede detectar al menos una de una onda de ultrasonidos, que ha transmitido un defecto existente dentro del objetivo de ensayo O, y una onda de ultrasonidos, que se ha reflejado en el defecto, de acuerdo con el algoritmo para detectar el defecto. Es decir, el detector de fibra óptica 5 puede detectar al menos una de una onda transmitida por ultrasonidos, que ha transmitido un defecto, y una onda reflejada por ultrasonidos, que se ha reflejado en el defecto.

Por lo tanto, el detector de fibra óptica 5 se dispone en una posición en la que se puede detectar al menos una de una onda transmitida por ultrasonidos y una onda reflejada por ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O, a partir de un área de ensayo. En el ejemplo mostrado en las figuras, el detector de fibra óptica 5 se ha dispuesto en el centro del área de ensayo rodeada por los cuatro actuadores 3.

Ejemplos típicos del detector de fibra óptica 5 incluyen un detector PS-FBG (FBG con cambio de fase) además de un detector FBG. Un detector FBG detecta una onda de ultrasonidos detectando un cambio de las características de transmisión de la luz o de las características de reflexión de la luz de un FBG, que varían debido al cambio de

deformación provocado por la propagación de la vibración en el objetivo de ensayo O, como una señal óptica. Por otra parte, un PS-FBG es un FBG en el que se ha introducido un cambio de fase local en un cambio periódico de un índice de refracción. Por lo tanto, cuando se utiliza un detector PS-FBG, se puede mejorar radicalmente la sensibilidad de detección de las ondas de ultrasonidos, en comparación con un caso donde se utiliza un detector FBG.

En el detector de fibra óptica 5, tal como un detector FBG y un detector PS-FBG, se detecta un cambio de deformación debido a la vibración de ultrasonidos, como una señal óptica, utilizando un cambio de las características ópticas debido a la diminuta expansión y contracción en la dirección de la longitud de la fibra. Por lo tanto, las ondas de ultrasonidos, que se propagan en la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5, se pueden detectar con una precisión satisfactoria. Por otra parte, es difícil detectar las ondas de ultrasonidos, que se propagan en una dirección perpendicular a la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5, con una precisión satisfactoria. Es decir, el detector de fibra óptica 5 tiene directividad de recepción. De este modo, acercar lo más posible la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5, que es una dirección de cambio de las características ópticas, a una dirección de propagación de las ondas de ultrasonidos, conduce a la mejora de la precisión de detección de las ondas de ultrasonidos para detectar las ondas de ultrasonidos utilizando el detector de fibra óptica 5.

Sobre la base de que el detector de fibra óptica 5 se une sobre la superficie del objetivo de ensayo O con un adhesivo o un método similar mediante el método convencional, la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 se hace paralela a la superficie del objetivo de ensayo O. Por lo tanto, un área en la que se pueden detectar ondas de ultrasonidos utilizando el detector de fibra óptica 5 es generalmente un área en forma de sector que se extiende con un ángulo predeterminado con centrado en la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5.

Por el contrario, cuando el detector de fibra óptica 5 se une de forma indirecta al objetivo de ensayo O a través del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, el detector de fibra óptica 5 se puede unir al objetivo de ensayo O en una dirección en la que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 no es paralela a la superficie del objetivo de ensayo O. En otras palabras, incluso cuando las ondas de ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O, no se propagan en la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5, las direcciones de desplazamiento de las ondas de ultrasonidos se pueden modificar a la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 haciendo que el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 tenga una estructura apropiada.

De este modo, cuando es difícil de asegurar un espacio para colocar el detector de fibra óptica 5, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer en una dirección donde la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 sea una dirección deseada. Es decir, es posible obtener flexibilidad en la dirección del detector de fibra óptica 5 que tiene la directividad de recepción.

En particular, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer de modo que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 se haga perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O. En este caso, un detector de fibra óptica 5 puede detectar ondas de ultrasonidos, que se propagan desde todas direcciones hacia el detector de fibra óptica 5, haciendo que el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 tenga una estructura apropiada. De forma específica, las direcciones de desplazamiento de las ondas de ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O desde varias direcciones hacia el detector de fibra óptica 5, se pueden modificar a la misma dirección de acuerdo con la directividad de recepción del detector de fibra óptica 5, mediante el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

Una onda de ultrasonidos especialmente preferible es una onda Lamb, desde un punto de vista de mejorar la SNR (relación señal/ruido) y la precisión de una señal óptica que se obtiene mediante el detector de fibra óptica 5 como una señal de detección de ultrasonidos. Una onda Lamb es una onda que se propaga en una placa delgada cuyo espesor no supera la mitad de la longitud de onda de la onda de ultrasonidos. Por lo tanto, es preferible transmitir una onda Lamb desde el actuador 3.

Por otro lado, es importante permitir que el detector de fibra óptica 5 detecte una onda de ultrasonidos en un estado en el que se hayan mantenido las características de una onda Lamb, que se propaga en el objetivo de ensayo O. Para ese propósito, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 necesita tener una estructura mediante la cual la vibración por una onda de ultrasonidos se pueda propagar desde el objetivo de ensayo O hasta el detector de fibra óptica 5 en un estado en el que se hayan mantenido las características de una onda Lamb, que se propaga en el objetivo de ensayo O. Cuando una onda Lamb se propaga en un medio en forma de bloque cuyo espesor del tablero es relativamente grueso en comparación con una longitud de onda, las características de una onda Lamb se pierden.

Por lo tanto, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 puede estar compuesto de una placa delgada 7 para modificar la dirección de desplazamiento de una onda Lamb, que se propaga en el objetivo de ensayo O, según se muestra en las figuras. En particular, cuando el espesor de la placa delgada 7 no es más de la mitad de una longitud de onda de una onda Lamb, una onda de ultrasonidos se puede conducir a la placa delgada 7 en un estado de la onda Lamb. De este modo, el detector de fibra óptica 5 también puede detectar una onda Lamb cuya dirección de desplazamiento se haya modificado mediante la placa delgada 7. Como un ejemplo específico, en el caso de una

onda Lamb cuya frecuencia sea de 100 kHz, una longitud de onda de la onda Lamb es de aproximadamente 15 mm. Por lo tanto, lo que se necesita es ajustar el espesor del tablero de la placa delgada 7 a aproximadamente de 6 mm a 7 mm.

5 Téngase en cuenta que, incluso cuando el espesor de la placa delgada 7 sea más grueso que la mitad de una longitud de onda de una onda Lamb, una onda de ultrasonidos se puede conducir a la placa delgada 7 en un estado en el que las características de una onda Lamb se hayan mantenido hasta cierto punto. De forma específica, hay una relación de que cuanto más supera el espesor de la placa delgada 7 la mitad de una longitud de onda de una onda Lamb, más se deteriora la precisión de detección de una onda de ultrasonidos por el detector de fibra óptica 5, puesto que una variación en la forma de onda de la onda de ultrasonidos se hace mayor.

10 Por otra parte, puede ser necesario aumentar el espesor de la placa delgada más de la mitad de una longitud de onda de una onda Lamb para asegurar las resistencias de la placa delgada 7. Por lo tanto, siempre y cuando la precisión de detección de las ondas de ultrasonidos por el detector de fibra óptica 5 se pueda asegurar, el espesor de la placa delgada 7 se puede hacer más grueso que la mitad de una longitud de onda de una onda Lamb. Es decir, el espesor de la placa delgada 7 se puede determinar en función de las resistencias requeridas para la placa delgada 7 y de la precisión de detección de las ondas de ultrasonidos por el detector de fibra óptica 5, con el fin de que se cumplan ambas condiciones. De forma específica, se puede determinar que el espesor de la placa delgada 7 es más delgado que un espesor necesario para mantener la precisión de detección de las ondas de ultrasonidos por el detector de fibra óptica 5, y que es más grueso que el espesor necesario para asegurar las resistencias.

15 Un material de la placa delgada 7 es arbitrario siempre y cuando una onda Lamb se pueda propagar en la placa delgada 7. Como un ejemplo específico, la placa delgada 7 se puede fabricar de un material compuesto o de metal, tal como el aluminio, el titanio, el magnesio o el hierro.

20 Cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se compone de la placa delgada 7, especialmente cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se compone de la placa delgada 7 cilíndrica cuyo diámetro interior y diámetro exterior se hacen pequeños gradualmente desde el lado del objetivo de ensayo O hacia el lado del detector de fibra óptica 5, según se muestra en las figuras, se hace posible modificar la dirección de desplazamiento de una onda Lamb, que se propaga en el objetivo de ensayo O desde cualquier dirección de 360 grados hacia el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

25 Además, cuando el diámetro exterior y el diámetro interior de la placa delgada 7 cilíndrica en el lado del detector de fibra óptica 5 son constantes y el eje central de la placa delgada 7 cilíndrica se hace perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O, la dirección de desplazamiento de una onda Lamb se puede modificar a la dirección perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O. De este modo, la dirección de desplazamiento de una onda Lamb, que se propaga en el objetivo de ensayo O, se puede modificar a la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5, en un estado en el que el detector de fibra óptica 5 se ha dispuesto de modo que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 se haga perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O.

30 Como ejemplo más preferido, una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 puede tener una forma de embudo invertido cuya sección longitudinal sea una línea ligeramente curvada sin un borde. Es decir, una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 puede no tener costuras. En este caso, cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 tiene una estructura en la que una parte final del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 en el lado del objetivo de ensayo O es tangente a la superficie del objetivo de ensayo O en la medida de lo posible, formando un borde, es decir, una parte en la que la curvatura se modifica de forma discontinua, se puede evitar no sólo dentro del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, sino también entre la superficie del objetivo de ensayo O y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. De este modo, se puede reducir una cantidad de atenuación de una onda Lamb que se propaga hacia el detector de fibra óptica 5.

35 Cuando una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 tiene forma de embudo invertido según se muestra en las figuras, es realista disponer el detector de fibra óptica 5 dentro de la placa delgada 7 cilíndrica en el lado donde el diámetro interior de la placa delgada 7 cilíndrica es pequeño, desde el punto de vista de hacer que la vibración de la placa delgada 7 por una onda Lamb se propague en el detector de fibra óptica 5 en una dirección apropiada. En otras palabras, es práctico utilizar un extremo abierto de la placa delgada 7 cilíndrica, en el lado donde el diámetro interior de la placa delgada 7 cilíndrica es pequeño, como una abertura de inserción para insertar el detector de fibra óptica 5, desde el punto de vista de permitir detectar con certeza incluso una onda Lamb, propagándose desde cualquier dirección, mediante el detector de fibra óptica 5.

40 En ese caso, el detector de fibra óptica 5 se fija a la cara interior de la placa delgada 7 cilíndrica a través de un medio 8.

45 De forma específica, el detector de fibra óptica 5 entra en contacto de forma indirecta con la placa delgada 7 a través del medio 8. Se puede utilizar un adhesivo de utilización general como medio 8 para fijar el detector de fibra óptica 5 a la placa delgada 7. Como alternativa, se puede utilizar una soldadura como medio 8. Téngase en cuenta que, cuando el detector de fibra óptica 5 se fija a la placa delgada 7 mediante soldadura, es apropiado utilizar una

soldadura de baja temperatura que se funda a una temperatura a la que se pueda mantener la calidad del detector de fibra óptica 5.

5 Como otro ejemplo, el medio 8 también se puede fabricar de una resina rígida y columnada, tal como el plástico. En ese caso, el detector de fibra óptica 5 se puede fijar al cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 mediante un método de protección del detector de fibra óptica 5 con un tubo de refuerzo fabricado de un material, tal como el acero inoxidable, que tenga mayores resistencias que las de la resina, e introducir el detector de fibra óptica 5, protegido por el tubo de refuerzo, en el medio rígido 8, tal como el plástico.

10 Téngase en cuenta que, se ha confirmado mediante ensayos que una onda de ultrasonidos, tal como la onda Lamb, que se propaga en la placa delgada 7, se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5 incluso cuando el detector de fibra óptica 5 se ha unido a la placa delgada 7 con una cinta adhesiva comercialmente disponible. Por lo tanto, el detector de fibra óptica 5 se puede fijar en el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 con una cinta adhesiva. Por ejemplo, cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 es la placa delgada 7 en forma de embudo invertido, según se muestra en las figuras, el detector de fibra óptica 5 se puede unir a la placa delgada 7 con una cinta adhesiva, en un estado en el que el detector de fibra óptica 5 esté en contacto directamente con el interior de la punta de la placa delgada 7.

20 El sistema de procesamiento de señales 6 es un circuito para detectar un defecto que se pueda producir en el objetivo de ensayo O, en función de una señal de detección de ultrasonidos detectada por el detector de fibra óptica 5. Para ese propósito, el sistema de procesamiento de señales 6 tiene funciones para realizar el procesamiento de señales necesario para detectar un defecto, tales como el procesamiento de reducción de ruido, el procesamiento de promediación, el procesamiento de detección de envolvente, el procesamiento de detección de picos y el procesamiento de umbrales, además del procesamiento de conversión A/D (analógico-digital), que convierte una  
25 señal de detección de ultrasonidos de una señal analógica en una señal digital. Además, el sistema de procesamiento de señales 6 tiene una función para obtener del sistema de control 2 la información necesaria para el procesamiento de señales, tal como el tiempo de transmisión de una onda de ultrasonidos y la información para la identificación del actuador 3.

30 Los elementos que procesan información digital fuera del sistema de procesamiento de señales 6 se pueden configurar mediante un ordenador. Además, se puede acoplar una pantalla 6A al sistema de procesamiento de señales 6 de modo que se pueda visualizar la información necesaria para un usuario, tal como la existencia de un defecto y la posición del defecto.

35 Según se describió anteriormente, los elementos que procesan señales eléctricas o información digital fuera del sistema de control 2 y del sistema de procesamiento de señales 6 se pueden implementar mediante circuitos que incluyan al menos un circuito integrado de semiconductores, tal como un procesador (por ejemplo, una unidad central de procesamiento (CPU)), al menos un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) y/o al menos un conjunto de puertas programables en campo (FPGA).

40 Al menos un procesador se puede configurar, leyendo instrucciones de al menos un medio tangible legible por máquina, para realizar todas o una parte de las funciones de los elementos que procesan la información digital. Un medio de este tipo puede tomar muchas formas, incluyendo, pero no limitado a, cualquier tipo de medio magnético tal como un disco duro, cualquier tipo de medio óptico tal como un disco compacto (CD) y un disco versátil digital  
45 (DVD), cualquier tipo de memoria de semiconductores (es decir, circuito de semiconductores) tal como una memoria volátil y una memoria no volátil. La memoria volátil puede incluir una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM) y una memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), y la memoria no volátil puede incluir una memoria de sólo lectura (ROM) y una memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM). El ASIC es un circuito integrado (IC) personalizado para realizar, y la FPGA es un circuito integrado diseñado para ser configurado después de la  
50 fabricación con el fin de realizar, todas o una parte de las funciones de los módulos mostrados en la FIGURA 1.

Ejemplos de un defecto incluyen una grieta dentro de una parte, o daño o desprendimiento en una parte adhesiva o una parte adherida entre las partes. Según se describió anteriormente, un defecto se puede detectar en función de una señal de detección de una onda de ultrasonidos que haya transmitido un área objetivo de ensayo del objetivo de  
55 ensayo O. Como alternativa, se puede detectar un defecto en función de una señal de detección de una onda de ultrasonidos que se haya reflejado en el área objetivo de ensayo del objetivo de ensayo O.

60 Por ejemplo, una onda de ultrasonidos, tal como una onda Lamb, se puede emitir desde un determinado actuador 3. Cuando existe un defecto entre el actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, una forma de onda de una onda de ultrasonidos que ha transmitido el defecto se modifica. De forma específica, cuando existe un defecto entre el actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, una forma de onda de una onda de ultrasonidos transmitida desde el actuador 3 se modifica de una forma de onda de una onda de ultrasonidos de cuando no existe un defecto. Una parte de la onda de ultrasonidos, cuya forma de onda se ha modificado, se propaga en el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, y se conduce al lado del detector de fibra óptica 5. Entonces, una forma de onda de  
65 onda de la onda transmitida por ultrasonidos, que ha transmitido un defecto, se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5.

Por lo tanto, una forma de onda de una onda de ultrasonidos cuando no existe un defecto entre el actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se puede registrar previamente, como una forma de onda de referencia, en el sistema de procesamiento de señales 6. Entonces, la existencia de un defecto se puede determinar mediante el procesamiento de comparación entre la forma de onda de referencia y una forma de onda de una onda de ultrasonidos que haya sido realmente detectada por el detector de fibra óptica 5.

El procesamiento de comparación entre una forma de onda detectada de una onda de ultrasonidos y una forma de onda de referencia puede ser, por ejemplo, el procesamiento por umbral que determina si una cantidad de desplazamiento entre las posiciones de pico de las formas de onda ha superado un umbral, o el procesamiento por umbral que determina si un valor del índice de una cantidad de desviación, tal como el error de mínimos cuadrados o un coeficiente de correlación cruzada, entre la forma de onda detectada y la forma de onda de referencia ha superado un umbral. De forma específica, se puede determinar que existe un defecto en una trayectoria de propagación de una onda de ultrasonidos cuando se puede determinar, mediante el procesamiento por umbral de un índice deseado, que una forma de onda detectada de la onda de ultrasonidos se ha modificado de una forma de onda de referencia. Téngase en cuenta que es razonable aplicar el procesamiento de señales, tal como el procesamiento con filtros para la eliminación de ruido, el procesamiento de promediación y el procesamiento de detección de envolvente, a las señales de forma de onda antes de la comparación entre las formas de onda, desde el punto de vista de una mejora en la precisión.

Por otra parte, cuando una onda de ultrasonidos, que se transmite desde el actuador 3, atraviesa por debajo del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, y se propaga en el objetivo de ensayo O, se refleja en un defecto, una parte de la onda reflejada por ultrasonidos del defecto se propaga en el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, y se conduce al lado del detector de fibra óptica 5. Entonces, la forma de onda de la onda reflejada por ultrasonidos reflejada en el defecto se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5. De este modo, como en el caso de una onda reflejada por ultrasonidos, la existencia de un defecto se puede detectar mediante la comparación entre una forma de onda de referencia cuando no existe un defecto y una forma de onda realmente detectada, de forma similar a una onda transmitida por ultrasonidos.

Cuando una onda de ultrasonidos se ha reflejado en un defecto, un pico que no existe originalmente aparece en una forma de onda de la onda reflejada por ultrasonidos. De este modo, cuando se utiliza una onda reflejada por ultrasonidos para la detección de un defecto, también se puede especificar una posición del defecto en función de la velocidad acústica en el objetivo de ensayo O y un período que va desde el momento de emisión de la onda de ultrasonidos en el actuador 3 hasta el momento de detección de un pico de la onda de ultrasonidos en el detector de fibra óptica 5.

Por lo tanto, se puede detectar entre cual actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 existe un defecto cuando los actuadores 3 se disponen a ambos lados del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 al que se ha unido el detector de fibra óptica 5, y las ondas de ultrasonidos, tales como las ondas Lamb, se emiten de forma secuencial desde los actuadores 3, según se muestra en las figuras. También se puede detectar entre cuales de los actuadores 3 existe un defecto. Además, cuando se detecta una onda reflejada por ultrasonidos desde un defecto, también se puede detectar una posición aproximada del defecto en función de un momento pico de la onda reflejada por ultrasonidos.

El resultado de la detección mencionada anteriormente, en el sistema de procesamiento de señales 6, de la existencia de un defecto y de una posición del defecto se puede visualizar en la pantalla 6A y se puede notificar a un usuario.

A continuación, se describirá un método de ensayo por ultrasonidos del objetivo de ensayo O utilizando el sistema de ensayo por ultrasonidos 1.

En primer lugar, los actuadores 3 y el detector de fibra óptica 5 se unen sobre una superficie del objetivo de ensayo O, tal como un objeto estructural de aeronave. El detector de fibra óptica 5 se une sobre la superficie del objetivo de ensayo O utilizando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, tal como la placa delgada 7 según se muestra en las figuras, que tiene una estructura que permite modificar la dirección de propagación de una onda de ultrasonidos, como un elemento de unión.

De este modo, el detector de fibra óptica 5 se dispone en una dirección donde una onda de ultrasonidos que se propaga en el objetivo de ensayo O se puede detectar a través de la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 que no es paralela a la superficie del objetivo de ensayo O. Preferiblemente, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer de modo que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 se haga perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O. En otras palabras, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 para modificar una dirección de desplazamiento de una parte de la onda de ultrasonidos y conducir la onda de ultrasonidos al detector de fibra óptica 5 se puede disponer en el objetivo de ensayo O de modo que el detector de fibra óptica 5 se pueda disponer en la dirección deseada.

Por otra parte, cada uno de los actuadores 3 se dispone en una posición en la que el actuador 3 pueda emitir una onda de ultrasonidos de modo que una onda de ultrasonidos transmitida por un área de ensayo del objetivo de ensayo O o una onda de ultrasonidos reflejada por un defecto que pueda ocurrir en el área de ensayo se pueda detectar mediante el detector de fibra óptica 5. Por ejemplo, los actuadores 3 se pueden disponer de modo que los actuadores 3 rodeen el área de ensayo y el detector de fibra óptica 5, según se muestra en las figuras. Los actuadores 3 y el detector de fibra óptica 5 se pueden unir de forma continua como partes del objetivo de ensayo O, tal como un objeto estructural de aeronave, de modo que se pueda realizar de forma periódica un ensayo por ultrasonidos del objetivo de ensayo O.

Cuando se realiza un ensayo por ultrasonidos del objetivo de ensayo O, se selecciona un actuador 3 para emitir una onda de ultrasonidos accionando el dispositivo de entrada 2A. Téngase en cuenta que, un orden de los actuadores 3 que emiten ondas de ultrasonidos puede estar preestablecido, y la emisión intermitente de ondas de ultrasonidos desde los varios actuadores 3 se puede poner en marcha accionando el dispositivo de entrada 2A.

Cuando se emite una onda de ultrasonidos desde el actuador 3, la onda de ultrasonidos emitida se propaga en el área de ensayo del objetivo de ensayo O. Cuando la onda de ultrasonidos, que se propaga en el objetivo de ensayo O, llega al cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 colocado en el objetivo de ensayo O, una parte de la onda de ultrasonidos, que se propaga en el objetivo de ensayo O, se propaga en el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. Por otra parte, incluso en el caso de que la onda de ultrasonidos haya pasado el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 colocado en el objetivo de ensayo O, cuando existe un defecto en el interior del objetivo de ensayo O, una parte de la onda reflejada por ultrasonidos, que retorna reflejándose en el defecto, se propaga en el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

El cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, compuesto de la placa delgada 7 o similar, tiene una estructura mediante la cual se puede modificar la dirección de desplazamiento de una onda de ultrasonidos. De este modo, la dirección de desplazamiento de la onda de ultrasonidos que se propaga en el objetivo de ensayo O se modifica por el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. De forma específica, la dirección de desplazamiento de la onda de ultrasonidos que se propaga en el objetivo de ensayo O se modifica hacia la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5. Como resultado, la onda de ultrasonidos cuya dirección de desplazamiento se ha modificado por el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5. Es decir, una onda de ultrasonidos que se propaga en el objetivo de ensayo O se puede detectar, en esencia, mediante el detector de fibra óptica 5.

Una forma de onda de vibración de una onda de ultrasonidos detectada por el detector de fibra óptica 5 se convierte en una señal óptica y se envía al sistema de procesamiento de señales 6 como una señal de detección de ultrasonidos. En el sistema de procesamiento de señales 6 se lleva a cabo el procesamiento de la señal, tal como el procesamiento de conversión A/D de una señal óptica, el procesamiento de eliminación de ruido, el procesamiento de promediación, el procesamiento de detección de envolvente y el procesamiento de detección de picos. Cuando se realiza el procesamiento de promediación, una onda de ultrasonidos se emite de forma repetida desde el mismo actuador 3 el número de veces que se agregan señales. A continuación, se obtiene el número necesario de señales de detección de ultrasonidos para el procesamiento de promediación.

Cuando se ha obtenido una señal de detección de ultrasonidos en el sistema de procesamiento de señales 6 con un SNR necesario para el procesamiento de detección de un defecto, se puede realizar el procesamiento de detección de un defecto. Cuando existe un defecto entre un determinado actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, una forma de onda de una onda de ultrasonidos transmitida por el defecto se convierte en una forma de onda que ha sido influenciada por el defecto. Por otra parte, cuando no existe un defecto entre el actuador 3 y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, una forma de onda de una onda de ultrasonidos se convierte en una forma de onda que no está influenciada por un defecto. Por lo tanto, una forma de onda de una onda de ultrasonidos que no está influenciada por un defecto se puede utilizar como una forma de onda de referencia. Entonces, en el caso de que se haya detectado una onda de ultrasonidos que tiene una forma de onda distinta de la forma de onda de referencia, se puede determinar que existe un defecto entre el actuador 3 correspondiente y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

Cuando una onda de ultrasonidos se ha reflejado en un defecto en el interior del objetivo de ensayo O, un pico, que no se observa cuando no existe un defecto, aparece en la onda reflejada por ultrasonidos. De este modo, también se puede detectar un defecto mediante la detección de picos de una onda reflejada por ultrasonidos. Además, una posición del defecto también se puede estimar en función de un momento de pico detectado a partir de la onda reflejada por ultrasonidos.

Según se describió anteriormente, en el sistema de ensayo por ultrasonidos 1 y en el método de ensayo por ultrasonidos, el detector de fibra óptica 5 utilizado como detector para detectar una onda de ultrasonidos se une al objetivo de ensayo O a través del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, tal como la placa delgada 7 procesada en forma de embudo invertido, que tiene una estructura que permite modificar la dirección de desplazamiento de una onda de ultrasonidos.

Por consiguiente, el sistema de ensayo por ultrasonidos 1 y el método de ensayo por ultrasonidos permiten obtener flexibilidad en la colocación del detector de fibra óptica 5 que tiene la directividad de recepción. Como resultado, incluso cuando sea difícil asegurar un espacio para disponer el detector de fibra óptica 5, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer modificando la dirección del detector de fibra óptica 5.

Además, el detector de fibra óptica 5 se dispone en una dirección donde la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 no es paralela a la superficie del objetivo de ensayo O. De este modo, se hace posible detectar ondas de ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O desde varias direcciones hacia el detector de fibra óptica 5, mediante el detector de fibra óptica 5 común. En particular, cuando el detector de fibra óptica 5 se dispone en una dirección en la que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 se hace perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O, las ondas de ultrasonidos que se propagan desde todos los acimuts se pueden detectar mediante el detector de fibra óptica 5 común.

Además, cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se compone de una placa delgada 7 que tiene un espesor adecuado, el detector de fibra óptica 5 puede detectar una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O. De este modo, una onda de ultrasonidos se puede detectar con una precisión satisfactoria.

Algunos ensayos fueron realizados realmente uniendo un detector FBG en un panel fabricado de CFRP con un adhesivo en una dirección donde la dirección de la longitud del detector FBG se hace perpendicular a la superficie del panel. Entonces, se comparó con el caso donde un detector FBG se ha unido a un panel en una dirección donde la dirección de la longitud del detector FBG se hace paralela a la superficie del panel como anteriormente.

La FIGURA 3 es una gráfica que muestra una señal de detección, obtenida mediante un detector FBG colocado en el método convencional de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace paralela a la superficie del objetivo de ensayo O, de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en la dirección de la longitud del detector FBG. La FIGURA 4 es una gráfica que muestra una señal de detección, obtenida mediante un detector FBG colocado en el método convencional de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace paralela a la superficie del objetivo de ensayo O, de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en una dirección perpendicular a la dirección longitudinal del detector FBG.

Por otra parte, la FIGURA 5 es una gráfica que muestra una señal de detección de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en la primera dirección, obtenida mediante un detector FBG colocado de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O. La FIGURA 6 es una gráfica que muestra una señal de detección de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en la segunda dirección perpendicular a la primera dirección, obtenida mediante un detector FBG colocado de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O.

En las FIGURA 3-6, cada eje horizontal muestra el tiempo relativo mientras que cada eje vertical muestra la amplitud relativa de la señal de detección de ultrasonidos. Téngase en cuenta que, la escala de cada eje vertical en la FIGURA 3 y la FIGURA 4 difiere de la escala de cada eje vertical en la FIGURA 5 y la FIGURA 6. De forma específica, un rango de la amplitud relativa de cada eje vertical en la FIGURA 3 y la FIGURA 4 es  $\pm 15$ . Por otra parte, un rango de la amplitud relativa de cada eje vertical en la FIGURA 5 y la FIGURA 6 es  $\pm 80$ . Cada una de las señales de detección de ultrasonidos mostradas en las FIGURA 3-6 fue obtenida al realizar el procesamiento de eliminación de ruido y el procesamiento de promediación. Cada línea continua muestra una señal antes de la detección de envolvente, mientras que cada línea discontinua muestra una señal después de la detección de envolvente.

Cuando un detector FBG se ha colocado en el método convencional de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace paralela a la superficie del objetivo de ensayo O, el detector FBG puede detectar una onda Lamb, que se propaga en la dirección de la longitud del detector FBG, con suficiente precisión según se muestra en la FIGURA 3. Sin embargo, un detector FBG colocado en el método convencional no puede detectar una onda Lamb, la cual se propaga en una dirección perpendicular a la dirección longitudinal del detector FBG, con suficiente precisión según se muestra en la FIGURA 4.

Por el contrario, cuando un detector FBG se ha colocado de modo que la dirección de la longitud del detector FBG se hace perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O, se indica no sólo que una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en la primera dirección se puede detectar con suficiente precisión según se muestra en la FIGURA 5, sino también que una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O en la segunda dirección perpendicular a la primera dirección se puede detectar con suficiente precisión según se muestra en la FIGURA 6. Téngase en cuenta que cada detector FBG se ha fijado en la superficie del objetivo de ensayo O con un adhesivo formado con una forma cónica. Por lo tanto, se puede confirmar que una onda Lamb se puede detectar mediante un detector FBG unido perpendicularmente en la superficie del objetivo de ensayo O incluso cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 no es metálico o similar, sino sólo un adhesivo. Es decir, se puede confirmar que se puede utilizar sólo un adhesivo como cuerpo de propagación de ultrasonidos 4.

La FIGURA 7 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo de la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 8 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 7.

Según se representa en la FIGURA 7 y la FIGURA 8, un cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A también puede tener una estructura en la que un cilindro cuyo diámetro exterior y diámetro interior son constantes se ha unido a la punta de una forma cónica cuyo diámetro exterior y diámetro interior se hacen gradualmente pequeños. Es decir, una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A también puede ser una estructura tubular en la que el lado del objetivo de ensayo O se estrecha parcialmente. El cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A que tiene una estructura de este tipo es fácil de fabricar ya que la dirección de curvatura es sólo la dirección circunferencial, aunque el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A tenga un borde. Téngase en cuenta que, el borde también se puede eliminar achafalando R una parte acoplada del cono circular y el cilindro.

Además, la parte final del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A en el lado del objetivo de ensayo O también se puede achafalar R para acoplar suavemente la parte cónica circular del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A a la superficie del objetivo de ensayo O.

La FIGURA 9 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo adicional de estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la primera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 10 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 9.

Según se representa en la FIGURA 9 y la FIGURA 10, un cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B también puede tener una estructura cilíndrica cuyo diámetro exterior y diámetro interior sean constantes. En este caso, la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B se hace muy simple. De este modo, los costes de fabricación del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B se pueden reducir aún más.

Téngase en cuenta que la dirección de la rama de una onda de ultrasonidos desde el objetivo de ensayo O hasta la placa delgada 7 que compone el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B es el ángulo recto. Por lo tanto, se considera preferible hacer que la dirección del espesor de la parte final de la placa delgada 7 en el lado del objetivo de ensayo O sea perpendicular o inclinada con un ángulo casi perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O, según se representa en la FIGURA 1 y la FIGURA 7, desde el punto de vista de la mejora de la precisión de la detección de la onda de ultrasonidos mediante la propagación satisfactoria de la onda de ultrasonidos en la placa delgada 7.

La FIGURA 11 es una vista seccional longitudinal que muestra las estructuras de un detector de fibra óptica y un cuerpo de propagación de ultrasonidos incluido en un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la segunda forma de realización de la presente invención. La FIGURA 12 es una vista superior del detector de fibra óptica y del cuerpo de propagación de ultrasonidos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrado en la FIGURA 11.

Un sistema de ensayo por ultrasonidos 1A en la segunda forma de realización mostrada en la FIGURA 11 y la FIGURA 12 es diferente del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización en una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4C. Otras estructuras y funciones del sistema de ensayo por ultrasonidos 1A en la segunda forma de realización no son sustancialmente diferentes de las del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización. Por lo tanto, en las figuras sólo se muestran elementos que representan las características, y las mismas estructuras o estructuras correspondientes se muestran mediante los mismos símbolos con sus explicaciones omitidas.

El cuerpo de propagación de ultrasonidos 4C del sistema de ensayo por ultrasonidos 1A en la segunda forma de realización se compone de la placa delgada 7 cilíndrica cuyo diámetro interior y diámetro exterior se hacen gradualmente pequeños desde el lado del objetivo de ensayo O hacia el lado del detector de fibra óptica 5, y el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4C tiene una estructura en la que la parte final de la placa delgada 7 cilíndrica, en el lado en el que el diámetro interior y el diámetro exterior son pequeños, se ha curvado hacia el interior. De este modo, la dirección de desplazamiento de una onda Lamb que se propaga en el objetivo de ensayo O se puede modificar a la dirección de curvatura de la placa delgada 7.

Según se describió anteriormente, cuando el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4C tiene una estructura en la que la punta del cilindro con forma de embudo invertido se ha plegado hacia el interior, la altura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4C se puede reducir. De este modo, el efecto de que el detector de fibra óptica 5 se pueda colocar incluso en un espacio más estrecho se puede obtener en la segunda forma de realización, además de los efectos similares a los de la primera forma de realización. Como era de esperar, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A representado en la FIGURA 7 o el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B representado en la FIGURA 9 también puede tener una estructura en la que la punta del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4A o del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4B se haya doblado hacia el interior.

La FIGURA 13 es una vista frontal que muestra las estructuras de los principales elementos que representan las características de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 14 es una vista superior de los principales elementos del sistema de ensayo por ultrasonidos mostrado en la FIGURA 13.

Un sistema de ensayo por ultrasonidos 1B en la tercera forma de realización mostrada en la FIGURA 13 y la FIGURA 14 es diferente del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización en una estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D. Otras estructuras y funciones del sistema de ensayo por ultrasonidos 1B en la tercera forma de realización no son, en esencia, diferentes de las del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización. Por lo tanto, en las figuras sólo se muestran los elementos que representan las características, y las mismas estructuras o estructuras correspondientes se muestran mediante los mismos símbolos con sus explicaciones omitidas.

El cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D del sistema de ensayo por ultrasonidos 1B en la tercera forma de realización se compone de varias placas delgadas 7A, 7B en las que los ángulos inclinados de las direcciones del espesor con la superficie del objetivo de ensayo O se modifican respectivamente. De forma específica, cada una de las placas delgadas 7A, 7B se ha curvado de modo que la dirección del espesor cambie desde el lado del objetivo de ensayo O hacia el lado del detector de fibra óptica 5. De este modo, las direcciones de desplazamiento de las ondas Lamb que se propagan en el objetivo de ensayo O desde varias direcciones se pueden modificar mediante las placas delgadas 7A, 7B respectivamente.

Por lo tanto, las direcciones de desplazamiento de las ondas de ultrasonidos, que se propagan en el objetivo de ensayo O desde varias direcciones, también se pueden modificar a la misma dirección de acuerdo con la directividad de recepción del detector de fibra óptica 5, mediante el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D en la tercera forma de realización. Por ejemplo, las direcciones de desplazamiento de las ondas Lamb se pueden modificar a la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 que se ha dispuesto para ser perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O según se muestra en la FIGURA 13.

En el ejemplo mostrado en la FIGURA 13 y la FIGURA 14, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D se compone de las dos placas delgadas 7A, 7B de modo que las ondas Lamb que se propagan desde dos direcciones se puedan conducir al detector de fibra óptica 5. Téngase en cuenta que el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D también puede estar compuesto de no menos de tres placas delgadas 7 de modo que las ondas Lamb que se propagan desde varias direcciones de no menos de tres direcciones se puedan conducir al detector de fibra óptica 5. Se ha confirmado empíricamente que cuando la anchura de la placa delgada 7 no es inferior de la longitud de onda de una onda Lamb, la onda Lamb se puede propagar en un estado en el que se hayan mantenido las características de la onda Lamb.

Las placas delgadas 7 se pueden fabricar para estar en contacto entre sí, y el detector de fibra óptica 5 se puede unir a una cualquiera de las placas delgadas 7 con una cinta adhesiva o un adhesivo. En ese caso, sólo la placa delgada 7 a la que se une el detector de fibra óptica 5 puede sobresalir en el lado del detector de fibra óptica 5.

Como alternativa, la placa delgada plana 7 se puede doblar con el fin de inclinarla hacia la superficie del objetivo de ensayo O, en lugar de curvar la placa delgada 7. Es decir, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D también puede estar compuesto de varias placas delgadas 7 de las cuales cada dirección de espesor no sea perpendicular a la superficie del objetivo de ensayo O. Como un ejemplo específico, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4D puede estar compuesto de modo que una sección pase a tener una forma de Y invertida. En ese caso, una parte a doblar también se puede achaflanar R de modo que no se forme ningún borde afilado.

La FIGURA 15 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo de estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 16 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 15.

Según se representa en la FIGURA 15 y la FIGURA 16, las varias placas delgadas 7A, 7B también se pueden disponer, como el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4E, en direcciones que no son simétricas con respecto a la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 como un eje. Es decir, cada dirección de anchura de las placas delgadas 7A, 7B se puede dirigir hacia una dirección deseada. De este modo, las ondas Lamb, que se propagan desde direcciones específicas, se pueden detectar de forma selectiva mediante el detector de fibra óptica 5. Lo mismo se aplica para un caso de disponer de no menos de tres placas delgadas 7.

La FIGURA 17 es una vista seccional longitudinal que muestra otro ejemplo adicional de la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos en el sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la tercera forma de realización de la presente invención. La FIGURA 18 es una vista superior que muestra la estructura del cuerpo de propagación de ultrasonidos mostrado en la FIGURA 17.

Según se representa en la FIGURA 17 y la FIGURA 18, una onda Lamb que se propaga desde una dirección se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5 a través de una placa delgada 7 curvada como un cuerpo de propagación de ultrasonidos 4F. Como era de esperar, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4F también se puede componer doblando la placa delgada 7 plana, en lugar de curvar la placa delgada 7. En este caso, el detector de fibra óptica 5 se puede colocar en la dirección deseada, incluso en un espacio estrecho, para detectar una onda Lamb desde una dirección. Es decir, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer incluso cuando el detector de fibra óptica 5 no se pueda disponer mediante el método convencional.

La FIGURA 19 muestra las estructuras de los principales elementos que representan características de un sistema de ensayo por ultrasonidos de acuerdo con la cuarta forma de realización de la presente invención.

Un sistema de ensayo por ultrasonidos 1C en la cuarta forma de realización mostrado en la FIGURA 19 es diferente del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización, en un punto que una parte del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se ha incorporado en el objetivo de ensayo O. Otras estructuras y funciones del sistema de ensayo por ultrasonidos 1C en la cuarta forma de realización no son, en esencia, diferentes de las del sistema de ensayo por ultrasonidos 1 en la primera forma de realización. Por lo tanto, en la figura sólo se muestran los principales elementos que representan las características, y las mismas estructuras o estructuras correspondientes se muestran mediante los mismos símbolos con sus explicaciones omitidas.

Cuando el objetivo de ensayo O es un material compuesto, la parte final de la placa delgada 7 que compone el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se puede colocar entre preimpregnados similares a láminas en el momento de laminar los preimpregnados. De forma específica, la placa delgada 7 se coloca sobre un cuerpo laminado de algunos preimpregnados. Posteriormente, se laminan otros preimpregnados en la parte final de la placa delgada 7. De este modo, la parte final de la placa delgada 7 se puede insertar entre los preimpregnados. Después de eso, el cuerpo laminado de preimpregnados se cura en un estado en el que la parte final de la placa delgada 7 se ha hecho un sándwich. De este modo, la placa delgada 7 fabricada de un metal o de un material compuesto se puede integrar con el objetivo de ensayo O fabricado de un material compuesto.

De este modo, en la cuarta forma de realización, una onda de ultrasonidos, tal como una onda Lamb, que se propaga dentro del objetivo de ensayo O, se puede propagar de forma satisfactoria en la placa delgada 7. Además, el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 se puede fijar firmemente al objetivo de ensayo O. Por lo tanto, la cuarta forma de realización es especialmente eficaz cuando es difícil unir el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4 al objetivo de ensayo O después de unir diversas partes.

Como era de esperar, la placa delgada 7 que tenga una estructura representada como otra forma de realización o una modificación también se puede incorporar en el objetivo de ensayo O.

Aunque se han descrito determinadas formas de realización, estas formas de realización se han presentado sólo a modo de ejemplo, y no pretenden limitar el alcance de la invención. De hecho, los métodos y sistemas novedosos descritos en la presente memoria se pueden incorporar en otras diversas formas; además, se pueden hacer varias omisiones, sustituciones y cambios en la forma de los métodos y sistemas descritos en la presente memoria sin apartarse del alcance de la invención.

Por ejemplo, en cada una de las formas de realización mencionadas anteriormente, se ha descrito un caso de ejemplo para detectar un defecto, tal como daño o desprendimiento, en una región de ensayo del objetivo de ensayo O emitiendo una onda de ultrasonidos desde el actuador 3. Como alternativa, un defecto, tal como un daño, en una región de ensayo del objetivo de ensayo O se puede detectar detectando una onda de ultrasonidos surgida en el objetivo de ensayo O. Como ejemplo específico, un defecto en una región de ensayo del objetivo de ensayo O también se puede detectar detectando un AE (emisión acústica), emitida cuando se produce una deformación o una fractura en el interior de un material compuesto o similar, mediante el detector de fibra óptica 5.

Como alternativa, el actuador 3 se puede disponer cerca del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, y una onda de ultrasonidos se puede transmitir desde el actuador 3 hacia una dirección que se aleje del cuerpo de propagación de ultrasonidos 4. Entonces, una onda reflejada por ultrasonidos, que se haya reflejado en un defecto, se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5.

Además, de acuerdo con los resultados de los ensayos de evaluación mostrados en la FIGURA 5 y la FIGURA 6, se puede confirmar que una onda Lamb se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5 incluso sin interponer el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E o 4F. Por lo tanto, el detector de fibra óptica 5 se puede disponer en la superficie del objetivo de ensayo O en una dirección en la que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica 5 no sea paralela a la superficie del objetivo de ensayo O, sin interponer el cuerpo de propagación de ultrasonidos 4, 4A, 4B, 4C, 4D, 4E o 4F. Entonces, una onda de ultrasonidos, que se propaga en el objetivo de ensayo O, se puede detectar mediante el detector de fibra óptica 5.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de ensayo por ultrasonidos (1) que comprende:

5 un cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) configurado para modificar al menos una dirección de desplazamiento de al menos una onda de ultrasonidos que se propaga en un objetivo de ensayo (O) y se introduce en el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4); y  
 un detector de fibra óptica (5) unido al cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) de modo que se propague  
 10 al menos una onda de ultrasonidos dentro del cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) hasta el detector de fibra óptica (5), estando configurado el detector de fibra óptica (5) para detectar la al menos una onda de ultrasonidos cuya la al menos una dirección de desplazamiento haya sido modificada por el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4),  
**caracterizado por que** al menos una onda de ultrasonidos es al menos una onda Lamb;  
 y  
 15 el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) es una placa delgada (7) o placas delgadas (7A, 7B) configuradas para modificar al menos una dirección de desplazamiento de la al menos una onda Lamb.

2. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la al menos una onda de ultrasonidos comprende ondas de ultrasonidos que se propagan en el objetivo de ensayo (O) desde varias direcciones; y  
 20 el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) es las placas delgadas (7A, 7B) o un cilindro hueco formado a partir de la placa delgada (7) configurada para modificar las direcciones de desplazamiento de las ondas de ultrasonidos a una misma dirección de acuerdo con la directividad de recepción del detector de fibra óptica (5).

3. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) se configura para modificar la al menos una dirección de desplazamiento de la al menos una onda de ultrasonidos a una dirección de la longitud del detector de fibra óptica (5).  
 25

4. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1), de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) es un cilindro hueco formado a partir de la placa delgada (7), cuyo diámetro interior y diámetro exterior disminuyen gradualmente desde un lado del objetivo de ensayo hacia un lado del detector de fibra óptica, estando configurado el cilindro hueco para que cambie al menos una dirección de desplazamiento de la al menos una onda Lamb; estando unido el detector de fibra óptica (5) a una parte final del cilindro hueco en un lado en el que el diámetro interior y el diámetro exterior son más pequeños.  
 30  
 35

5. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) tiene una estructura en que la parte final del cilindro hueco se pliega hacia atrás hacia el interior del cilindro hueco.  
 40

6. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la al menos una onda de ultrasonidos incluye ondas Lamb que se propagan en el objetivo de ensayo (O) desde varias direcciones; y  
 el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) comprende las placas delgadas (7A, 7B), estando configuradas las placas delgadas (7A, 7B) para modificar las direcciones de desplazamiento de las ondas Lamb respectivamente.  
 45

7. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además:

50 un transductor de ultrasonidos configurado para emitir la al menos una onda de ultrasonidos hacia el objetivo de ensayo (O) y el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4); y  
 un sistema de procesamiento de señales (6) configurado para detectar un defecto del objetivo de ensayo (O) en función de una señal de detección de la al menos una onda de ultrasonidos, habiendo sido detectada la señal de detección mediante el detector de fibra óptica (5).  
 55

8. El sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde un espesor de la placa delgada (7) o cada espesor de las placas delgadas (7 A, 7B) no es superior a la mitad de una longitud de onda de la al menos una onda Lamb.

9. Un objeto estructural de aeronave que comprende el sistema de ensayo por ultrasonidos (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10. Un método de ensayo por ultrasonidos que comprende:

65 modificar al menos una dirección de desplazamiento de al menos una onda de ultrasonidos disponiendo un cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) sobre un objetivo de ensayo (O), propagándose la al menos una

onda de ultrasonidos en el objetivo de ensayo (O) e introduciéndose en el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4); y

5 detectar la al menos una onda de ultrasonidos, cuya la al menos una dirección de desplazamiento se ha modificado mediante el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4), mediante un detector de fibra óptica (5) unido al cuerpo de propagación de ultrasonidos (4), propagándose la al menos una onda de ultrasonidos dentro del cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) hacia el detector de fibra óptica (5),

10 caracterizado por que la al menos una onda de ultrasonidos es al menos una onda Lamb; el detector de fibra óptica (5) se une al objetivo de ensayo (O) a través del cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) en una dirección en la que la dirección de la longitud del detector de fibra óptica (5) no es paralela a una superficie del objetivo de ensayo (O); y

15 el cuerpo de propagación de ultrasonidos (4) es una placa delgada (7) o placas delgadas (7A, 7B) configuradas para modificar al menos una dirección de desplazamiento de la al menos una onda Lamb, no siendo perpendicular una dirección del espesor de la placa delgada (7) o cada dirección del espesor de las placas delgadas (7 A, 7B) a la superficie del objetivo de ensayo (O) o teniendo un ángulo de inclinación cambiante con respecto a la superficie del objetivo de ensayo (O).

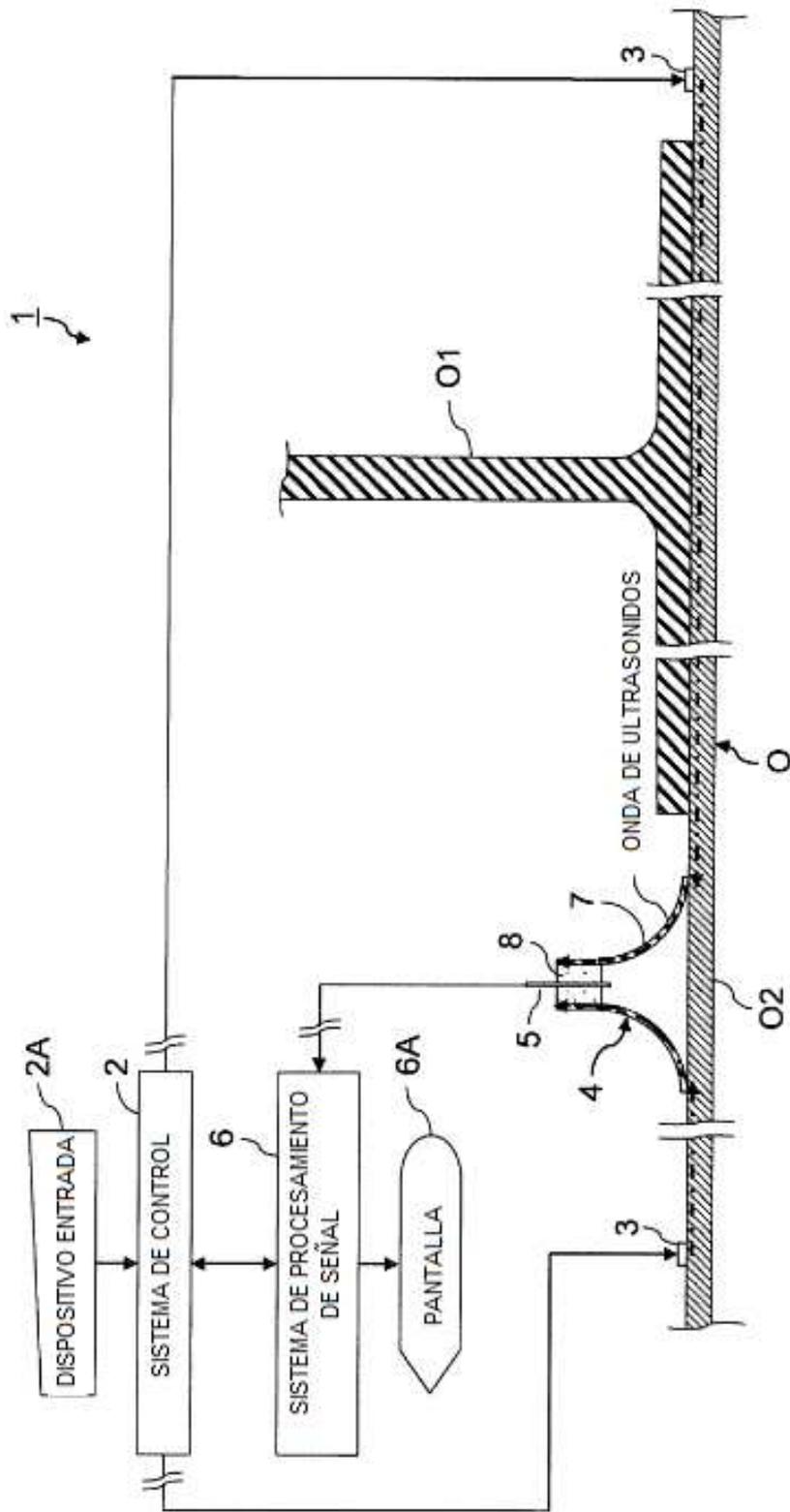


FIG. 1

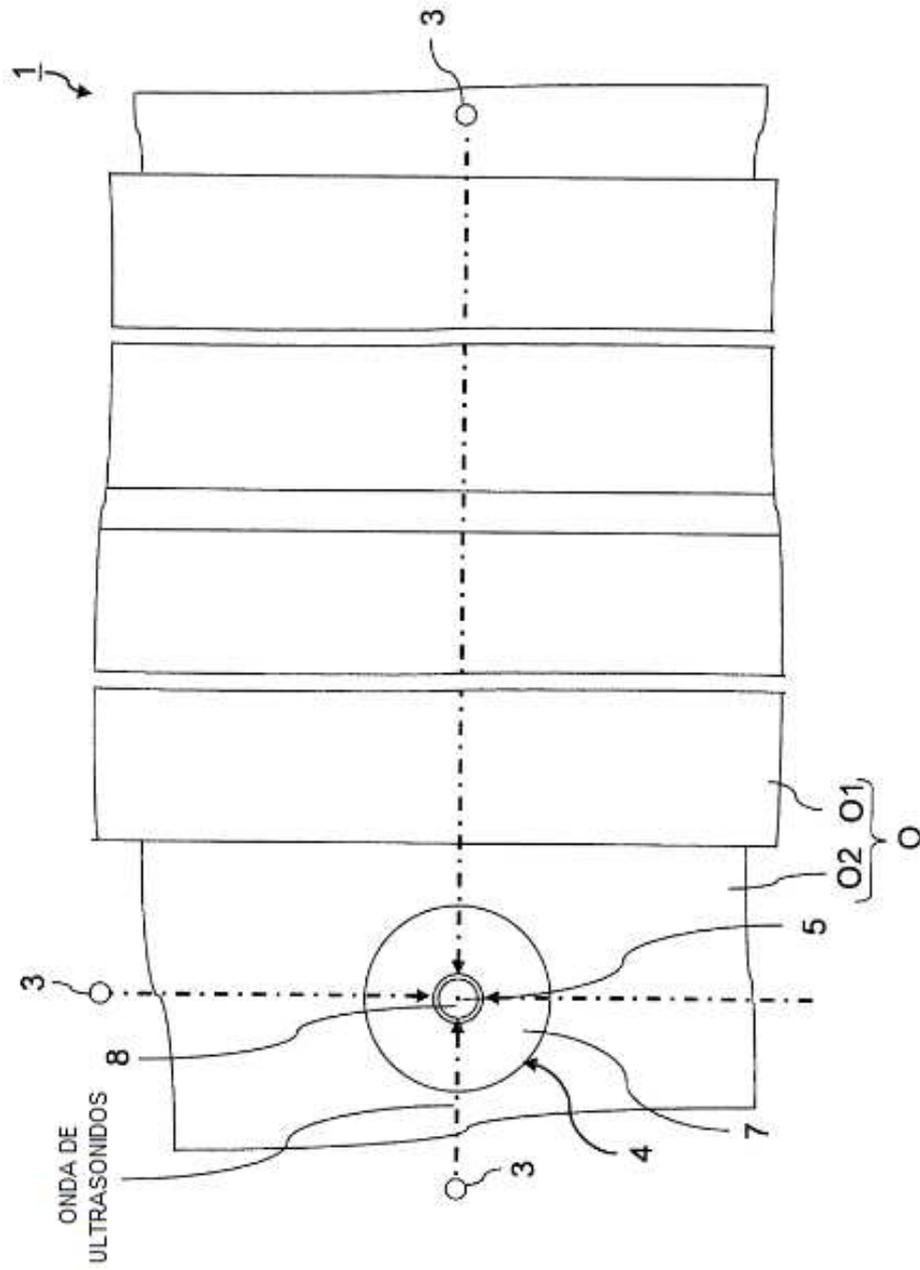


FIG. 2

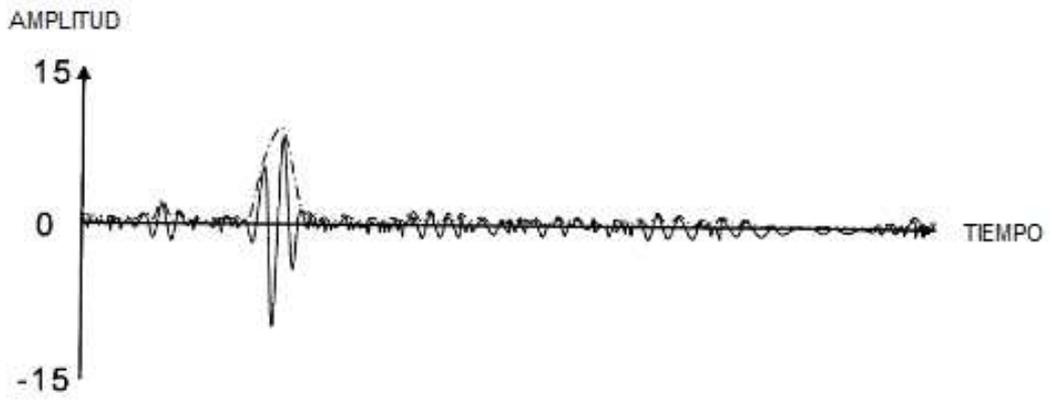


FIG. 3

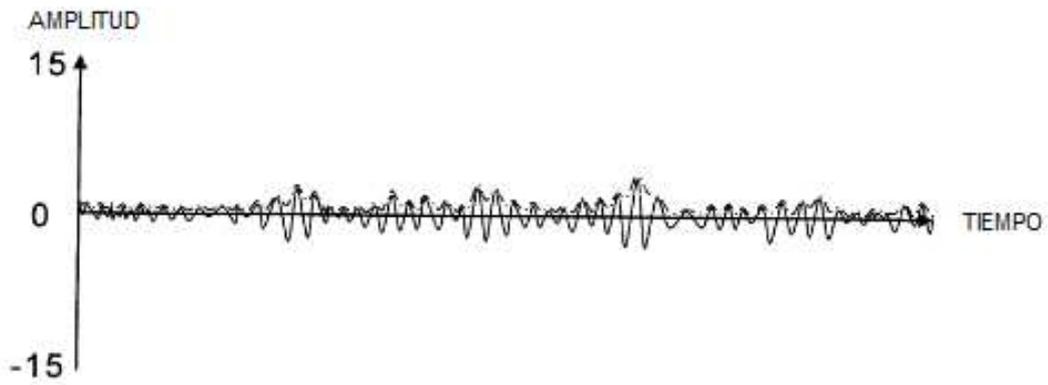


FIG. 4

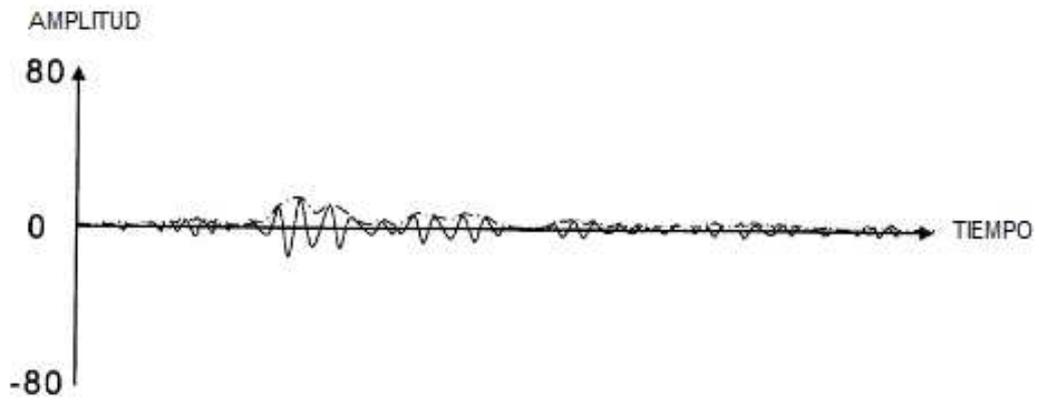


FIG. 5

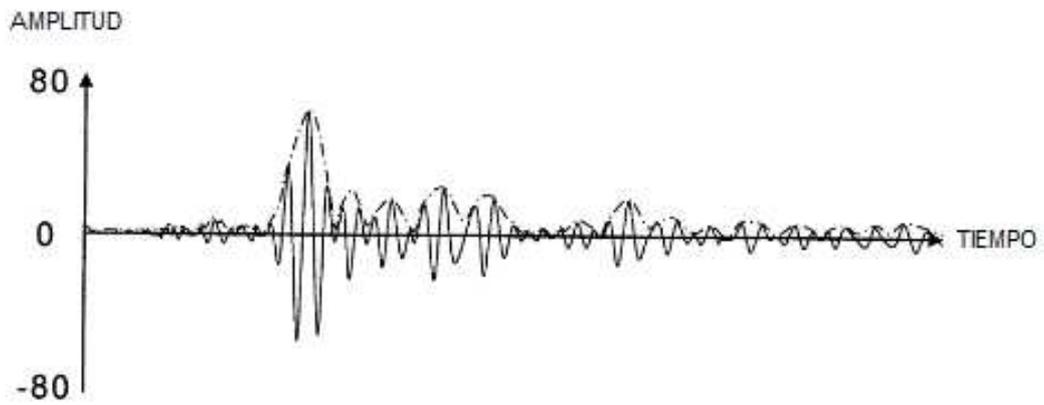


FIG. 6

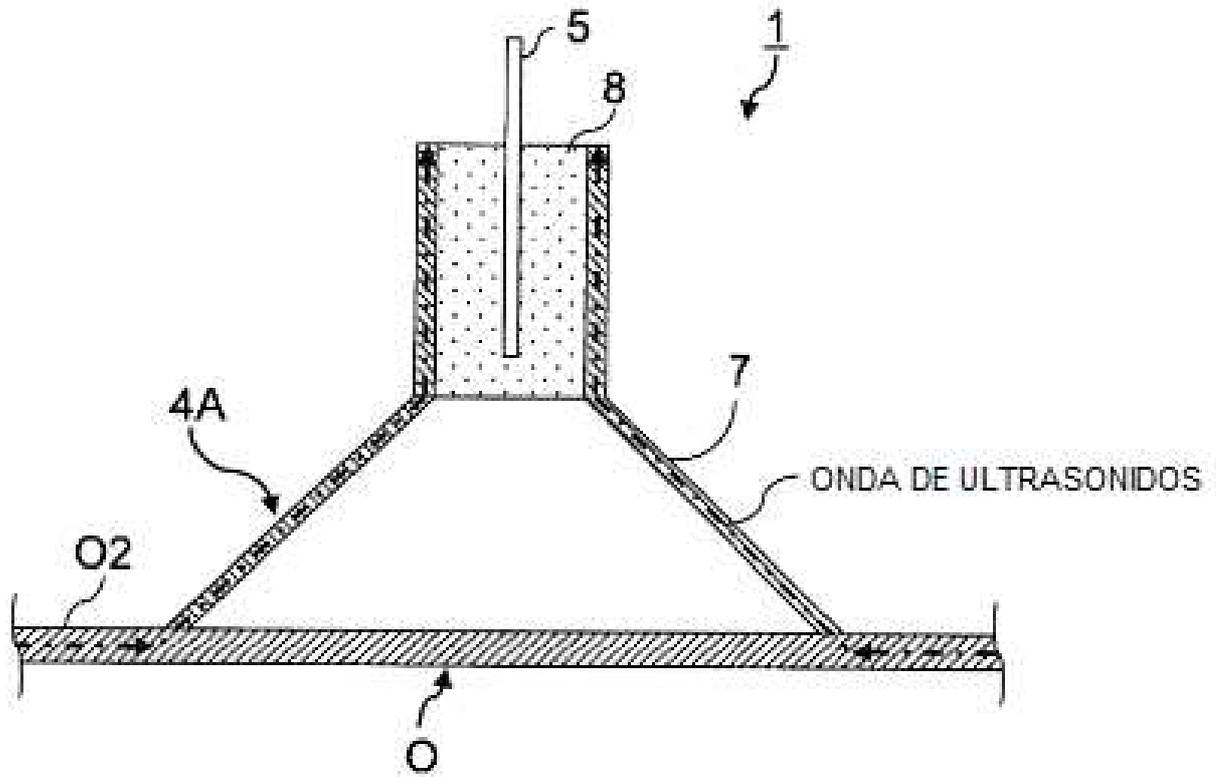


FIG. 7

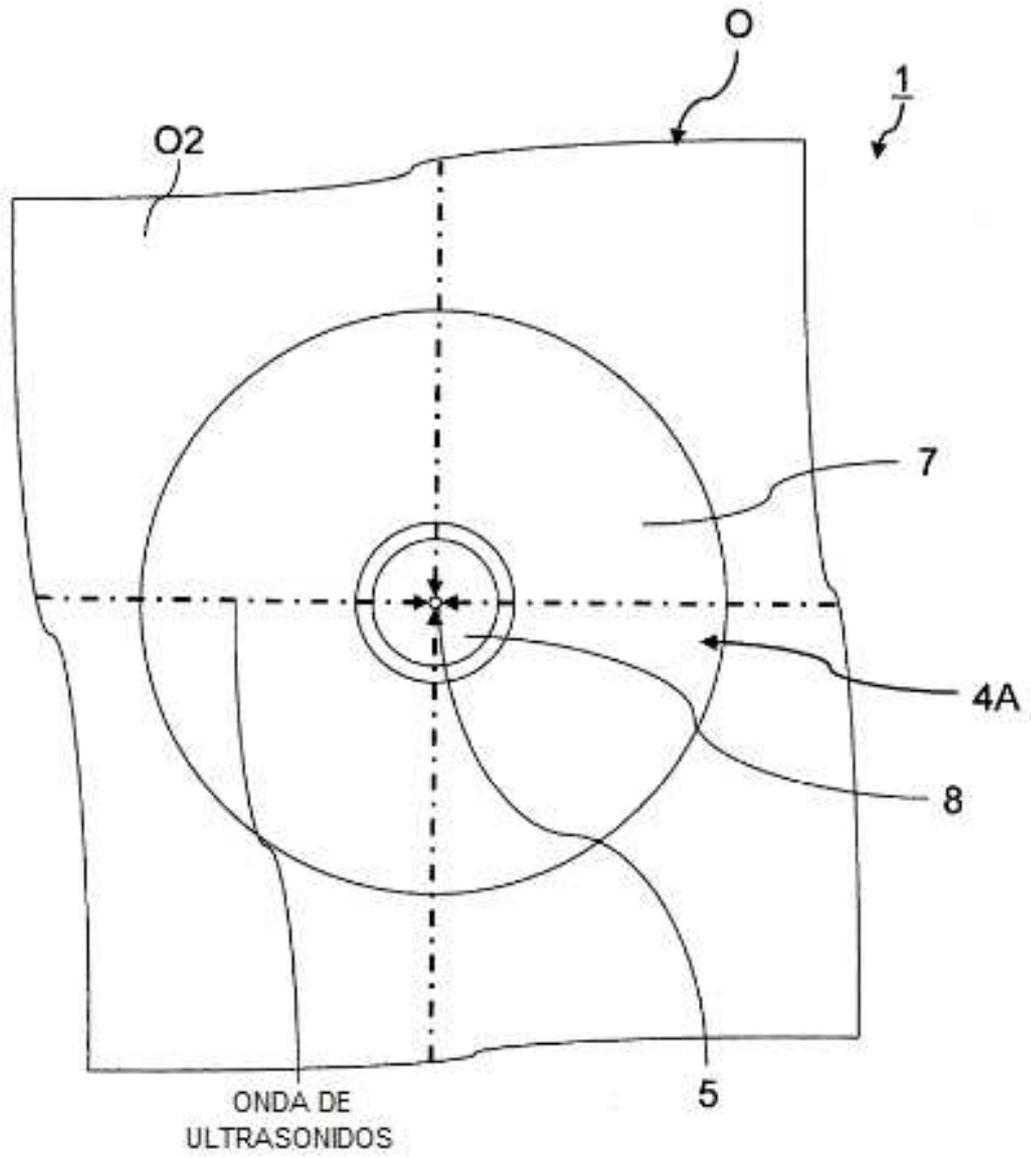


FIG. 8

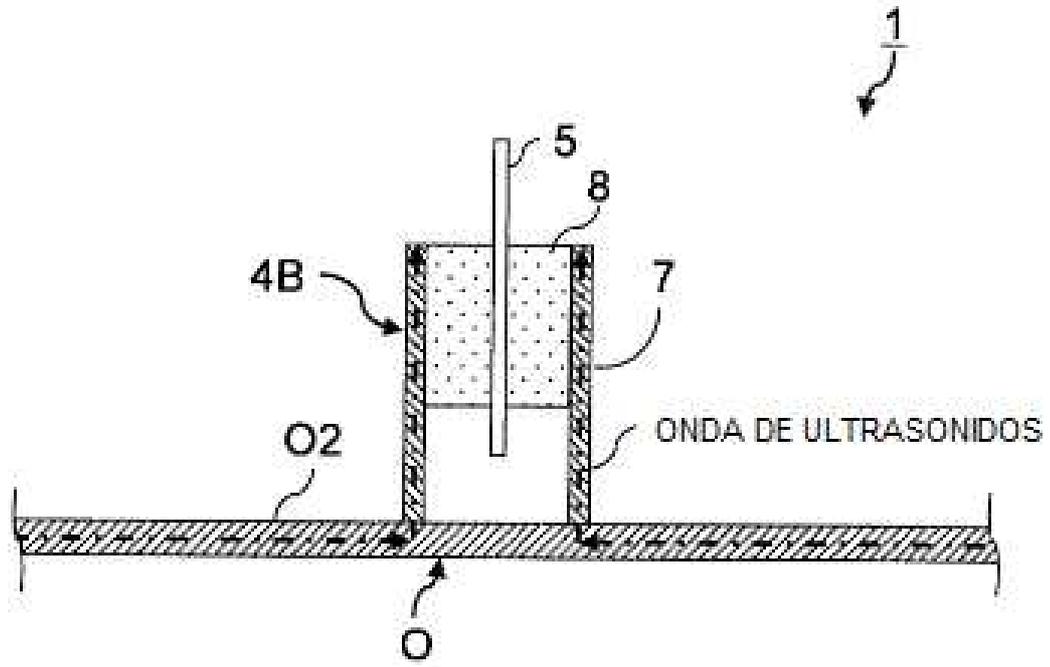


FIG. 9

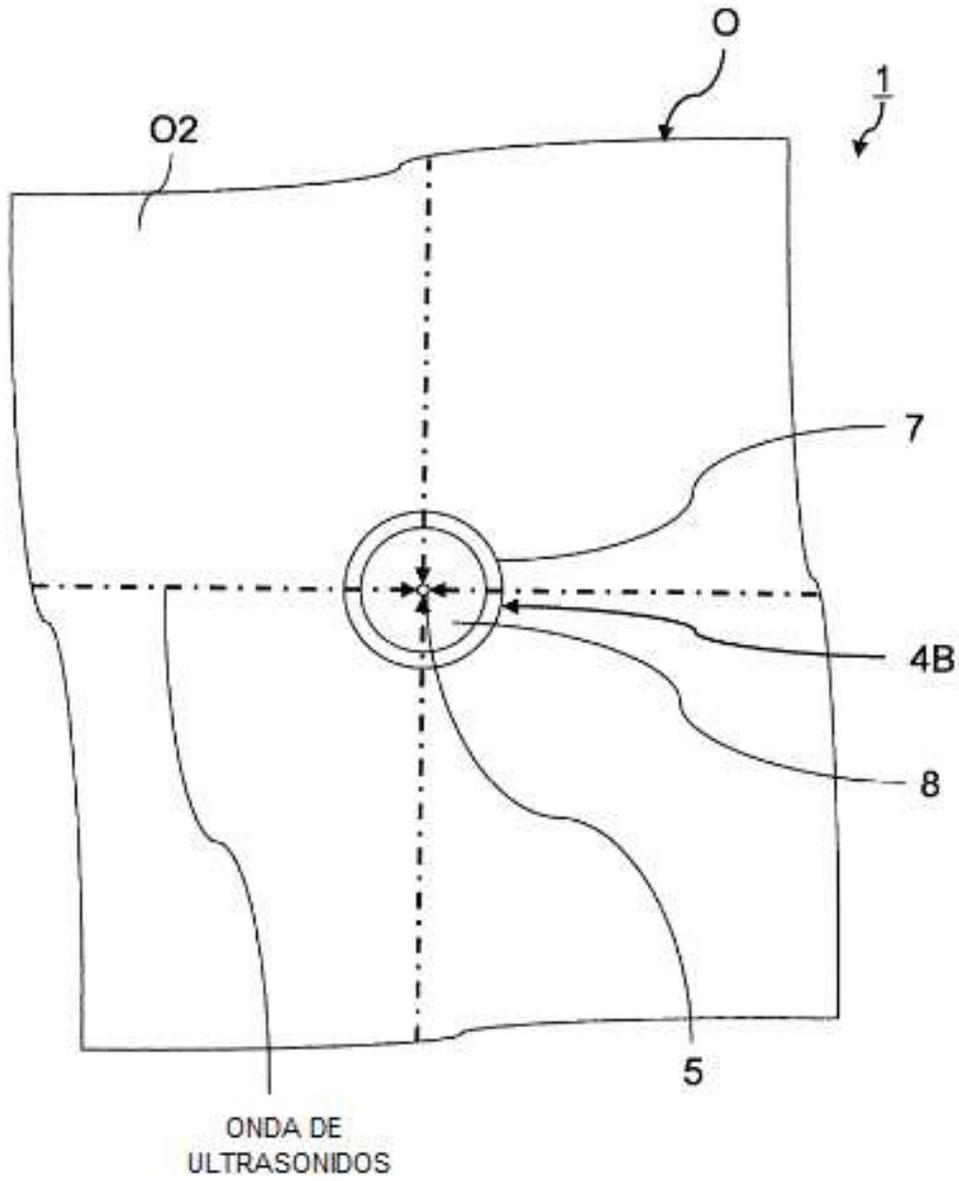


FIG. 10

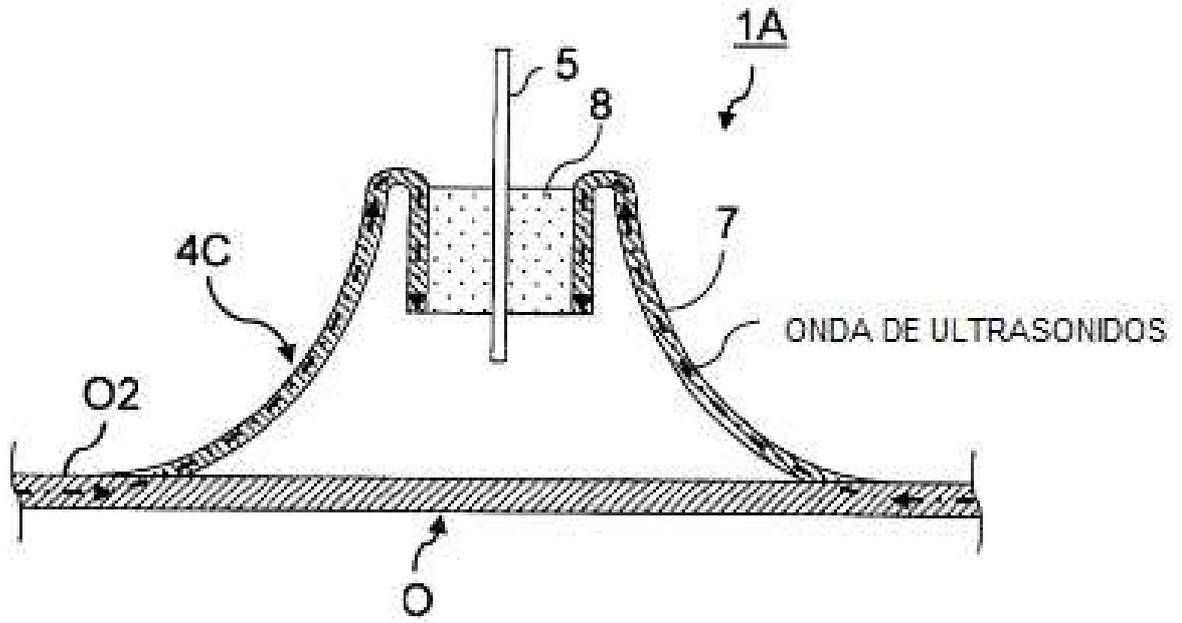


FIG. 11

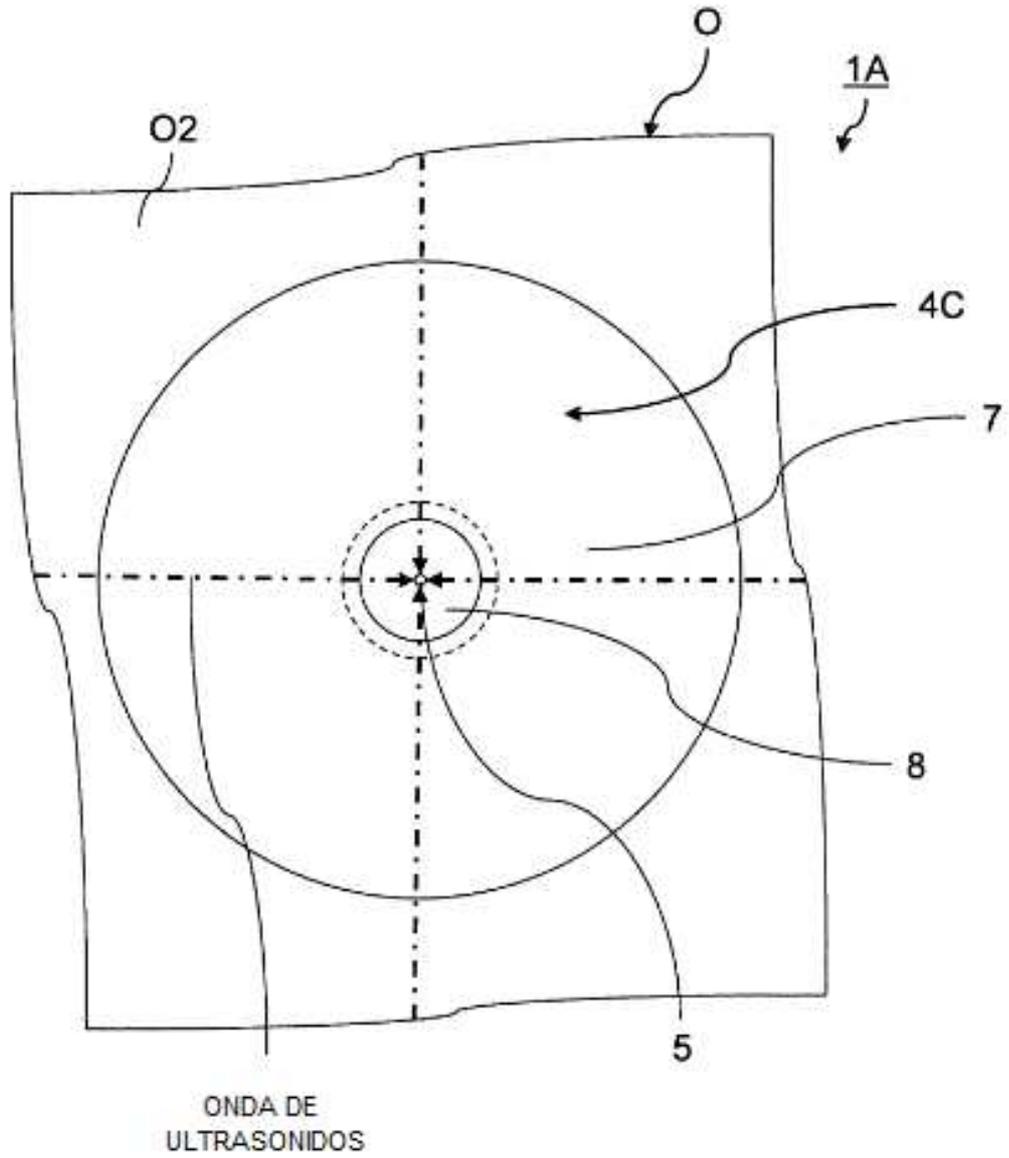


FIG. 12

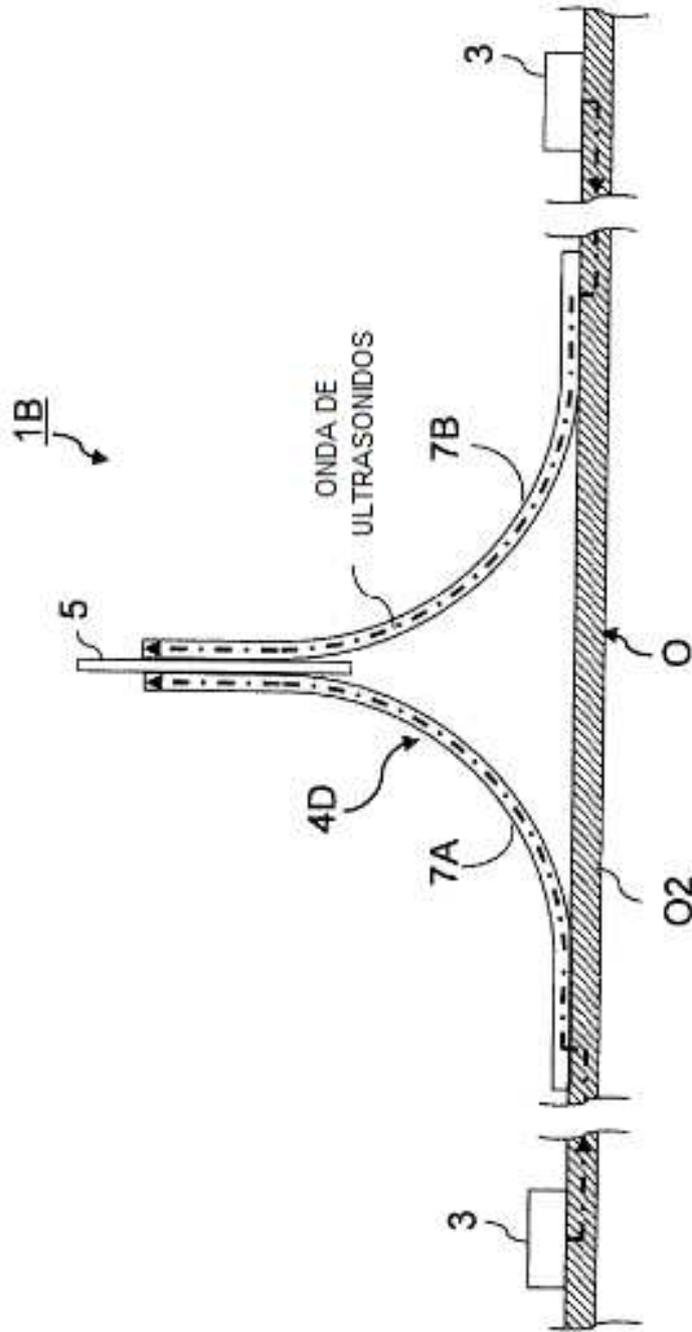


FIG. 13

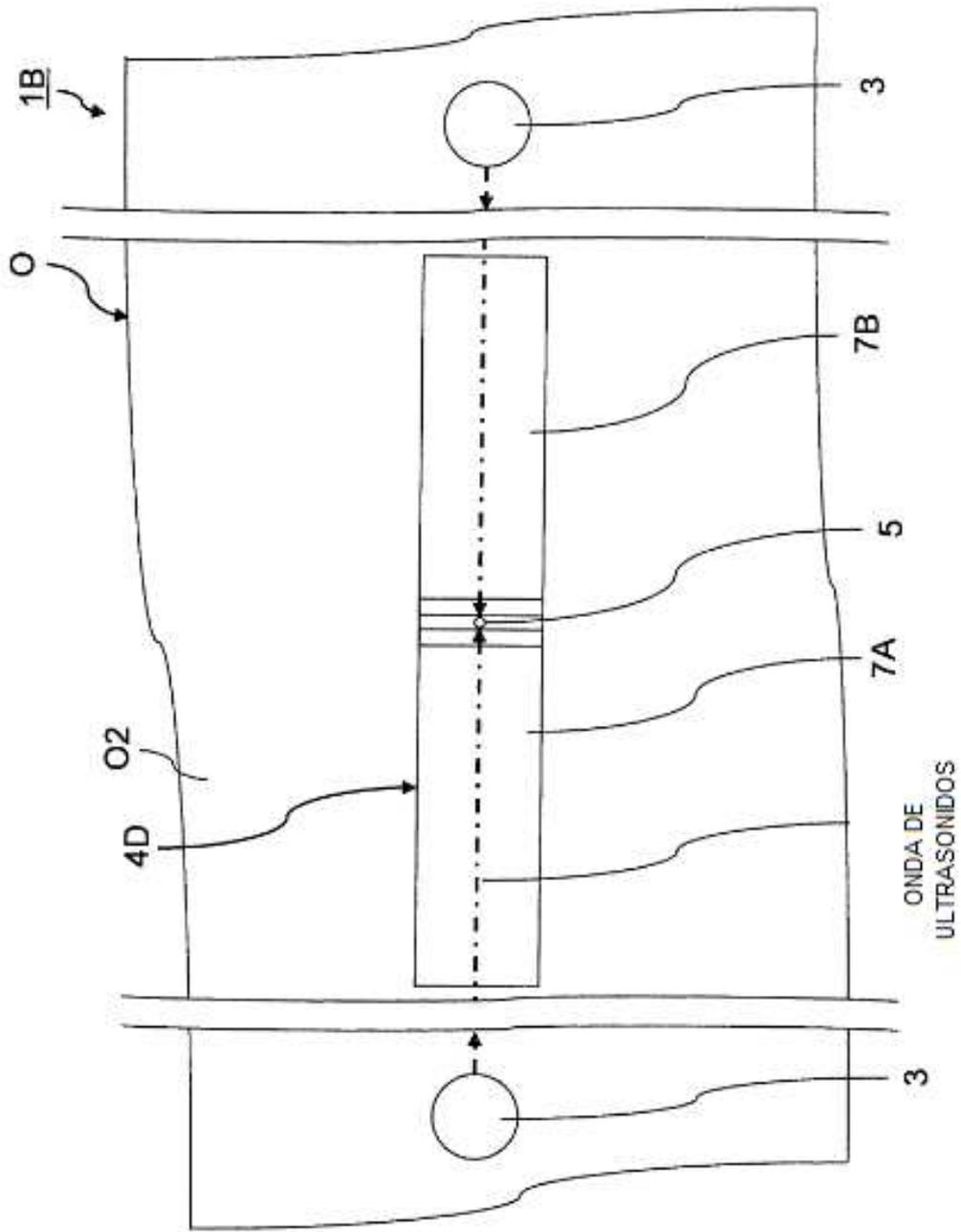


FIG. 14

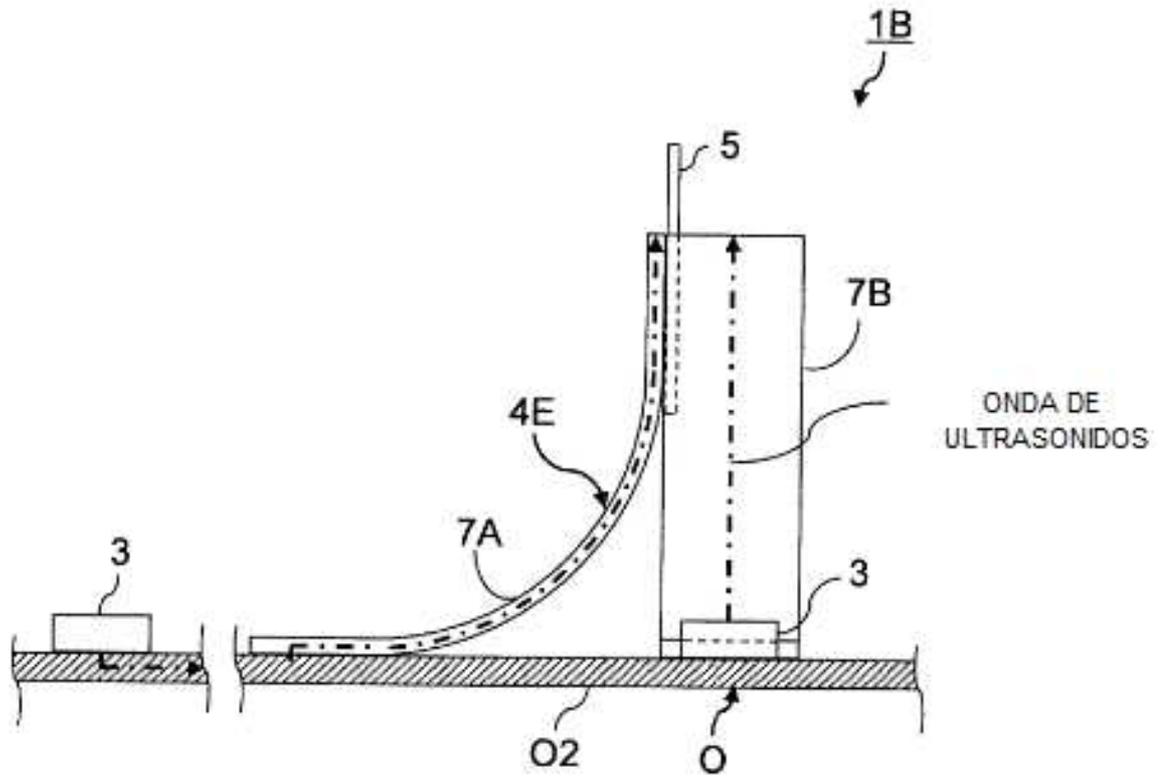


FIG. 15

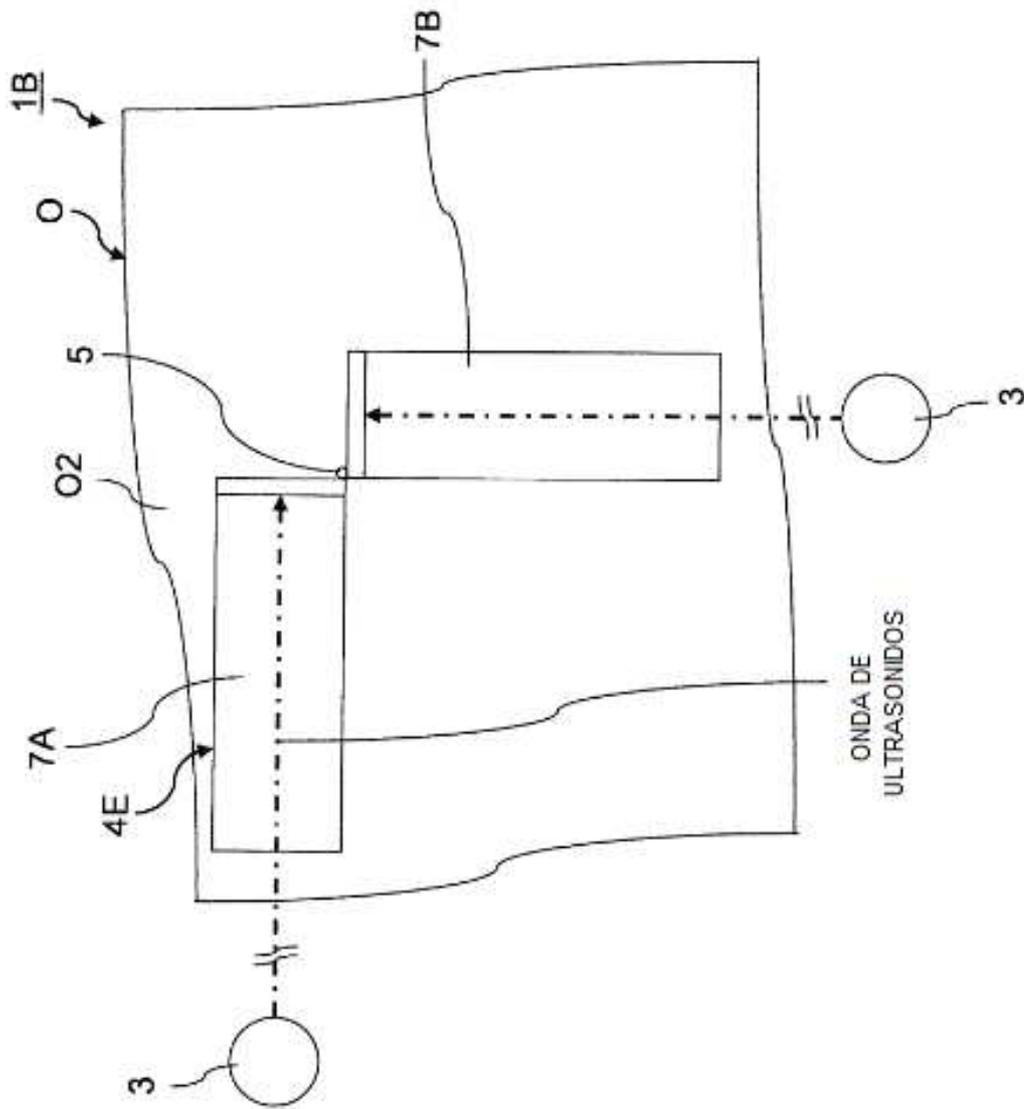


FIG. 16

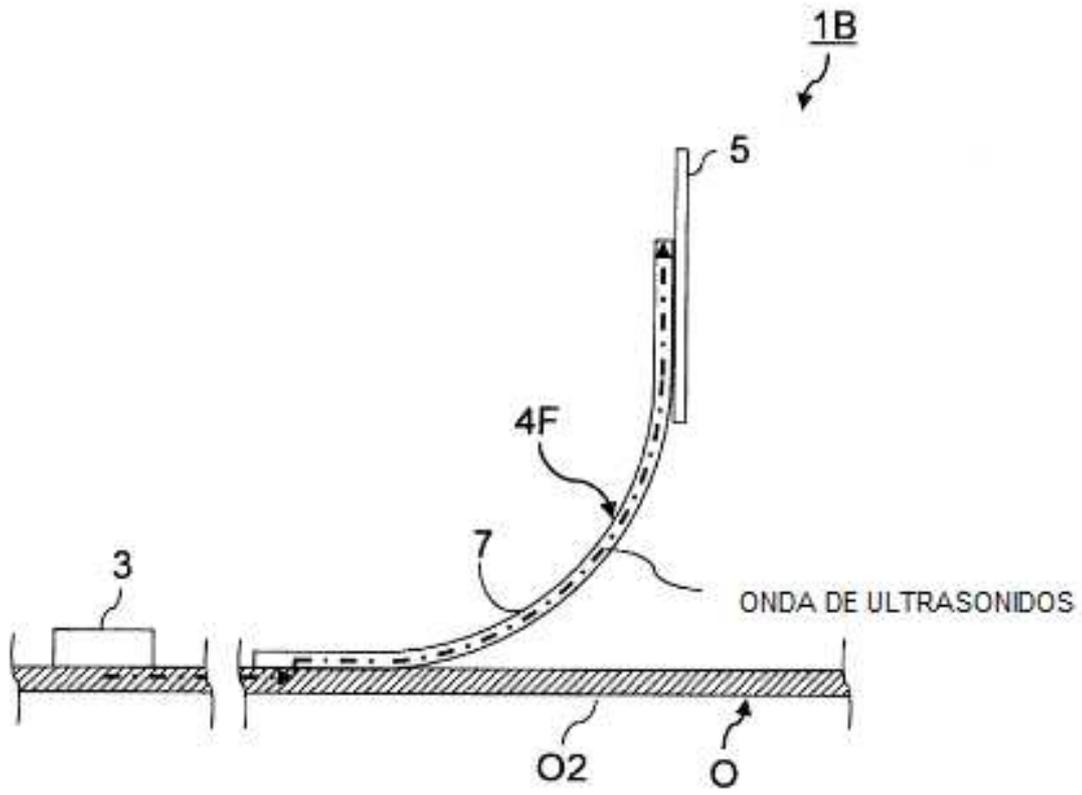
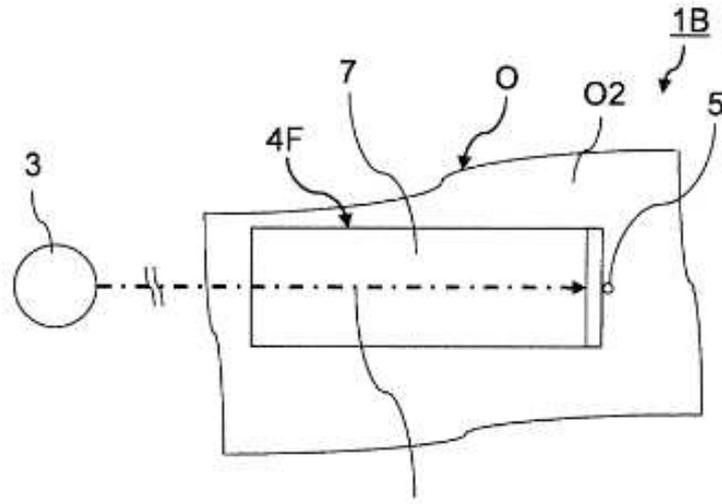


FIG. 17



ONDA DE  
ULTRASONIDOS

FIG. 18

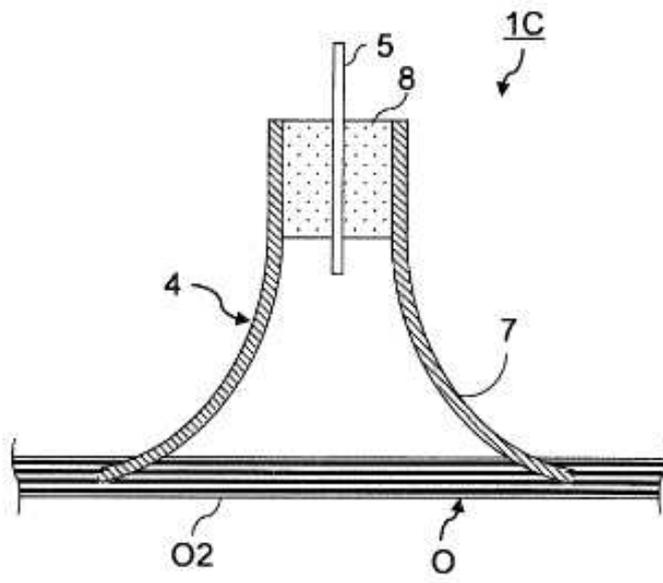


FIG. 19