

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 792**

51 Int. Cl.:

**B06B 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008** **E 08867807 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.12.2015** **EP 2271439**

54 Título: **Unidad de emisión y recepción para ondas ligadas a medios**

30 Prioridad:

**21.12.2007 DE 202007017913 U**

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

**08.03.2016**

73 Titular/es:

**YUCOYA ENERGY SAFETY GMBH (100.0%)  
Sanderstrasse 23-25  
97070 Würzburg, DE**

72 Inventor/es:

**FRITSCH, DR. THOMAS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 562 792 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

Unidad de emisión y recepción para ondas ligadas a medios

5 La presente invención se refiere a una unidad de emisión y recepción de ultrasonidos con al menos un transductor para la generación de señales ultrasónicas multi-frecuencia y para la recepción de señales ultrasónicas, en particular reflejadas, atenuadas o desviadas, influenciadas por el medio de investigación.

10 Unidades de transmisión ultrasónicas conocidas constan por lo general de uno o más piezocristales, p. ej., dispuestos en una matriz que, a través de una excitación eléctrica correspondiente emiten una señal ultrasónica con una frecuencia determinada. Frecuencias típicas se encuentran en una banda de frecuencia de, p. ej., 1 MHz - 8 MHz. En este caso son determinantes para el cristal, referido a la frecuencia emitida, los parámetros espaciales y eléctricos característicos.

15 Tanto en el diagnóstico médico como en la prueba no destructiva de materiales, el "nondestructive testing" (ensayo no destructivo) de diferentes materiales o composiciones de materiales, existen numerosas posibilidades de aplicación para tales dispositivos. Así, por ejemplo, un problema principal en medicina consiste en detectar mediante ultrasonidos como un todo una zona espacial determinada en el cuerpo humano. Por lo general, se utilizan para ello únicamente sondas ultrasónicas de una sola frecuencia. El problema fundamental en este caso consiste en que la  
20 longitud de onda y la frecuencia se encuentran en una relación recíproca entre sí de acuerdo con la ecuación

$$c_m = \lambda * f$$

25 designando  $c_m$  la velocidad de propagación del sonido en el medio respectivo,  $\lambda$  la longitud de onda en este medio y  $f$  la frecuencia con la que se emite la señal ultrasónica. Dado que la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, a una frecuencia dada, la profundidad efectiva de penetración es determinada por las propiedades de atenuación del medio sonorizado investigado. Por lo tanto, si es necesario para el proceso de diagnóstico respectivo elegir otra frecuencia por motivos de calidad de la investigación a fin de lograr una profundidad de penetración diferente, entonces convencionalmente se sustituye la unidad de emisión ultrasónica utilizada por una más adecuada para la nueva frecuencia seleccionada. Así, p. ej., para estudios de la estructura de la superficie de la piel se utilizan frecuencias muy altas de hasta 30 MHz.

30 La aplicación de sondas ultrasónicas con la propiedad de poder emitir señales ultrasónicas de diferentes frecuencias tal como se conoce, por ejemplo, por el documento DE 297 08 338 U1, permite conseguir una mayor profundidad de penetración a frecuencias más bajas y una resolución espacial mayor a frecuencias más altas. Sin embargo, por lo general, en la mayoría de los casos se quieren lograr ambas cosas simultáneamente, pero se está obligado a aceptar casi siempre un compromiso debido a los equipos disponibles en el mercado, que a menudo no hacen justicia al objetivo del diagnóstico.

40 En otros campos de aplicación del diagnóstico mediante ultrasonidos tal como la prueba no destructiva de materiales o bien "nondestructive testing" (NDT), el objetivo consiste en llegar a conocer propiedades interesantes del material en cuestión (del medio sonoro) mediante ultrasonidos. Para ello, se utilizan sondas ultrasónicas con una frecuencia adecuada para el medio respectivo. Los intervalos de frecuencias alcanzan en este caso frecuencias bajas de varios cientos de kHz hasta frecuencias de decenas de MHz, dependiendo de las propiedades de los materiales que se  
45 quieren verificar. Los medios a examinar pueden ser materiales sólidos tales como metales o fluidos en fase líquida o gaseosa, pero también medios mixtos, tales como emulsiones o gases disueltos en líquidos (p. ej. en aceite). En particular, para los procesos químicos o biológicos que discurren continuamente en fluidos, la detección de las diferentes características de estos fluidos por medio de ultrasonidos, así como de su composición a base de diferentes componentes, p. ej., en mezclas y emulsiones, o de las sustancias sólidas o gaseosas disueltas en estos  
50 fluidos, supone un gran desafío técnico.

También se conocen ya generadores de ultrasonidos concebidos de forma anular ("annular arrays") (véase Sverre Holm, 1995) que, generalmente, trabajan con una sola frecuencia. Estas sondas ultrasónicas se utilizan de manera ventajosa en el diagnóstico médico, con el fin de posibilitar en lugares del cuerpo humano de difícil acceso para  
55 sondas ultrasónicas convencionales, p. ej., en la zona vaginal o rectal, buenas imágenes de ultrasonidos de los tejidos u órganos allí presentes.

Las necesidades de la aplicación práctica, en particular en la medicina, condicionan a menudo formas de realización de las sondas en las que se prevé un enfoque. Éste puede realizarse mecánica o dinámicamente mediante el  
60 enfoque electrónico. Esto resulta, por un lado, de la profundidad de penetración establecida para una frecuencia determinada sobre el campo sonoro (campo lejano) efectivo de una sonda ultrasónica a una atenuación (attenuation) variable de la señal a través del tejido penetrado y, por otro lado, de las estructuras del tejido encontradas por la resolución predeterminada por la longitud de onda. Dado que la relación  $c = \lambda * f$ , es decir, la velocidad de propagación en el medio = longitud de onda \* frecuencia, supone una reciprocidad de la relación entre la longitud de

onda y la frecuencia, mediante determinadas medidas técnicas a una frecuencia constante, se intenta mejorar la calidad de la señal mediante el enfoque en una zona determinada, la denominada zona focal.

5 Si se utiliza un generador de ultrasonidos, por lo general una plaquita de cristal piezoeléctrico (o bien una disposición rectangular o anular de varias plaquitas menores, es decir, una matriz de sub-elementos), entonces el diámetro D del generador o de la disposición con la longitud de onda está vinculado a través de la relación

$$\text{"altura (longitud, expansión) del campo cercano"} = D^2 / 2 * \lambda$$

10 El campo cercano es en este caso la zona cercana al generador, en la que se forman interferencias de las ondas sonoras emitidas de tal manera que conducen a un "desorden" del campo sonoro cerca del transductor (campo cercano, zona de Fraunhofer). Por ello, los componentes de la señal ultrasónica recibida ya no corresponderían a una información del material o de los medios a interpretar con sentido. Por tanto, cuando se reciben señales ultrasónicas en las ondas ultrasónicas más allá del punto de transición en

$$15 \quad D^2 / 2 * \lambda = D^2 * f / (2 * c_m) \quad (1)$$

se debe recurrir al denominado campo lejano para obtener información significativa sobre el medio sonorizado. En este caso es determinante que un frente de onda homogéneo y coherente incida sobre el lado receptor. De acuerdo con la ecuación (1) D y f se encuentran en una relación recíproca entre sí, es decir, en caso de aumento de la frecuencia f, D será siempre menor cuando el campo cercano deba permanecer en la medida de lo posible del mismo tamaño (pequeño), con el fin de que las interferencias que allí aparecen no interfieran en la recepción de las ondas ultrasónicas emitidas en la sonda receptora.

25 A partir del documento US 4.569.231 se conoce un dispositivo de ultrasonidos con elementos piezoeléctricos anulares para producir ondas sonoras de diferentes frecuencias.

Con este dispositivo se aprovecha sistemáticamente el hecho de que para diferentes frecuencias para diferentes anillos de la matriz se generan puntos de enfoque situados a diferentes profundidades en el campo sonoro, que sirven para el propósito mencionado anteriormente de posibilitar imágenes de ultrasonido en el cuerpo humano suficientemente buenas, debido a que en el caso de estos diferentes puntos de enfoque condicionados por la frecuencia hacen posible diferentes profundidades de penetración correspondientes con una calidad de la señal justificable. Al mismo tiempo, en cada caso sólo se analizan las señales reflejadas de la señal de transmisión en la frecuencia que presentan un punto de enfoque a la profundidad de penetración deseada en el tejido. El campo sonoro resultante por la disposición de acuerdo con el documento US 4.569.231 está estructurado extremadamente heterogéneo en relación con la distribución de las zonas del campo en las que aparecen señales con todas las frecuencias utilizadas, de modo que la evaluación de las señales reflejadas de las otras frecuencias falsearían el diagnóstico. Además, la construcción técnica de esta matriz anular conocida depende firmemente de las profundidades de penetración de interés especificadas, es decir, de las zonas de enfoque para las diferentes frecuencias.

A partir del documento US 4.437.348 se conoce asimismo un dispositivo de ultrasonidos con elementos piezoeléctricos anulares que generan ondas sonoras de diferentes frecuencias. También aquí se enfocan las ondas sonoras.

La presente invención tiene por misión crear una unidad de emisión y recepción de ultrasonidos con multi-frecuencia con la que sea posible una detección amplia, que incluya todas las propiedades de los procesos de modificación física-químicamente relevantes del medio investigado.

50 El problema se resuelve con una unidad de emisión y recepción de ultrasonidos con las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones subordinadas indican perfeccionamientos ventajosos.

El tipo de la disposición de los elementos del al menos un transductor en torno a un centro común, la emisión simultánea de todos los elementos y la determinación y evaluación simultáneas de todas las frecuencias de las señales influenciadas por el medio de investigación posibilitan una amplia determinación de todas las propiedades interesantes del medio de investigación. En este caso, es ventajoso que los elementos emitan de forma continua las señales ultrasónicas, con el fin de posibilitar también la detección de procesos de modificación del medio investigado.

60 Dado que el ángulo de apertura (apertura) del campo sonoro de un generador de ultrasonidos de diámetro D depende de la frecuencia utilizada en cada caso, conforme a la relación

$$\text{Sen } \Theta := 1,22 * \lambda / D$$

con  $\theta$  como ángulo de apertura y  $\lambda < D$  como longitud de onda, se manifiestan para frecuencias elevadas ángulos de apertura pequeños y para frecuencias menores ángulos de apertura mayores. Esto tiene como consecuencia que los campos sonoros lejanos resultantes, relevantes para la recepción, son tanto más estrechos cuanto más alta sea la frecuencia. Esto significa, por una parte, que procesos localmente ligados que pueden ser determinados en el campo sonoro (adicional) en el caso de la emisión de una frecuencia baja, no aparezcan eventualmente en el campo sonoro de una frecuencia más elevada. Por lo tanto, es ventajoso que los elementos externos emitan señales ultrasónicas de una frecuencia inferior que el elemento central, con el fin de poder llevar a cabo análisis fiables. En este caso, el elemento central puede estar configurado de forma circular y el al menos otro elemento puede estar configurado de forma anular y dispuesto concéntricamente al elemento central. La forma anular y la disposición concéntrica conducen a características de radiación aproximadamente cuneiformes de los distintos elementos.

Una disposición de los elementos en una matriz tal como en el Modelo de Utilidad alemán DE 297 08 338 U1 no puede alcanzar una característica de radiación uniforme. O, como se indica en el ejemplo de dicho documento, las frecuencias utilizadas deberían ser tan próximas entre sí que ya no se pueda hablar de una onda ultrasónica multi-frecuencia auténtica.

Los mejores resultados se pueden conseguir cuando el diámetro de los elementos y las anchuras de los elementos anulares, así como las frecuencias de las señales ultrasónicas emitidas por los distintos elementos se elijan de manera que en una zona distanciada predeterminada a la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos se forme un frente de onda homogéneo de las señales ultrasónicas de todos los elementos.

En principio, también podría tener lugar un uso simultáneo de varias unidades ultrasónicas separadas en el espacio con en cada caso frecuencias diferentes. Esto es ventajoso cuando los procesos físico-químicos o biológicos a investigar tengan lugar en su mayoría de forma localizada. Sin embargo, ciertamente, la mayoría de los procesos que son de interés para una investigación de este tipo no tienen que limitarse necesariamente localmente y tampoco presentan en cada uno de los puntos del volumen observado los mismos rasgos característicos. Como ejemplo de ello puede servir la fermentación de la cerveza que particularmente comienza en el borde del recipiente de fermentación y se prolonga hacia el interior. Por lo tanto, tendría lugar una falsificación e interpretación errónea de los datos cuando no se tuvieran en cuenta todas las variaciones de las señales detectables mediante ultrasonido multi-frecuencia y provocadas por el medio, que se requieren para la caracterización del proceso respectivo y de las propiedades del material en cuestión. Estas variaciones de la señal ultrasónica dependen, entre otros, de la distribución de las distintas sustancias en el volumen de medición, así como de la topología o bien geometría del campo a investigar en el volumen de medición.

Esto significa que en el caso de la separación en el espacio de los transductores se manifiestan errores condicionados por el tipo de la propagación de la señal en el volumen de medición que están ligados con

- la geometría/topología del espacio de medición,
- la disposición de los transductores,
- sus frecuencias y, con ello, sus características de radiación en el espacio (es decir, campos sonoros).

La propagación de las ondas ultrasónicas puede tener lugar aquí ciertamente asimismo de una manera continua, pero cada uno de los transductores emite en este caso sólo una onda que, en consecuencia, se superpone al menos en parte o se extingue con las ondas de los otros transductores y, finalmente, en función de la geometría del espacio de medición, puede experimentar reflexiones y difracciones. Por lo tanto, es plausible que tampoco en el caso de cada geometría del espacio de medición puedan determinarse igualmente bien eventualmente todos los sectores de interés. Una disposición "rígida" produce, por naturaleza, errores en el caso de situaciones de medición flexibles eventualmente necesarias, tanto desde un punto de vista espacial como también en el tiempo. Esto significa que, en función del problema, debería variarse la posición de los transductores. Es evidente que esto es poco práctico y se requeriría un considerable trabajo previo con el fin de encontrar siempre en cada caso una emisión de sonidos adecuada para un sector de interés. Las ventajas de la multi-frecuencia se vuelven, por consiguiente, eficaces de manera creciente sólo de un modo limitado cuanto más compleja sea la misión de medición. Esto es válido también para el caso de que, por ejemplo, se elija una frecuencia "adecuada" para la situación de medición respectiva con la característica de radiación propia para ella (con una estructura por lo demás igual de los transductores).

Por el contrario, si una zona de interés determinada es solicitada tridimensionalmente de forma continua con frecuencias de ultrasonido multi-espectral (es decir, varias frecuencias adecuadas) de manera que, por una parte, permanezca constante la característica de radiación en cada momento en el caso de utilizar una pluralidad de frecuencias y que, por otra parte, el transductor receptor alcance un frente de onda coherente, se pueden decretar uniformemente bien diferentes propiedades y procesos del medio a examinar. Además, los parámetros de la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos se eligen de manera que sea cubierta una zona lo más amplia posible del campo sonoro resultante, en particular del campo lejano, de manera homogénea por todas las señales ultrasónicas utilizadas con diferentes frecuencias.

En el caso de la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos de acuerdo con la invención no tiene lugar ningún tipo de enfoque, ya sea mediante una deformación geométrica (curvatura) o en forma electrónica. Esto sería totalmente perjudicial para el objetivo descrito en lo que sigue.

5 El empeño consiste en crear un campo lejano lo más homogéneo posible, de modo que en la unidad de recepción aparezca un frente de onda coherente. Al mismo tiempo, en la medida de lo posible, cada uno de los puntos en el espacio de propagación tridimensional de las ondas ultrasónicas (campo lejano) debe ser alcanzado por éste con todas las frecuencias utilizadas. Además, debe mantenerse constante la característica global del campo sonoro emitido para todas las frecuencias utilizadas, lo cual contribuye esencialmente en la homogeneidad deseada del campo sonoro.

15 Es importante para la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos de acuerdo con la invención garantizar una característica de radiación global estable en el campo lejano en el caso de utilizar simultáneamente varias frecuencias. En este caso, a diferencia del dispositivo del documento US 4.569.231, las ondas ultrasónicas se emiten de manera no enfocada y continua, utilizándose al mismo tiempo las frecuencias elegidas para los anillos asociados. A diferencia del documento DE 297 08 338 U1, los elementos del transductor no se utilizan en "funcionamiento de resonancia", sino que a cada anillo individual o bien a un grupo de anillos individuales puede asociarse una frecuencia separada. Se trata entonces de la combinación de determinadas frecuencias para los distintos anillos con el fin de alcanzar en cada instante arbitrario de un modo coherente en la zona del campo lejano un solapamiento homogéneo de una determinada "región de interés" (ROI por sus siglas en inglés) con ultrasonido multi-frecuencia.

25 La flexibilidad de la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos de acuerdo con la invención se puede aumentar previendo varios elementos anulares, cuya anchura y/o cuya distancia mutua varía. Esto posibilita el uso de otras frecuencias que en el caso de una matriz con anillos uniformemente anchos y uniformemente separados, sin perjudicar el alcanzar el objetivo precedentemente descrito.

30 Los elementos de forma anular pueden estar divididos, también al menos en parte, en anillos individuales estrechamente contiguos que en cada caso emiten señales ultrasónicas de baja diferencia de frecuencia. Con un elemento anular de este tipo puede cubrirse, por lo tanto, toda una banda de frecuencias.

35 Los elementos del transductor son preferiblemente elementos piezoeléctricos. En este caso, el grosor de los elementos anulares puede ser mayor que el grosor del elemento central.

40 Además, es ventajoso que esté previsto un dispositivo de recepción óptico o acústico-óptico. Un dispositivo receptor de este tipo se describe, por ejemplo, en el documento DE 197 32 968 A1. Tiene la ventaja de una característica de recepción uniforme y plana a lo largo de una amplia anchura de banda de frecuencias que sustenta óptimamente el uso de varias frecuencias en el lado del emisor.

En lo que sigue se explica con mayor detalle la invención con ayuda del dibujo.

Muestran:

45 La Figura 1 características de radiación de un transductor ultrasónico con un diámetro  $D = 10$  mm a tres frecuencias diferentes;  
 las Figuras 2a-2c características de radiación de una unidad de emisión y recepción de ultrasonidos con un elemento central y dos elementos anulares a las mismas tres frecuencias que en la Figura 1;  
 la Figura 3 una representación esquemática de un transductor de ultrasonidos con disposición anular de los elementos del transductor;  
 50 las Figuras 4a, b una representación esquemática de un transductor de ultrasonidos con elementos anulares del transductor, así como una sección transversal a través de este transductor.

55 La Figura 1 ilustra en un transductor con un elemento circular de un diámetro  $D = 10$  mm, que para frecuencias elevadas se manifiestan pequeños ángulos de apertura de las características de radiación y para frecuencias menores lo hacen mayores ángulos de apertura. Esto significa que los campos sonoros lejanos resultantes, relevantes para la recepción, son tanto más estrechos cuanto mayor sea la frecuencia.

60 En la Figura 1 se indican para el transductor circular con un diámetro de 10 mm para tres frecuencias diferentes  $f_1 = 5,2$  MHz,  $f_2 = 2,1$  MHz y  $f_3 = 1,1$  MHz, los contornos del campo sonoro respectivo para -6 db. Se reconoce claramente que el campo sonoro se "estrecha" cada vez más intensamente para frecuencias mayores. La característica de radiación global superpuesta para las tres frecuencias no es homogénea. Para la determinación de los campos sonoros se consideró que no tuviera lugar enfoque alguno.

Sin limitar el carácter general, en las Figuras 2a, 2b y 2c se indican para un transductor con un elemento central circular y dos elementos anulares, los campos sonoros para -6 db, -9 db y -12 db para las tres frecuencias  $f_1 = 5,2$  MHz,  $f_2 = 2,1$  MHz y  $f_3 = 1,1$  MHz. Una representación de principio de un transductor de este tipo 30 se puede deducir de la Figura 3. El diámetro exterior del transductor y, con ello, también del anillo externo asciende asimismo a  $D = 10$  mm. Las anchuras de los anillos ascienden para el anillo externo  $w_a = 2,5$  mm, para el anillo medio  $w_m = 1,5$  mm y el diámetro del elemento central circular asciende a 2 mm. Al anillo externo  $R_a$  se le asoció la frecuencia más baja de 1,1 MHz, al anillo medio  $R_m$  la frecuencia media de 2,1 MHz y al elemento central la frecuencia más alta de 5,2 MHz. El grosor de los cristales piezoeléctricos disminuye para los distintos elementos del anillo en función de la frecuencia hacia el interior con la frecuencia creciente, tal como lo muestra la Figura 3. Los campos sonoros alcanzados tienen, para las frecuencias indicadas, a partir de una distancia determinada a la superficie del transductor, la misma característica de radiación en el campo lejano y, por consiguiente, cumplen en esta forma de realización el requisito de un frente de onda homogéneo del lado de la recepción.

La combinación de frecuencias indicada no es, sin embargo, solitaria. Para un diámetro en cada caso predeterminado de la disposición de matriz anular global, existe una pluralidad de combinaciones de frecuencia con correspondientes anchuras de anillo y diámetros de elementos centrales que cumplen el requisito de una característica de radiación global constante para las frecuencias elegidas. Por ejemplo, los campos sonoros para los transductores arriba mencionados con  $\varnothing = 10$  mm y  $f_4 = 4,8$  MHz,  $f_5 = 1,9$  MHz y  $f_6 = 1,0$  MHz como grupo o  $f_7 = 5,6$  MHz,  $f_8 = 2,3$  MHz y  $f_9 = 1,2$  MHz como grupo tienen en cada caso la misma característica de radiación global. En el caso de utilizar otra forma de realización del transductor con un diámetro total  $\varnothing = 12$  mm resultan de nuevo combinaciones de frecuencia totalmente diferentes, en cada caso con una característica de propagación global igual, p. ej., para  $f_{10} = 3,8$  MHz,  $f_{11} = 1,95$  MHz y  $f_{12} = 1$  MHz.

En general, el número de los anillos y, con ello, de las frecuencias utilizables sólo viene limitado por la tecnología de fabricación. Las formas de realización de los transductores con elementos anulares se caracterizan todas por que las frecuencias bajas son asociadas al o a los anillos más externos, las frecuencias medias son asociadas al o a los anillos medios y las frecuencias más elevadas son asociadas al elemento central circular. Los anillos pueden poseer diferentes anchuras de anillo que están fijamente predeterminadas cuando en esta forma de realización se haya de utilizar explícitamente sólo una frecuencia por anillo, y el anillo presente un grosor correspondiente. Para aplicaciones más flexibles, grupos de anillo predeterminados (con una anchura de los grupos de anillo fija) pueden estar compuestos de un número determinado de sub-elementos (anillos individuales con una anchura de anillo fija) que pueden combinarse de forma variable en anillos "virtuales" con una anchura de anillo "virtual" respectiva adecuada mediante la reunión de anillos individuales contiguos. Con ello, es posible que un grupo de anillos pueda ser asociado a toda una banda de frecuencias dentro de límites de intervalos adecuados determinados, por ejemplo las bandas de frecuencia  $F_1 : = \{1 \text{ MHz} - 1,49 \text{ MHz}\}$ ,  $F_2 : = \{1,5 \text{ MHz} - 1,99 \text{ MHz}\}$  a p. ej.,  $F_8 : \{4,5 \text{ MHz} - 4,99 \text{ MHz}\}$  y  $F_9 : \{5 \text{ MHz} - 6 \text{ MHz}\}$ .

Dado que en esta forma de realización los grosores de los cristales piezoeléctricos para los anillos individuales deben permanecer constantes dentro de un grupo de anillos, dado que, de lo contrario, no podrían formarse los "anillos virtuales", se asume un error que resulta en el campo lejano en virtud de correspondientes desplazamientos de las características de la propagación global para frecuencias de este grupo de frecuencias. Las tres desviaciones resultan todavía relativamente pequeñas para las bandas de frecuencia estrechas arriba mencionadas, asociadas a los grupos de anillos. Ventajosamente se obtiene la capacidad de combinación libre de una pluralidad de frecuencias en un transductor con elementos anulares, y la capacidad de configuración libre de los anillos asociados o bien anillos "virtuales" con anchuras de anillo, secuencias y eventualmente repeticiones de anillos adecuadas y sus frecuencias. Con ello, se está en condiciones, en el caso de utilizar bandas de frecuencias enteras, de mantener uniformes, por una parte, la característica de radiación global con un error tolerable para todas las combinaciones de frecuencias utilizadas adecuadamente en la unidad de emisión y recepción de ultrasonidos y, por otra parte, abrir una pluralidad de posibilidades de aplicación por la flexibilidad alcanzada con ello. Éstas pueden encontrarse en el intervalo de la prueba no destructiva de los materiales, como también en la detección de propiedades de medios (sustancias), que son de gran interés, p. ej., en medicina, la técnica de medio ambiente o la energía, por ejemplo la detección de gases disueltos en medios líquidos.

La determinación aritmética de los respectivos campos sonoros puede tener lugar en este caso de dos modos diferentes. Aplicando el principio de Huygens de que cada uno de los puntos en un frente de onda que se propaga puede ser considerado como una fuente secundaria para la expansión de una onda esférica resulta obligatoriamente que la superposición lineal de las partes de todas las ondas esféricas emitidas de todas las fuentes puntuales en un punto determinado en el espacio de expansión de las ondas esféricas emitidas determina el campo en este punto. Por lo tanto, es posible determinar, mediante la integración numérica de la integral de Rayleigh

$$\Phi(\mathbf{r}, t) = \iint_S v_n(\mathbf{r}_0, t - r/c) / (2 * n * r) dS$$

el campo para cada uno de los puntos en el espacio de expansión relevante de las ondas esféricas emitidas por las fuentes puntuales. En este caso,  $\Phi$  designa el potencial de velocidad para distancias  $r$  en el instante  $t$ ,  $v_n$  designa la velocidad de la onda en la superficie del transductor normal a la superficie del transductor y  $c$  la velocidad de expansión en el medio. Con  $s(x, y, z, t)$  se indica un campo a escala general que en el caso acústico, describe la presión acústica definida para un punto determinado en el espacio y el tiempo. Para cada uno de los puntos en el espacio de expansión se determinan las aportaciones respectivas de todas las fuentes puntuales que cubren de forma discreta la superficie del transductor y se suman/restan localmente. Este procedimiento es sólido y sólo está limitado por el tiempo de cálculo condicionado por el número de las fuentes puntuales.

- 5
- 10 La segunda posibilidad consiste en la determinación de la respuesta de impulso  $h(r,t)$  que, mediante un pliegue con la velocidad de la onda conforme a

$$\Phi(r,t) = v(t) \times h(r,t) \text{ y}$$

$$h(r,t) = \iint (\delta(t - r/c - t_0) / (2 \cdot n \cdot r)) dS_0$$

- 15 proporciona el potencial de la velocidad. La respuesta de impulso para un punto determinado en el campo se determina de modo fenomenológico según el método de Stepan, en donde sólo aquellos puntos a una determinada distancia  $r$  con respecto al punto del campo local cooperan en el campo local, es decir, los que se encuentran en un círculo en torno a la proyección del punto del campo sobre el transductor. El inconveniente de este método estriba en que la forma del transductor no tiene influencia alguna sobre la determinación de la respuesta de impulso y que se subordina un medio homogéneo.
- 20

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos con al menos un transductor para la generación de señales ultrasónicas multi-frecuencia y para la recepción de señales ultrasónicas influenciadas por el medio de investigación, en particular reflectadas, amortiguadas y/o desviadas, presentando el transductor un elemento central, configurado de forma circular, y al menos otro elemento anular dispuesto entorno al elemento central y concéntrico a éste, generando y emitiendo al mismo tiempo los elementos señales ultrasónicas de diferente frecuencia y recibiendo las señales ultrasónicas de todas las frecuencias influenciadas por el medio de investigación y aportando las señales recibidas, formadas a partir de ello, a un dispositivo de evaluación, **caracterizada por que** en el caso de un diámetro global predeterminado del transductor, el diámetro del elemento circular central y la anchura de los elementos anulares, así como las frecuencias de las señales ultrasónicas emitidas por los distintos elementos se eligen de modo que el campo lejano del campo sonoro resultante queda cubierto de manera homogénea y evitando enfoques por todas las señales ultrasónicas con diferentes frecuencias utilizadas.
- 15 2. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según la reivindicación 1, **caracterizada por que** los elementos emiten de forma continua las señales ultrasónicas.
- 20 3. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada por que** los elementos externos emiten señales ultrasónicas de una frecuencia menor que el elemento central.
- 25 4. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada por que** están previstos varios elementos anulares cuya anchura y/o su separación mutua varían.
- 30 5. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** los elementos anulares están divididos, al menos en parte, en anillos individuales estrechamente contiguos, que emiten en cada caso señales ultrasónicas de diferencia de frecuencia pequeña.
- 35 6. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada por que** el grosor de los elementos anulares es mayor que el grosor del elemento central.
7. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada por que** los elementos son elementos piezoeléctricos.
8. Unidad de emisión y recepción de ultrasonidos según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada por que** está previsto un dispositivo de recepción óptico.



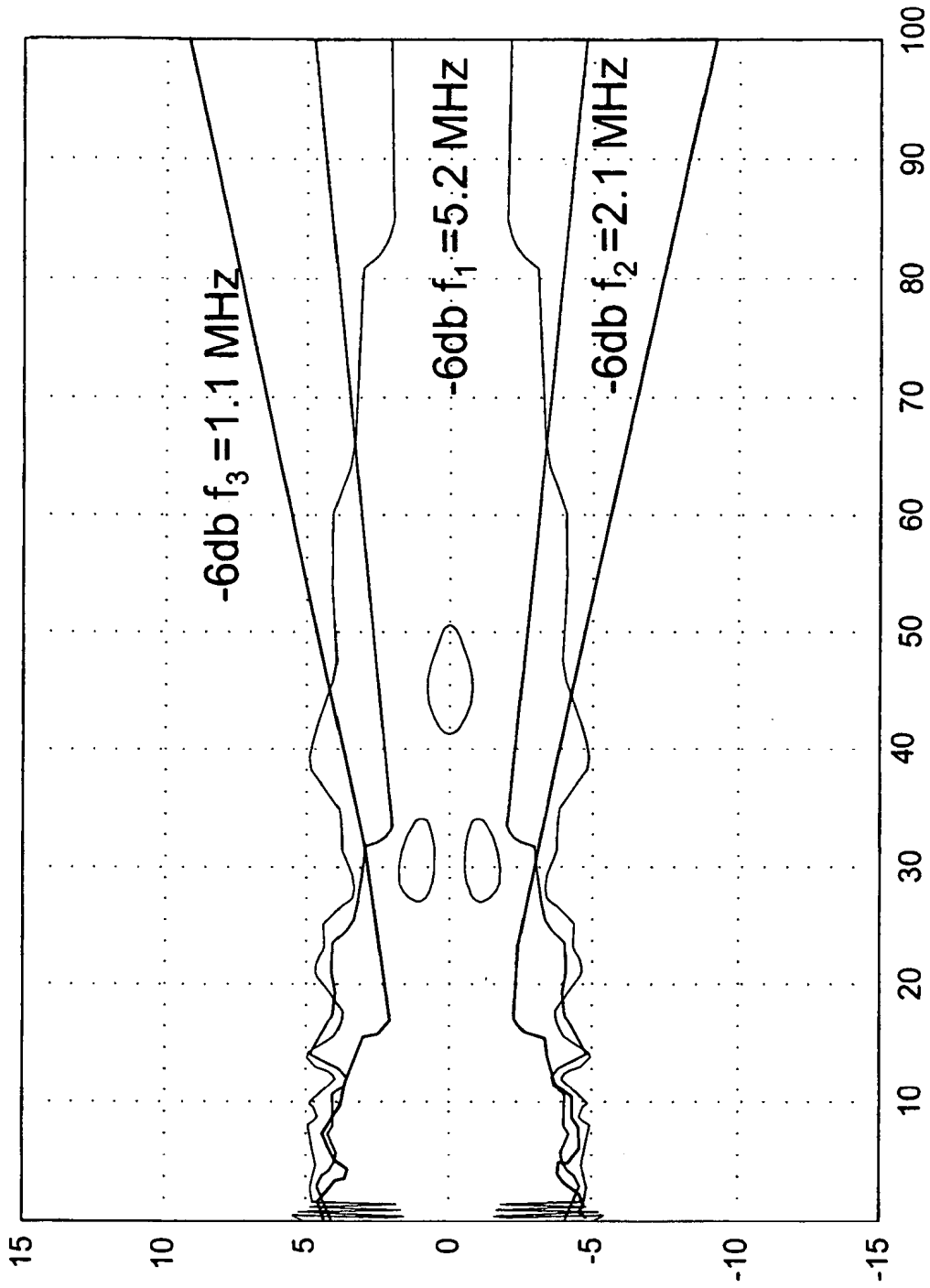
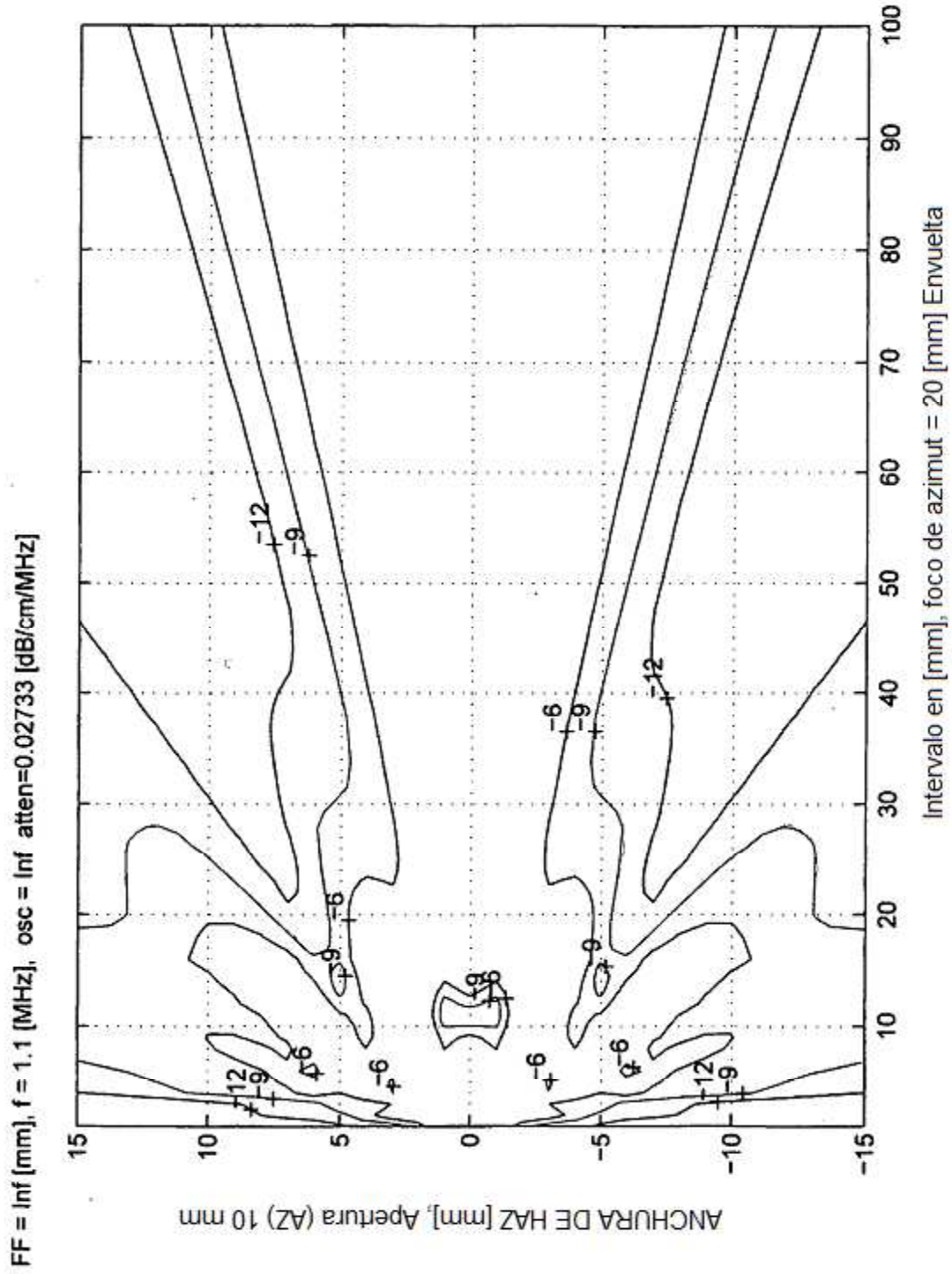


Fig. 1



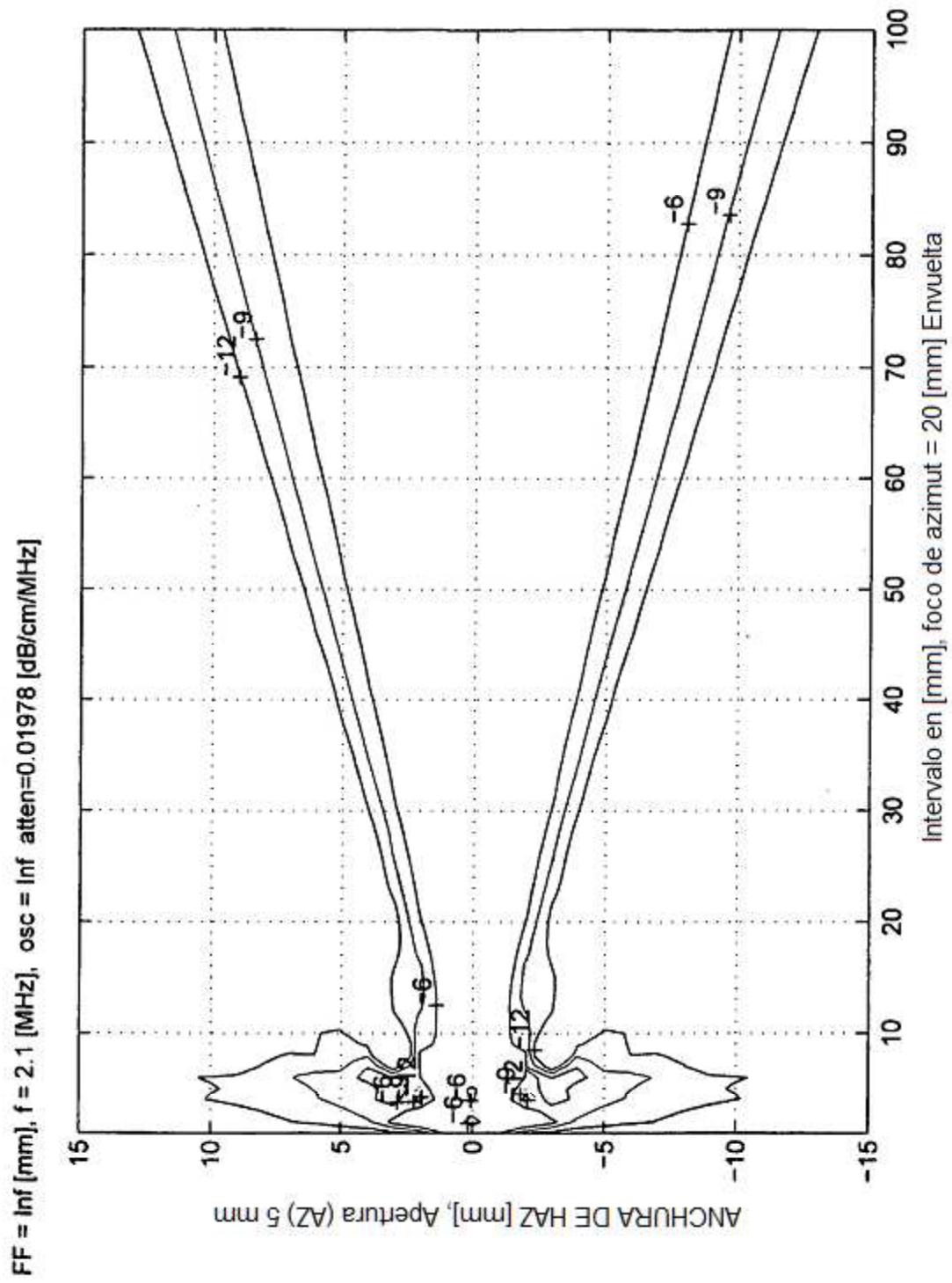


Fig. 2b

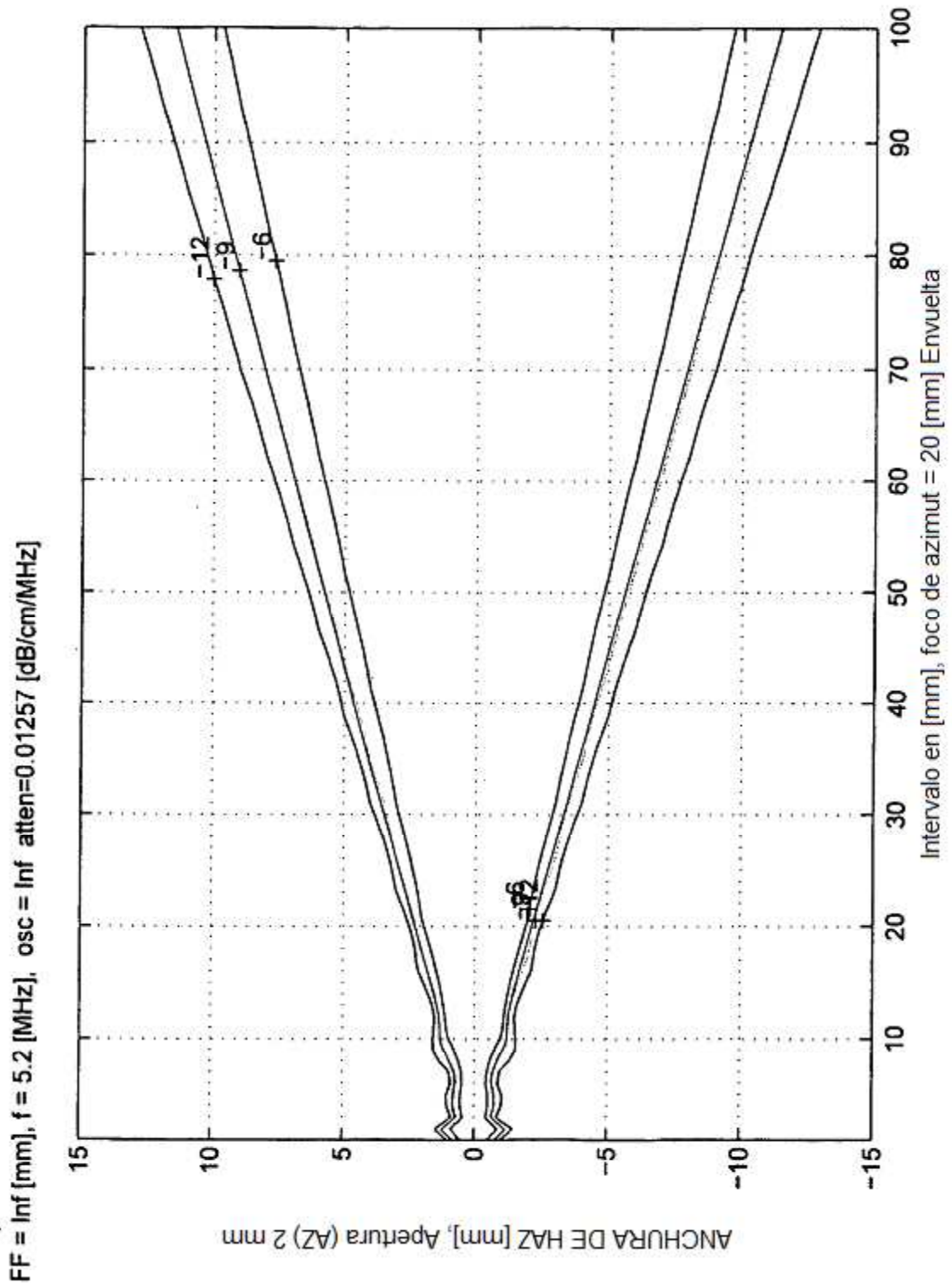


Fig. 2c

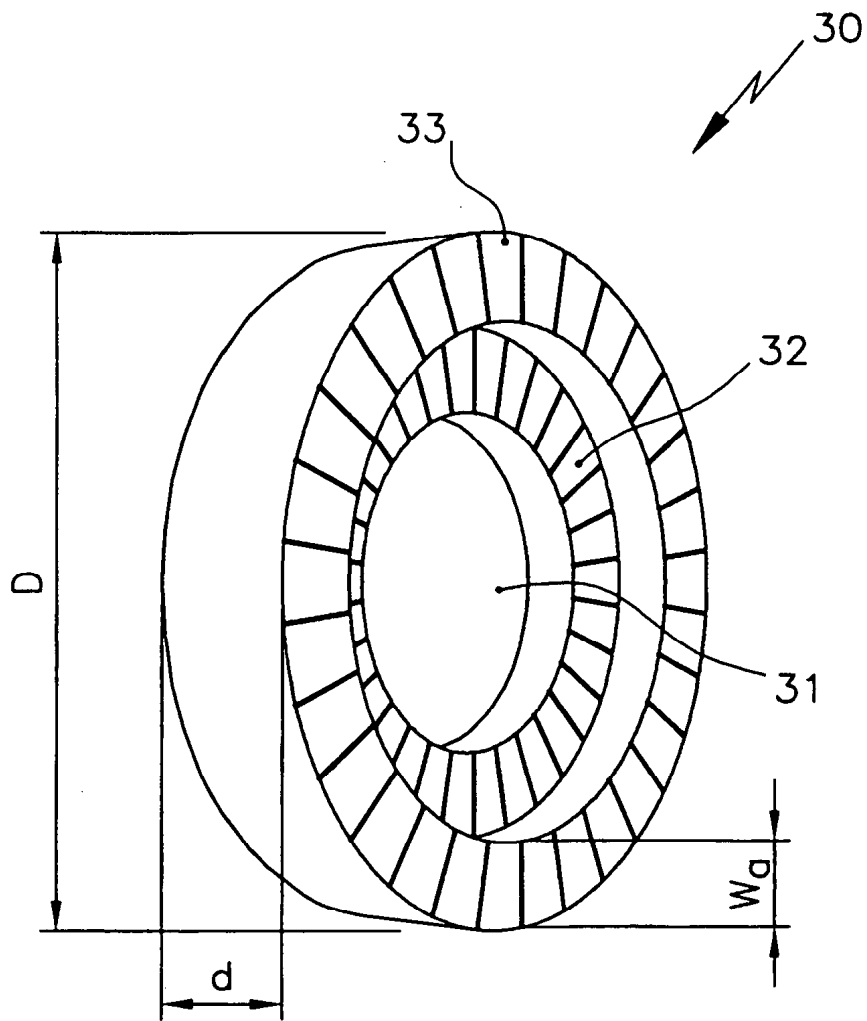


Fig. 3

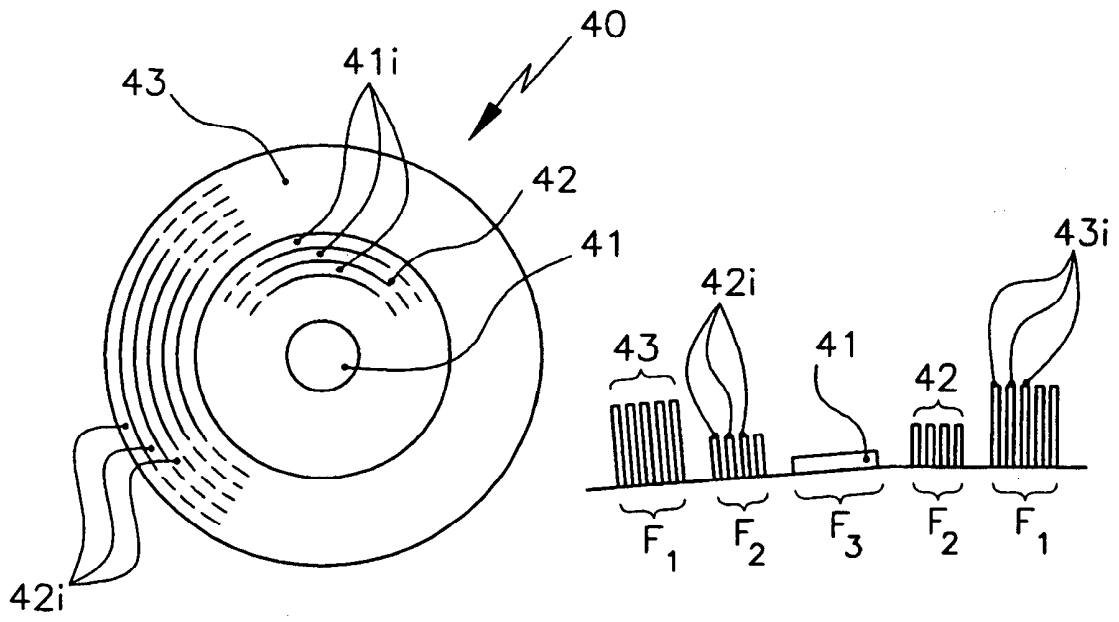


Fig. 4a

Fig. 4b