



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 315 005**

⑤1 Int. Cl.:
A61B 5/12 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **99904238 .5**

⑨6 Fecha de presentación : **22.01.1999**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **0971629**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **19.01.2000**

⑤4 Título: **Un dispositivo y procedimiento para medir la reflectancia acústica.**

③0 Prioridad: **23.01.1998 US 12695**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2009

⑦3 Titular/es: **Innovia Medical, L.L.C.**
8527 Blue Jacket Street
Lenexa, Kansas 66214, US

⑦2 Inventor/es: **Hohlfeld, Robert, G. y**
Jenkins, Geoffrey

⑦4 Agente: **González Palmero, Fe**

ES 2 315 005 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

Un dispositivo y procedimiento para medir la reflectancia acústica.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a dispositivos y procedimientos que proporcionan información acerca de una cavidad corporal sobre la base de una respuesta medida a una excitación acústica. Más particularmente, la invención se refiere a dispositivos y procedimientos que implican la medición de reflectancia acústica de componentes del oído.

10 **Antecedentes de la invención**

Muchos de los problemas en relación con las técnicas comunes de diagnóstico para patologías del oído se remediaron mediante un dispositivo que mide la reflectancia acústica, que es una magnitud relacionada con la impedancia acústica compleja del oído medio. La reflectancia acústica también se usa para analizar la fosa nasal o para medir el volumen de los pulmones. Esta tecnología también se puede usar para fines de veterinaria.

La reflectometría acústica para el oído implica la transmisión de ondas sonoras (denominadas ondas incidentes) a través del conducto auditivo hasta la membrana timpánica. Las ondas incidentes se seleccionan entre una gama de frecuencias que incluyen la frecuencia de resonancia de la membrana timpánica; idealmente, las amplitudes de las ondas incidentes son también las mismas para todas las frecuencias, pero a menudo este resultado no es obtenible. Algunas de las ondas incidentes se reflejan fuera de la membrana timpánica y demás componentes del oído. Las ondas reflejadas se pueden detectar mediante un micrófono. A fin de detectar la resonancia, el micrófono detecta el vector suma de las ondas incidentes y reflejadas en la gama de frecuencias. La envolvente de este vector suma, denominada en este documento curva de reflectancia acústica, tiene una depresión, también llamada un nulo. En la bibliografía, esta técnica de diagnóstico se denomina generalmente reflectometría u otoscopia acústica y el dispositivo se denomina generalmente reflectómetro acústico u otoscopio acústico.

Un dispositivo y una metodología apropiados para la medición de la reflectancia acústica de un oído están descritos en las patentes estadounidenses n.ºs 4.601.295 y 4.459.966 de John H. Teele (las patentes de Teele). Tales dispositivos fueron comercializados por ENT Medical Devices, Inc., de Wareham, Massachusetts, y Endeco, Inc., de Marion, Massachusetts. Con estos dispositivos, la amplitud de un pico del nulo de la curva de reflectancia acústica, llamado valor del nulo, era el fundamento principal para el diagnóstico de patologías del oído. Se descubrió que la precisión de la medición del valor del nulo obtenido con un reflectómetro acústico dependía de la línea de mira desde la punta del instrumento hasta la membrana timpánica. Este problema se superó analizando la forma de la curva de reflectancia acústica, según se muestra en la publicación PCT WO96/23293 y en la patente estadounidense 5.699.809 (Combs y col.).

Se muestra otro tipo de medición de la reflectancia acústica en las patentes estadounidenses n.ºs 5.594.174 y 5.651.351, de Douglas Keefe. Estas patentes desvelan un circuito que detecta ondas reflejadas independientemente de las ondas incidentes. Esta separación permite la determinación de la función de transferencia del canal auditivo.

La precisión de las mediciones de reflectancia acústica puede verse disminuida debido al ruido. El ruido puede ser provocado, por ejemplo, por la respuesta de una cámara acústica a una variación de frecuencia de la onda acústica que excita la cámara, o por ruido en la señal recibida. Asimismo, la normalización del dispositivo mediante el ajuste de las señales recibidas para compensar la respuesta en frecuencia del dispositivo limita la gama dinámica que puede medir el dispositivo. Finalmente, en función de la técnica del usuario, los resultados pueden ser poco fiables, particularmente si el operador no hace funcionar el dispositivo durante un período de tiempo suficiente para recoger una cantidad suficiente de datos a efectos de análisis. La presente invención supera estas dificultades para mejorar la sensibilidad y fiabilidad del dispositivo.

50 **Resumen de la invención**

Un dispositivo y procedimiento para análisis de reflectancia acústica dirige energía acústica para una gama de frecuencias que incluye frecuencias de resonancia del objeto en curso de análisis. El dispositivo detecta ondas reflejadas por el objeto para producir lo que se denomina una curva de reflectancia acústica. La amplitud de la señal electrónica aplicada a un transductor acústico a cada frecuencia se incrementa gradualmente a una amplitud deseada. Después de aplicar la señal durante un período de tiempo a la amplitud deseada, se disminuye gradualmente la amplitud. Esta técnica reduce el ruido que de lo contrario se produciría si se aplicara directamente una señal de la amplitud deseada. La señal aplicada al transductor acústico también se puede ajustar a escala conforme a una respuesta medida del dispositivo en el aire libre, es decir, sin ninguna reflectancia prevista. Normalizar la señal aplicada al transductor acústico, en lugar de la señal recibida desde un micrófono, incrementa el intervalo dinámico del dispositivo. El dispositivo también puede requerir el funcionamiento durante varios barridos por un intervalo de frecuencias incidentes a fin de garantizar que se usa la técnica apropiada para el usuario. Cuando se analizan los datos a propósito de los diversos barridos, el mejor resultado de los diversos barridos se puede almacenar como salida. La invención está definida en las reivindicaciones 1 y 2.

En un aspecto, un procedimiento para generar una señal acústica, en una guía de ondas acústicas, puede implicar la aplicación de una señal eléctrica a un transductor acústico en la guía de ondas. Para cada una de una pluralidad de frecuencias, la señal eléctrica se aplica durante un primer período de tiempo, a la vez que se incrementa la amplitud de la señal desde una primera amplitud hasta una segunda amplitud, superior a la primera amplitud. La señal eléctrica se aplica usando la segunda amplitud durante un segundo período de tiempo tras el primer período de tiempo. La señal eléctrica se aplica durante un tercer período de tiempo tras el segundo período de tiempo, mientras se disminuye la amplitud de la señal desde la segunda amplitud hasta una tercera amplitud, inferior a la segunda amplitud. En una forma de realización, la amplitud de la señal se puede ajustar a escala conforme a la reflectancia desde el aire libre al interior de la guía de ondas acústicas a cada frecuencia seleccionada. En otra forma de realización, las señales acústicas incidentes y reflejadas se pueden captar durante un período de tiempo que empieza tras el comienzo del segundo período de tiempo y que finaliza antes del final del segundo período de tiempo.

Un procedimiento para generar una señal acústica, en una guía de ondas acústicas, implica la aplicación de una señal eléctrica a un transductor acústico en la guía de ondas. Se genera una amplitud inicial deseada y la amplitud se ajusta a escala conforme a la reflectancia desde el aire libre al interior de la guía de ondas acústicas a cada frecuencia seleccionada. Se aplica al transductor acústico una señal eléctrica con la amplitud a escala.

En otro aspecto, un procedimiento para generar una señal acústica, en una guía de ondas acústicas, puede implicar la aplicación de una señal eléctrica a un transductor acústico en la guía de ondas. Siempre que esté activado un control, se realiza una serie de barridos sobre una gama de frecuencias. Cuando se han producido por lo menos cuatro barridos, se aplica en salida un resultado. Cuando se han producido menos de cuatro barridos, se confirma que los datos recogidos son insuficientes para un análisis fiable y ha tenido lugar un error del usuario. Se puede indicar al usuario dicho error.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos,

La fig. 1 es un esquema en corte de un oído, que ilustra el principio de reflectancia acústica aplicado a un oído normal;

la fig.2 es un diagrama en corte de un oído, que ilustra el principio de reflectancia acústica al aplicarse a un oído con un derrame;

la fig. 3 es un diagrama de bloques que describe un sistema según la presente invención;

la fig. 4 es un diagrama de bloques más detallado del generador de audiofrecuencia de la Fig. 3;

la fig. 5 es una representación gráfica que ilustra ocho muestras de una onda senoidal usada para generar una señal eléctrica para su aplicación al transductor acústico;

la fig. 6 es una representación gráfica que ilustra la salida del transductor acústico para dos frecuencias;

la fig. 7 es una representación gráfica que ilustra el modo en que se incrementa gradualmente y luego se disminuye gradualmente la amplitud de una señal a una frecuencia dada en una forma de realización de la invención;

la fig. 8A representa el vector suma de la reflectancia desde el aire libre usando un dispositivo según la invención; y

la Fig. 8B representa la envolvente correspondiente de la reflectancia desde el aire libre usando un dispositivo según la invención.

Descripción detallada

Se entenderá en mayor profundidad la presente invención a través de la descripción detallada que sigue, durante cuya lectura habrá que remitirse al dibujo que se adjunta, en el que números de referencia similares indican estructuras similares. Descripciones de la reflectometría acústica se hallan en las patentes estadounidenses 4.601.295 y 4.459.966 (Teele) y la patente estadounidense 5.699.809 (Combs y col.).

Se describirá un procedimiento para medir la reflectancia acústica de un oído humano en relación con las figs. 1 a 2. Conviene entender que los mismos principios se pueden aplicar a otras cavidades corporales, tales como la fosa nasal y los pulmones. Un dispositivo de este tipo también se puede usar para fines de veterinaria.

La fig. 1 muestra un oído 100 típico que tiene una membrana timpánica (una membrana del tímpano) 102, un conducto auditivo 104 y un oído medio 103. Para medir la reflectancia acústica del oído, se genera un tono de baja amplitud a una frecuencia dada, indicado por la línea 105, mediante un transductor acústico, mostrado esquemáticamente en 106. El transductor acústico genera ondas sonoras en varias frecuencias, típicamente en el intervalo de 500 hercios a 20 kilohercios. La onda sonora de baja amplitud penetra en el conducto auditivo y viene a incidir sobre la

membrana del tímpano 102. Esta onda sonora es en parte absorbida y en parte reflejada por las estructuras del oído, incluyendo la membrana timpánica, huesecillos, caja del oído medio y otros componentes del oído. La amplitud y fase de las ondas sonoras reflejadas desde estos componentes son función de la frecuencia de prueba usada y la impedancia acústica compleja de las estructuras del oído. En un oído sano, se espera cierta mínima reflexión de la membrana timpánica y el oído medio. La impedancia acústica compleja del oído medio depende a su vez, en gran manera, de las condiciones en el interior del oído medio, y en particular de si existe derrame, tal como fluido, o presión anormal presente dentro del oído medio. La vibración de una membrana normal del tímpano absorbe aproximadamente la mitad de las ondas incidentes, dando como resultado ondas reflejadas débiles, indicadas por una línea 107. Un micrófono 108 recibe tanto la onda incidente 105, como la onda 107 reflejada y ondas reflejadas desde componentes del oído, y obtiene como resultado un vector suma de los valores. Con la circuitería apropiada, se puede identificar la señal reflejada independientemente de la señal incidente.

Con referencia ahora a la fig. 2, se muestra un oído 100 que tiene un derrame 110. El derrame en el oído medio limita la vibración de la membrana del tímpano que provoca grandes ondas reflejadas, tal y como se indica en 109. La envolvente de un vector suma de ondas incidentes 105 y ondas reflejadas 109 tiene un nulo en los puntos de cuarto de longitud de onda.

La precisión de las mediciones y del análisis de la señal reflejada se puede mejorar usando varias técnicas descritas en este documento. En primer lugar, el ruido provocado por la respuesta del transductor acústico y del dispositivo a un cambio de la frecuencia de la señal acústica en curso de generación se reduce incrementando gradualmente la amplitud de la señal que excita el transductor. El intervalo dinámico del dispositivo también se puede mejorar normalizando el dispositivo mediante ajuste de la amplitud de la señal incidente para compensar la respuesta en frecuencia del servidor. Los efectos de la técnica del usuario sobre la fiabilidad de los resultados pueden verse reducidos mediante requerimiento de un número mínimo de pruebas sucesivas usando el dispositivo. Estas técnicas mejoran la sensibilidad y la especificidad, así como la fiabilidad del dispositivo.

Ahora se describirán, en relación con la fig. 3, los circuitos electrónicos en una forma de realización de la presente invención. En la fig. 3, un generador de tonos de audio 121 incluye un generador de audiofrecuencia 120, descrito con más detalle a continuación, que produce una señal eléctrica que se aplica a un transductor de audio 122. El transductor de audio genera, en respuesta a la señal eléctrica, una onda sonora de bajo nivel acústico (105 en las figs. 1 y 2), que se aplica al conducto auditivo externo. El transductor de audio 122 puede ser un auricular electrónico, un auricular electromagnético u otro tipo de transductor. El transductor puede ser un pequeño altavoz tal como se usan en los cascos de sonido de alta fidelidad.

Una parte de la onda sonora incidente es reflejada por estructuras del oído, según se ha descrito anteriormente. Estas ondas reflejadas se suman a una onda incidente mediante el micrófono 108. El micrófono puede ser un micrófono de condensador, un micrófono electrostático, dispositivo piezoeléctrico u otro tipo de micrófono. La señal entregada a su salida por el micrófono representa el vector suma de la onda incidente y las ondas sonoras reflejadas, que tiene una tensión que es inversamente proporcional a la amplitud de las ondas reflejadas.

Un detector de envolvente 124 muestrea y convierte el vector suma representado por la señal proporcionada a su salida por el micrófono en una señal envolvente representada por una tensión que varía con la frecuencia de la onda incidente. El detector de envolvente 124 se puede implementar como un detector de envolvente del valor de pico, un detector del valor eficaz de la tensión (r.m.s.), o convertidor de analógico en digital, o usando información acerca del espectro de frecuencias. La envolvente así detectada se denomina en este documento curva de reflectancia acústica.

Un analizador de forma 126 mide electrónicamente la forma de una región de la curva de reflectancia acústica para obtener un indicador del estado del oído que es sustancialmente independiente de la línea de mira desde una fuente sonora hasta la membrana timpánica. Esta información puede ser una medida de la velocidad de variación de la reflectancia acústica en relación con un cambio de frecuencia alrededor del nulo, a cada lado del nulo o en una región de la curva o de toda la curva. Esta medida puede ser un ángulo, gradiente, pendiente, anchura, u otra medida de la forma de la curva de reflectancia acústica. Esta información se presenta después en un formato apropiado mediante un visualizador 130.

En la fig. 3, se puede usar una memoria 128 para almacenar datos que representan curvas de reflectancia acústica. Con una memoria de este tipo, se puede manejar el circuito para que efectúe automáticamente cierto número de pruebas secuenciales en el oído. Se puede conservar el mejor resultado de entre las pruebas y se pueden desechar los demás. Por ejemplo, podría definirse el mejor resultado como la medición de la forma de la curva de reflectancia acústica que tenga el valor de nulo más profundo. El dispositivo también puede requerir un número mínimo de barridos a fin de proporcionar una salida válida. Se pueden requerir, por ejemplo, por lo menos cuatro barridos. Se puede suponer que ha tenido lugar un error del usuario si no se efectúa el número mínimo de barridos. Un error de este tipo se puede indicar, por ejemplo, emitiendo un destello en un visualizador.

Ahora que se ha descrito la disposición general de un circuito en una forma de realización de la invención, se describirá a continuación con más detalle el generador de audiofrecuencia 120. El generador de audiofrecuencia produce una secuencia de frecuencias discretas, típicamente en el intervalo de 500 a 20.000 Hz. En una forma de realización, la secuencia incluye veinticuatro frecuencias entre 1801 Hz y 4464 Hz, según están listadas en la Tabla 1, para generar la medición de reflectancia acústica en función de la frecuencia. Cualquier otra gama de frecuencias que demuestre

ES 2 315 005 T3

las respuestas del oído a una señal acústica que puede variar debido al estado fisiológico. El instrumento explora la secuencia de frecuencias, por ejemplo en orden creciente de frecuencia, para generar un “barrido” con una duración de aproximadamente 0,2 segundos.

TABLA 1

Freq. n.º	Hz	Freq. n.º	Hz	Freq. n.º	Hz	Freq. n.º	Hz
1	1.301	12	2.583	23	3.222	34	3.853
2	1.997	13	2.637	24	3.289	35	3.931
3	2.056	14	2.694	25	3.342	36	3.981
4	2.119	15	2.753	26	3.397	37	4.032
5	2.178	16	2.815	27	3.453	38	4.085
6	2.232	17	2.880	28	3.511	39	4.167
7	2.289	18	2.934	29	3.571	40	4.223
8	2.350	19	2.990	30	3.634	41	4.281
9	2.404	20	3.049	31	3.698	42	4.340
10	2.470	21	3.109	32	3.743	43	4.401
11	2.520	22	3.173	33	3.811	44	4.464

La figura 4 ilustra con más detalle una forma de realización del generador de audiofrecuencia 120, que también provee de control al detector de envolvente 124. El generador de audiofrecuencia 120 incluye un microprocesador 140 que, según la frecuencia deseada de la señal eléctrica que se va a aplicar al transductor de audio 122, genera una interrupción, indicada en 142, por cada muestra de la señal que se va a generar. En consecuencia, el procesador genera interrupciones que tienen lugar a una cadencia de algún factor, por ejemplo, ocho, de veces la frecuencia seleccionada. Un temporizador de emisión 144 recibe las interrupciones 142 para generar direcciones a una memoria sólo de lectura (ROM) 146 que almacena muestras de un único ciclo de una onda senoidal. La ROM 146 implementa una tabla de consulta que, según la dirección de entrada, entrega a su salida uno de los valores muestrales de la señal eléctrica en forma digital, tal y como se indica en 148. La señal 148 se aplica a un convertidor de digital en analógico (D/A) 150 para generar la señal eléctrica aplicada al transductor de audio 122. Según se examinará con más detalle a continuación, la señal 148 se puede normalizar, tal y como se indica en 152, ajustando a escala la señal 148 de acuerdo con la salida de una memoria de normalización 154, que también recibe información del temporizador 144. La interrupción 142 también se aplica a un temporizador de recepción 156 que controla un registro de muestreo 158 conectado a un convertidor de analógico en digital (A/D) 160, que recibe una señal analógica desde el micrófono 108.

En esta forma de realización, el convertidor de digital en analógico 150 usado para transmitir las ondas sonoras tiene una entrada de 8 bits y es un dispositivo unipolar. Así pues, el valor medio de la señal de la onda senoidal entregada a su salida por este convertidor D/A 150 es de 128 y la onda senoidal queda representada por la siguiente fórmula matemática:

$$x_i = \text{floor} \left(A \cdot \sin \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i}{8} \right) + 128,5 \right)$$

donde $i = 0,7$, y $A = 100$, dando valores

$$x^T = (128 \ 199 \ 228 \ 199 \ 128 \ 57 \ 28 \ 57)$$

Estas muestras se almacenan en la ROM 146. Un trazado gráfico de la muestra (véase la fig. 5) representa el muestreo resultante de la onda senoidal generada.

Como se ha señalado anteriormente, uno de los temporizadores en el microprocesador 140 genera las interrupciones 142 a algún factor de veces la frecuencia deseada. Por ejemplo, si la frecuencia deseada es 2500 Hz, el intervalo entre interrupciones es de:

$$\frac{1 \cdot \text{sec}}{8 \cdot 2500} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \text{sec}$$

Este período también define el intervalo de tiempo para la recogida de datos, puesto que las mismas interrupciones 142 se usan para la adquisición de datos. A cada interrupción, se envía al convertidor D/A 150 la siguiente entrada en la onda senoidal proporcionada a la salida de la ROM 146, efectuando un retorno cíclico a la primera entrada a la conclusión de un ciclo de la onda senoidal.

El microprocesador 140 provoca una ráfaga de un número, por ejemplo, treinta, de ciclos integrales de onda senoidal a cada frecuencia a la que se va a dar salida. El microprocesador deja pasar cierto número de períodos, por ejemplo, dos, definidos por la misma frecuencia, bien antes o bien después de la ráfaga, antes de continuar a la siguiente entrada en la tabla de frecuencias. Los diez primeros ciclos se pueden usar para estabilizar el transductor acústico en la frecuencia seleccionada, y pueden usarse tres ciclos suplementarios en cuyo transcurso se puede muestrear la salida del micrófono. El microprocesador 140 genera las interrupciones para la totalidad de las frecuencias deseadas de un barrido. El barrido entero se presenta así como una secuencia de ráfagas de números enteros de ondas senoidales de frecuencia creciente, según se ilustra en la figura 6. El microprocesador 140 puede determinar si se han hecho por lo menos cuatro barridos durante el período de tiempo desde que un usuario ha pulsado un botón de entrada.

La amplitud de la onda senoidal generada a cada frecuencia también se puede ajustar a escala sobre el tiempo, según se muestra en la figura 7. En primer lugar, durante un primer período de tiempo 200, la amplitud media puede aumentar gradualmente desde cero hasta la amplitud deseada, indicada en 202. El primer período de tiempo puede tener una duración de, por ejemplo, dos ciclos. Durante un segundo período de tiempo, tal y como se indica en 204, la señal de salida puede estar a la amplitud deseada. Este segundo período de tiempo 204 puede tener una duración de, por ejemplo, cuatro ciclos. El muestreo de los datos procedentes del micrófono puede tener lugar durante los últimos ciclos, por ejemplo, los tres últimos, del segundo período 204, tal y como se indica en 206. Finalmente, el impulso puede acabarse con un tercer período de tiempo 208 durante el cual la amplitud de la señal de salida disminuye gradualmente desde la amplitud deseada 202 hasta cero. Este tercer período de tiempo 208 puede tener una duración de, por ejemplo, dos ciclos.

Ahora que se ha descrito la generación de una señal que se va a aplicar al transductor acústico, se describirá a continuación la adquisición de una señal desde el micrófono. La señal adquirida desde el micrófono 108 es una superposición de la señal transmitida y la señal reflejada por la membrana timpánica. El micrófono 108 está conectado a un convertidor A/D 160 que genera una salida digital para su posterior procesamiento. El funcionamiento del convertidor A/D 160 se manipula sobre las mismas interrupciones que se usan para la transmisión de la señal acústica. Los valores muestreados generados por el convertidor A/D son valores digitales proporcionales a la presión instantánea en el micrófono.

La recogida de datos se produce durante un número entero de ciclos de la onda senoidal transmitida a cada frecuencia. En una forma de realización, se aplican al conducto auditivo trece ciclos de la misma amplitud. Se pueden asignar al sistema diez ciclos transmitidos para que se establezca, y después se pueden recoger datos durante tres ciclos de la onda transmitida. En la forma de realización descrita en relación con la fig. 7, tres ciclos permiten que se establezca el dispositivo a la frecuencia seleccionada, después se pueden recoger datos durante tres ciclos. Los dos ciclos restantes permiten que el dispositivo se establezca en un estado de no visualización. En ambas formas de realización, tienen lugar varios ciclos, por ejemplo dos, entre cada impulso a cada frecuencia.

Dada la señal entregada a su salida por el convertidor A/D 160, el detector de envolvente 124 mide la intensidad sonora para proporcionar una curva de reflectancia acústica. Para este propósito, se puede usar una técnica de detección de la banda base. Para cada frecuencia de la señal incidente, los valores muestreados procedentes del convertidor A/D se multiplican por ondas senoidales y cosenoidales (en cuadratura) a esa frecuencia y se suman durante cada ciclo, lo que se puede expresar matemáticamente:

$$A(k) = \sum_n \text{adq_señal}(n,k) \sin\left|\frac{n}{8}\right|; \text{ y } B(k) = \sum_n \text{adq_señal}(n,k) \cos\left|\frac{n}{8}\right|$$

donde $\text{adq_señal}(n,k)$ representa el n -ésimo valor muestreado a la k -ésima frecuencia para un ciclo dado. Los argumentos ($n/8$) de los términos trigonométricos reflejan el hecho de que se toman ocho muestras por ciclo. En la práctica, los valores de funciones trigonométricas no se calculan durante la evaluación de $A(k)$ y $B(k)$, sino que se usan más bien valores de la tabla de consulta, como se hace para la generación de la onda incidente por el generador de audio-frecuencia. Es posible promediar los valores obtenidos para $A(k)$ y $B(k)$ para los ciclos durante los que tiene lugar el muestreo para cada frecuencia.

ES 2 315 005 T3

Dados los valores de $A(k)$ y $B(k)$, la potencia $P(k)$ presente en la frecuencia fundamental de la salida del convertidor A/D 160 se puede representar como:

$$P(k) = A(k)^2 + B(k)^2$$

La reducción de la potencia normalizada detectada en cuadratura de fase a intensidad sonora se consigue tomando la raíz cuadrada de la potencia $P(k)$. La representación gráfica de la raíz cuadrada de la potencia $P(k)$ para toda k es la curva de reflectancia acústica. El cálculo de la raíz cuadrada de la potencia $P(k)$ se puede efectuar mediante búsqueda en tablas.

La potencia $P(k)$ medida se puede normalizar, antes de calcular su raíz cuadrada, para acabar con las no linealidades y para eliminar la dependencia de la frecuencia en la respuesta del conjunto acústico (cámara acústica, micrófono y altavoz) del que se obtiene la señal. Esta normalización está basada en la suposición de que, si se aplicaran las ondas incidentes en el aire libre, no debería haber reflexión medida. Así, la envolvente del vector suma entregado a su salida por el micrófono, es decir, la curva de reflectancia acústica, debería ser plana cuando se dirige la onda incidente al aire libre. Sin embargo, a causa de no linealidades en el sistema acústico, la curva de reflectancia acústica en respuesta del dispositivo al aire libre típicamente no es plana.

Por ejemplo, en la fig. 8A se muestra un vector suma real obtenido con un dispositivo que usa un generador de tonos de audio por barrido continuo cuando se aplica al aire libre. En la fig. 8A, la abscisa representa bien el incremento del tiempo, o bien la frecuencia de la onda incidente, en unidades arbitrarias. La ordenada representa la amplitud del vector suma entregado a su salida por el micrófono, en unidades arbitrarias. En la fig. 8B, la abscisa representa el incremento del tiempo o la frecuencia de la onda incidente, en unidades arbitrarias. La ordenada representa la magnitud de la envolvente, en unidades arbitrarias. Existen irregularidades apreciables en la envolvente mostrada en la fig. 8B.

El procedimiento de normalización del conjunto acústico está destinado a caracterizar la respuesta en frecuencia del sistema acústico, de modo que la variación de la frecuencia de la energía sonora reflejada desde la membrana timpánica puede medirse independientemente de la respuesta en frecuencia del instrumento. La variación de la frecuencia del sistema acústico se puede medir registrando la respuesta del instrumento operando al aire libre durante una serie de barridos.

Para cada barrido, la potencia $P(k)$ medida para todas las frecuencias k se determina según se ha descrito anteriormente. En una forma de realización, usando la potencia $P(k)$ para una frecuencia k dada, una constante de normalización para la frecuencia se puede calcular de la siguiente forma. Se identifica la potencia mínima, $\min(P(k))$, obtenida para toda frecuencia. Se calcula entonces una constante de normalización, $\text{Norm}(k)$, para cada frecuencia k de tal modo que, cuando se pone el dispositivo en funcionamiento al aire libre, los valores de $P(k)$ para toda k se ajustan a un valor S , por ejemplo, 255, correspondiente al máximo valor cuadrático muestreado. Tales constantes de normalización para cada frecuencia se pueden calcular conforme a la siguiente ecuación:

$$\text{Norm}(k) := \frac{S \min(P(k))}{P(k)}$$

Esta constante de normalización $\text{Norm}(k)$ se usa para ajustar a escala la potencia $P(k)$ medida para una frecuencia k dada, antes del cálculo de la raíz cuadrada de $P(k)$.

Durante la normalización, se puede efectuar una comprobación de errores para garantizar que el conjunto acústico está rindiendo dentro de las tolerancias previstas. El intervalo previsto de rendimiento del conjunto acústico es un factor de dos en amplitud (presión) de la onda sonora durante la normalización, o un factor de cuatro en potencia. La rutina de normalización puede verificar que la potencia mínima medida en el intervalo de canales es mayor que de la potencia máxima medida en el intervalo de canales o, de lo contrario, indicar un error. Una prueba de este tipo viene representada por la siguiente ecuación:

$$\min(P(k)) > \frac{1}{4} \max(P(k))$$

El conjunto de constantes de normalización determinado de este modo se puede escribir en una memoria no volátil en el dispositivo. Estas constantes de normalización pueden ser permanentes para un dispositivo y se pueden fijar cuando se fabrica el dispositivo. Aunque, como alternativa, el dispositivo podría diseñarse para permitir a un usuario el reglaje periódico del dispositivo.

También se pueden efectuar la normalización ajustando la amplitud de la señal incidente creada por el generador de audiofrecuencia, en lugar de ajustando la salida del convertidor A/D. Al efectuar la normalización ajustando la amplitud de la señal incidente, se puede utilizar el intervalo dinámico máximo del convertidor A/D, permitiendo con

ES 2 315 005 T3

ello el uso de dispositivos menos sensibles y, así, menos costosos para el transductor y el micrófono, y mejorando los resultados del análisis de la medición hecha por el dispositivo. El ajuste de la señal incidente se puede efectuar ajustando a escala la amplitud de la señal incidente prevista que usa una constante multiplicativa. Una manera de determinar la constante multiplicativa para una frecuencia k dada implica el uso de la constante de normalización $\text{Norm}(k)$ y la siguiente ecuación: $1/\sqrt{\text{Norm}(k)}$. Este valor se usa para ajustar a escala la tensión aplicada al convertidor D/A, de modo que la señal resultante recibida por el convertidor A/D es sustancialmente constante durante todas las frecuencias cuando se dirige el dispositivo al aire libre.

Ahora que se han descrito algunas formas de realización de la invención, tendría que ser evidente para el experto en la técnica que cuanto antecede es simplemente ilustrativo y no limitativo, habiéndose presentado únicamente a título de ejemplo. Numerosas modificaciones y otras formas de realización están al alcance de un experto en la técnica normal y se contempla que caigan dentro del alcance de la invención, según está definida por las reivindicaciones que se adjuntan.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para generar una señal acústica, en una guía de ondas acústicas, mediante aplicación de una
señal eléctrica a un transductor acústico en la guía de ondas, que comprende las etapas de:

generar una amplitud inicial deseada;

ajustar a escala la amplitud conforme a la reflectancia desde el aire libre al interior de la guía de ondas acústicas a
cada frecuencia seleccionada;

aplicar al transductor acústico una señal eléctrica con la amplitud a escala.

2. Un dispositivo (120) para generar una señal acústica, en una guía de ondas acústicas, mediante aplicación de
una señal eléctrica (148) a un transductor acústico (122) en la guía de ondas, que comprende:

medios (144) para generar una amplitud inicial deseada;

medios (154) para ajustar a escala la amplitud conforme a la reflectancia desde el aire libre al interior de la guía de
ondas acústicas a cada frecuencia seleccionada;

medios para aplicar al transductor acústico una señal eléctrica con la amplitud a escala.

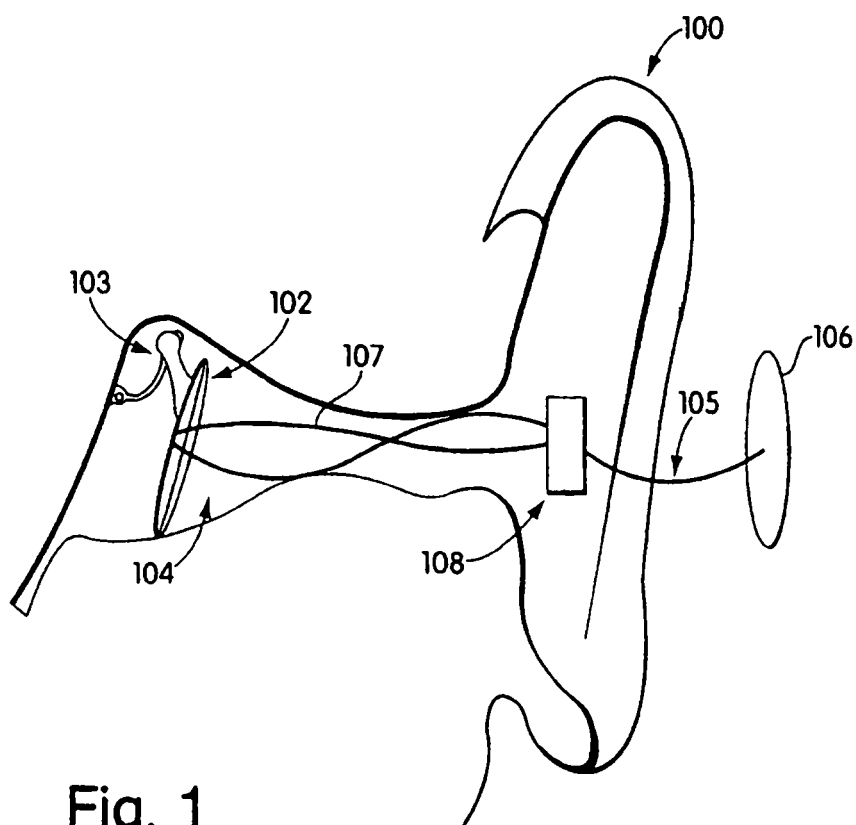


Fig. 1
(Técnica anterior)

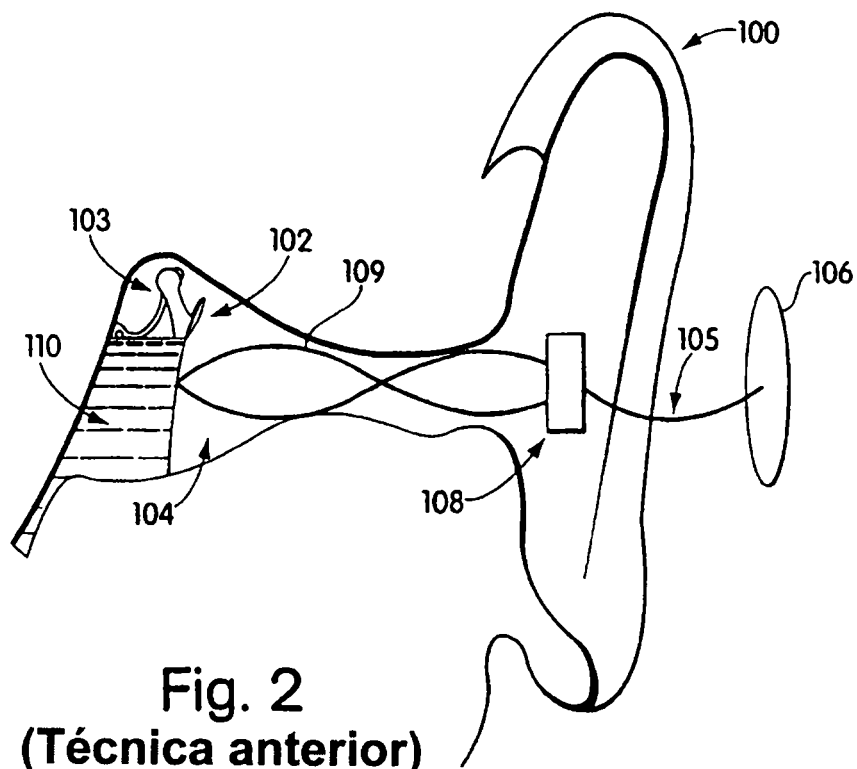


Fig. 2
(Técnica anterior)

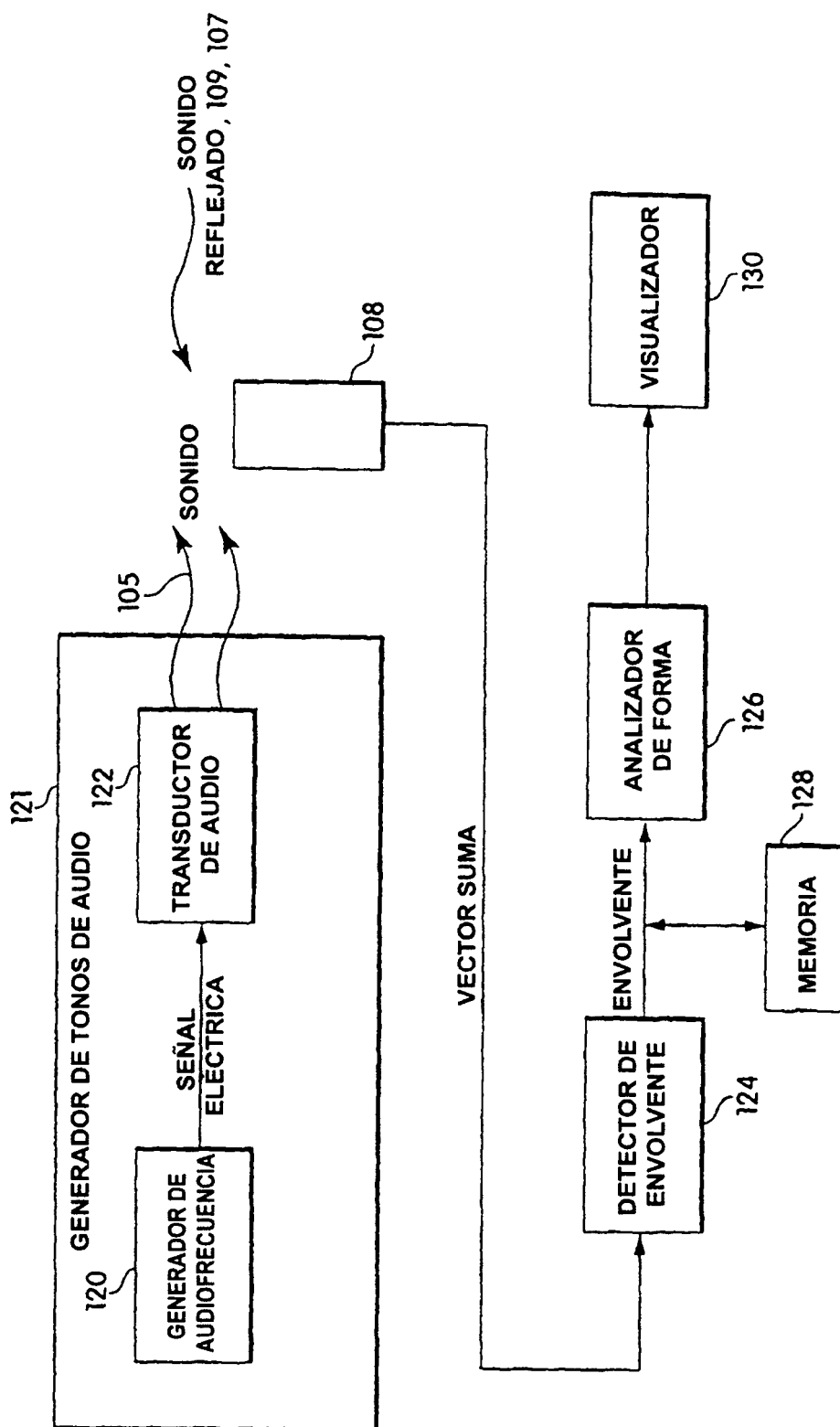


Fig. 3

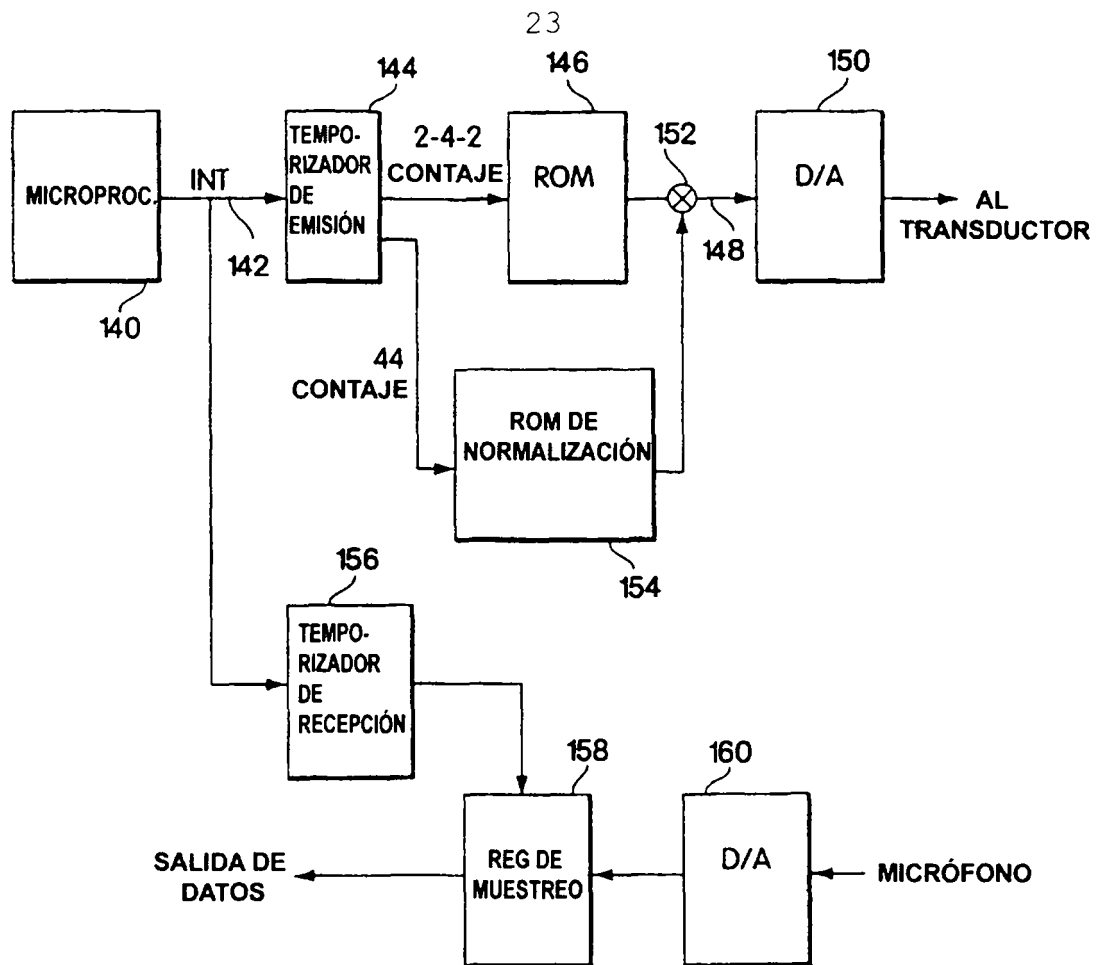


Fig. 4

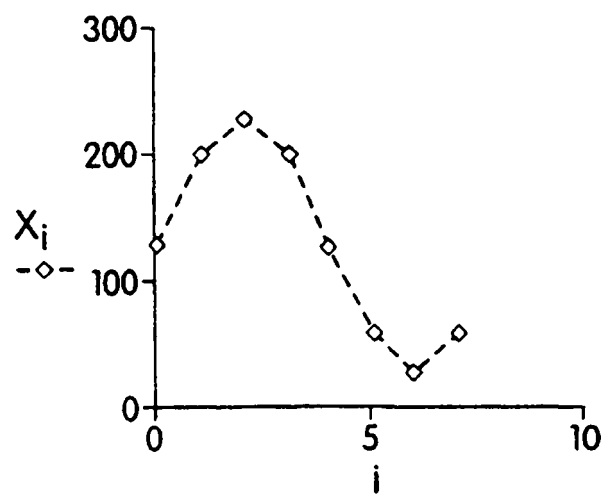


Fig. 5

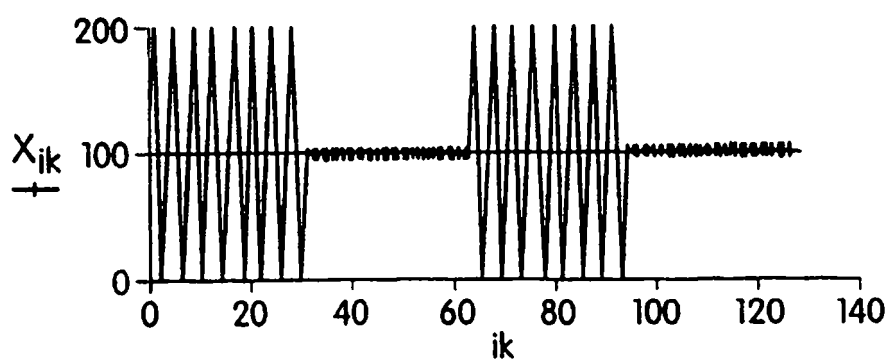


Fig. 6

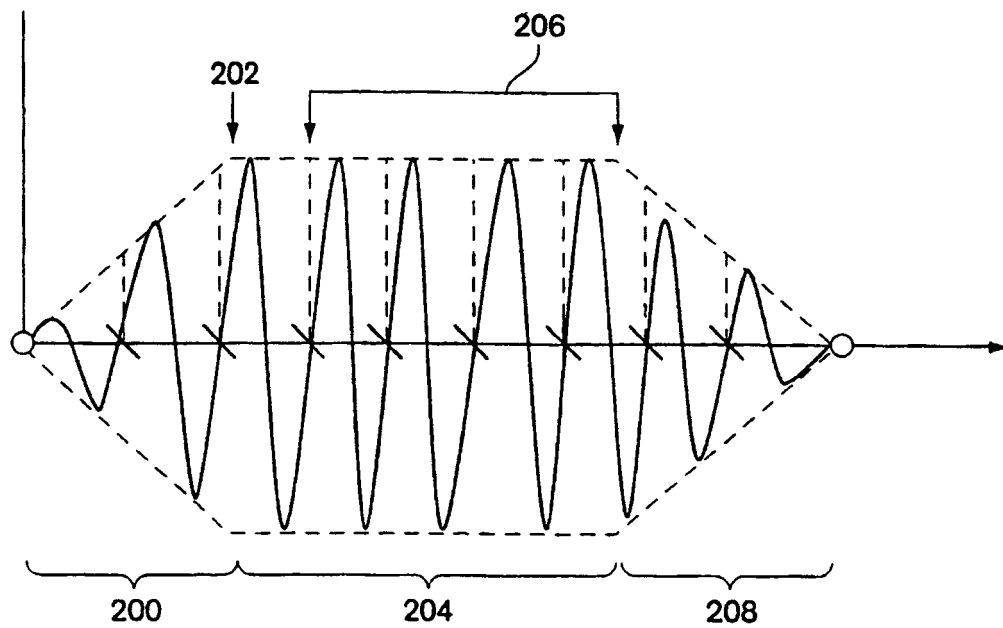


Fig. 7

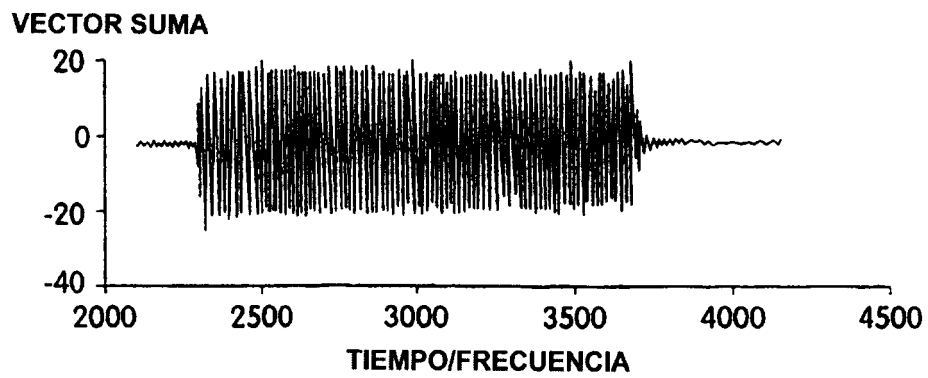


Fig. 8A

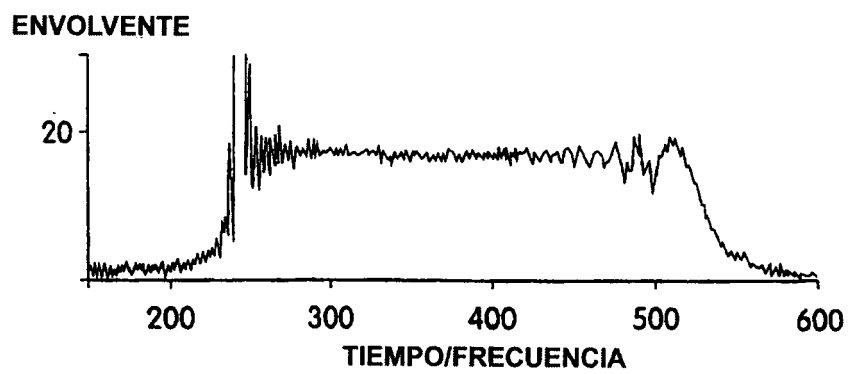


Fig. 8B