

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 813**

51 Int. Cl.:

H04R 1/40 (2006.01)

H04R 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.10.2007** **PCT/GB2007/003918**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2008** **WO08047089**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.10.2007** **E 07824169 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019** **EP 2090137**

54 Título: **Configuración de altavoces**

30 Prioridad:

16.10.2006 GB 0620488

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

03.03.2020

73 Titular/es:

MARTIN AUDIO LIMITED (100.0%)
Century Point, Halifax Road, Cressex Business
Park High Wycombe
Bucks HP12 3SL, GB

72 Inventor/es:

THOMPSON, AMBROSE CHARLES T.

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 745 813 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

Configuración de altavoces

5 La presente invención se refiere a la configuración de agrupaciones de altavoces.

Antecedentes

10 Los sistemas de altavoces verticalmente dispuestos, o "agrupaciones en línea", son actualmente la forma predominante de sistema usado en los sistemas de sonido para giras a gran y mediana escala. En la figura 1 se muestra una agrupación lineal habitual. La agrupación lineal 1 comprende varios elementos de altavoz 2 dispuestos verticalmente que están suspendidos del techo de un recinto en cadenas de suspensión 3. Como se muestra en la figura 2, el ángulo de separación x_i entre elementos cercanos se ajusta por medio de una barra de ajuste 4 que permite diferentes graduaciones para el espaciado entre la parte trasera de los elementos, mientras que la distancia entre la parte delantera de los elementos permanece fija.

15 Debido a la compleja naturaleza de las interacciones de los altavoces elementales, se dispone una gran cantidad de herramientas CAD que predicen la salida de una agrupación o combinación dada. Dichas herramientas incluyen EASE, de ADA (www.ada-library.de), CATT, de CATT-Acoustic (<http://www.catt.se/>), y DISPLAY, de Martin Audio (www.martin-audio.com). Este tipo de sistemas han estado disponibles durante al menos 10 años.

20 Para diseñar una agrupación con estas herramientas, el usuario modifica manualmente los ángulos de separación entre un elemento de altavoz y el siguiente en la agrupación y comprueba la salida; este proceso se repite hasta lograr una salida aceptable.

25 Algunos de los factores importantes para el éxito del método manual de diseño de agrupaciones son:

1. Precisión del modelo de radiación usado para predecir la salida de la agrupación.
2. El modelo mental del usuario sobre cómo funciona el sistema de sonido completo.
- 30 3. Velocidad de retroalimentación al usuario de la predicción del sistema CAD.
4. Tamaño y granularidad del dominio usado.
5. Tiempo disponible para que el usuario encuentre una solución usando el sistema CAD.

35 La presente invención tiene como objetivo mejorar este método de configuración de agrupaciones de altavoces para su uso de manera que proporcionen el campo de sonido deseado.

40 El modelo de radiación simple que forma la base para prácticamente todas las herramientas CAD de agrupación se ha denominado modelo de fuente puntual direccional. La presión en los puntos de receptor r se forma a partir de la suma compleja de la presión de todas las fuentes elementales. Cada fuente elemental tiene un "globo" de presión complejo medido asociado a un conjunto de frecuencias f y una orientación. El cálculo define un rayo desde cada fuente a cada punto de receptor, para cada frecuencia la presión donde el rayo se interseca con el globo se determina a través de una compleja interpolación de puntos medidos cercanos, y, a continuación, esta presión se propaga a los puntos de receptor para proporcionar una amplitud de presión $P(r, f)$ (H. Staffeldt. Prediction of sound pressure fields of loudspeaker arrays from loudspeaker polar data with limited angular and frequency resolution – 108ª convención de la Audio Engineering Society, Preprint: 5130, 2000). Se supone que los datos medidos para cada fuente, que se usan para determinar el 'globo', se obtienen en el campo lejano para esa fuente y que la presencia de recintos cercanos no es significativa, ya que los recintos cercanos rara vez están presentes cuando se realizan mediciones de la fuente. A pesar de esta última suposición, se cree que el modelo simple da una buena indicación de la presión esperada en los puntos de receptor.

50 Muchos usuarios de sistemas CAD encargados del diseño manual de agrupaciones verticales solo evalúan el rendimiento en una delgada franja de la normal del recinto con respecto a la parte delantera de la agrupación. Este método permite una retroalimentación relativamente rápida en comparación con los cálculos del plano de audiencia completo y se ha descubierto que un buen rendimiento en la franja refleja, en general, un buen rendimiento en el cálculo completo, suponiendo que cada elemento tenga una direccionalidad horizontal consistente. Los ejemplos de la invención que se dan a continuación siguen esta convención, pero la invención también permite la incorporación de puntos fuera de la franja, a la vez que se evita un cálculo completo.

60 La presentación normal del rendimiento a lo largo de la franja para el usuario emplea, o bien respuestas de frecuencia superpuestas en diferentes puntos de receptor, o bien representaciones gráficas superpuestas de presión en los puntos de receptor para diferentes frecuencias (representaciones gráficas de distancia). Ambas vistas se vuelven engorrosas cuando se superponen más de 10 gráficas y no funcionan cuando los puntos de frecuencia y receptores son del orden de 100 o más. Lo que se requiere es poder ver la presión en todos los puntos de receptor y en todas las frecuencias a la vez. Esto puede lograrse con una representación gráfica 3D donde el eje x representa la frecuencia, el eje y el índice de posición del receptor y el eje z la presión. Conceptualmente es como apilar todas las representaciones gráficas de respuesta de frecuencia a lo largo del eje y o, de hecho, todas las representaciones

gráficas de distancia a lo largo del eje x. De esta manera, el resultado de cualquier cambio se ve a través de todo el intervalo de frecuencia y posición. Dichas representaciones gráficas en 3D se muestran en las figuras, que se analizan a continuación, para el rendimiento de las agrupaciones de altavoces de la invención.

5 El documento EP 1 523 221 A2 desvela un sistema para configurar un sistema de alta fidelidad doméstico, en particular, los altavoces de subgraves del mismo. Se coloca un altavoz de subgraves en posibles posiciones y se mide la función de transferencia del sistema muestreando un sonido de prueba con un micrófono en una o varias posiciones de escucha. El número de funciones de transferencia disponibles aumenta al modificar las medidas con otras para añadir retardo a la señal de sonido antes de que la reproduzca el altavoz de subgraves, etc. Las configuraciones que tienen más de un altavoz de subgraves se realizan superponiendo las funciones de transferencia. Por lo tanto, el sistema no modela la propagación del sonido en el espacio, sino que simplemente mide la salida (es decir, el sonido en la posición de escucha) empíricamente. El sistema busca entre los posibles sistemas y los clasifica por diversos aspectos de su función de transferencia, lo que permite elegir uno.

15 El documento GB 2 259 426 A desvela otro sistema de audio cuyo rendimiento se mide empíricamente. Se usa una agrupación de altavoces para producir una directividad constante en un amplio intervalo de frecuencias. Se miden las funciones de directividad entre cada altavoz de la agrupación y cada una de una serie de posiciones equidistantes de la agrupación y, a continuación, se calculan las funciones de filtro de compensación, usándose las funciones de filtro por los filtros digitales respectivos a los altavoces que modifican la señal de sonido común antes de que se aplique a los altavoces individuales.

25 El documento US 2005/031135 A1, publicado el 10 de febrero de 2005, desvela un sistema para la configuración de un sistema de audio para un espacio dado. El sistema puede analizar estadísticamente configuraciones potenciales del sistema de audio para configurar el sistema de audio. Las configuraciones potenciales pueden incluir las posiciones de los altavoces, el número de altavoces, los tipos de altavoces, las posiciones de escucha, los factores de corrección o cualquier combinación de los mismos.

30 El análisis estadístico puede indicar al menos una métrica de la configuración potencial, que incluye indicar la consistencia de las funciones de transferencia previstas, la planitud de las funciones de transferencia previstas, las diferencias en nivel de presión sonora general de asiento a asiento para las funciones de transferencia previstas, la eficiencia de las funciones de transferencia previstas, o la salida de las funciones de transferencia previstas. El sistema también proporciona una metodología para seleccionar las localizaciones de los altavoces, el número de altavoces, los tipos de altavoces, los factores de corrección, las posiciones de escucha o una combinación de estos esquemas en un sistema de audio que tiene una única posición de escucha o múltiples posiciones de escucha.

35 El documento US 5233664 A, publicado el 3 de agosto de 1993, desvela un sistema de altavoces que incluye un terminal de entrada común para recibir una señal de audio a radiar acústicamente; varias unidades de altavoz; varios filtros digitales conectados entre el terminal de entrada común y las unidades de altavoz, y un coeficiente de filtro para cada uno de los filtros digitales. Las unidades de altavoz están dispuestas en línea, en forma de matriz o en forma de nido de abeja.

45 Bill Webb et al, "Advances in line array technology for live sound", 18ª conferencia de AES UK: Live sound, publicado el 1 de abril de 2003, expone posibles razones para que el principio de agrupación lineal se aplique al sonido en vivo y explica los factores a considerar en la implementación de un diseño práctico. En particular, para la curvatura de la agrupación, el documento propone usar un modelo informático que optimiza automáticamente la curvatura para adaptarse a un recinto.

50 Un artículo en la revista "The Edge", abril de 2005 por Martin Audio, describe una herramienta para predecir el sonido de las agrupaciones lineales y cómo puede usarse en un enfoque iterativo para el diseño del sistema de sonido. La herramienta determina automáticamente todos los ángulos de separación de una agrupación.

Sumario de la invención

55 La presente invención proporciona métodos para configurar agrupaciones de altavoces y productos de programas informáticos como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

60 Los ejemplos de la invención se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, de los que:

- FIGURA 1 es una vista en perspectiva de un típico sistema de altavoces de agrupación lineal;
- FIGURA 2 es una vista lateral del mecanismo mecánico para ajustar el ángulo de separación entre dos elementos de agrupación lineal;
- FIGURA 3 es una sección transversal a través de un recinto que muestra los puntos en los que se evalúa la presión producida por la agrupación de altavoces;
- FIGURA 4 es un diagrama de bloques de sistema del sistema informático de la presente invención;

FIGURA 5 muestra el rendimiento polar hemisférico de un elemento de las agrupaciones lineales simuladas en los ejemplos de la invención;
 FIGURA 6 muestra el rendimiento de una agrupación lineal optimizada usando una optimización en un segundo ejemplo;
 5 FIGURA 7 muestra el rendimiento de una agrupación lineal ajustada manualmente;
 FIGURA 8 muestra el rendimiento de una agrupación lineal optimizada usando una optimización en un primer ejemplo;
 FIGURA 9 muestra el rendimiento de una agrupación lineal optimizada usando la optimización de la invención en un tercer ejemplo que usa una función objetivo que comprende un componente de fuga;
 10 FIGURA 10 muestra el rendimiento de una agrupación lineal optimizada usando una optimización en un cuarto ejemplo que usa una función objetivo que comprende un componente de planitud;
 FIGURA 11 muestra una agrupación clúster de elementos de altavoz optimizada usando la presente invención;
 FIGURA 12 muestra una agrupación de altavoces colocados en el suelo optimizada usando la presente invención.

Descripción de los ejemplos

En la presente invención se usa un sistema informático para optimizar la configuración de una agrupación de altavoces.

La optimización es una rama de las matemáticas que abarca las técnicas que tratan de encontrar los N parámetros $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^N$ que minimizan una función objetivo $\varepsilon(\mathbf{x})$, incluyendo opcionalmente restricciones en los parámetros. Una clasificación simple entre las técnicas es si el método de cálculo usa el gradiente de la función objetivo con el fin de determinar la dirección de la búsqueda en el espacio de parámetros. Una de esas clases de método de cálculo que no es la "búsqueda generalizada de patrones" se describe de manera introductoria en J.E. Dennis J. Virginia, Derivative-free pattern search methods for multidisciplinary problems, Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica, páginas 922-932, 1994 y analizada más a fondo en C. Audet y J. Dennis, Analysis of generalized pattern searches, TR00-07 Departamento de matemática computacional y aplicada, Universidad de Rice, Houston.

La búsqueda de patrones del método 1 puede verse como una búsqueda de rejilla adaptativa en el espacio de búsqueda, donde la red o malla M se define por el tamaño de malla, $\Delta \in \mathbb{R}_+$ y un conjunto de direcciones $D \subset \mathbb{R}^N$ cuyas combinaciones lineales positivas abarcan $\mathbb{R}^N$. Los candidatos para la evaluación de la función objetivo se determinan sondeando puntos cercanos, después de una búsqueda inicial opcional de la malla usando algún otro medio. Una secuencia habitual de etapas adoptadas por un método de búsqueda de patrones se muestra a continuación en el método 1, que describe el método en inglés estructurado.

Método 1 de búsqueda de patrones

Require: x_k, Δ_k for $k = 1$

```

1: while no se cumplan los criterios de detección do
2:     BÚSQUEDA: realizar una búsqueda global desde cualquier punto de búsqueda en  $M_k$  o heurísticamente o
        con algún conocimiento del modelo para decidir candidatos para la evaluación
3:     if se encuentra punto de malla mejorado ( $\varepsilon(x_{k+1}) < \varepsilon(x_k)$ ) then
4:         aumentar opcionalmente el tamaño de malla ( $\Delta_{k+1} \geq \Delta_k$ )
5:         punto de búsqueda llega a ser este punto mejorado
6:         break
7:     else
8:         SONDEO: mirar puntos cercanos en la malla
9:         if se encuentra punto de malla mejorado ( $\varepsilon(x_{k+1}) < \varepsilon(x_k)$ ) then
10:            punto de búsqueda llega a ser este punto mejorado
11:            break
12:        else
13:            reducir tamaño de malla ( $\Delta_{k+1} < \Delta_k$ ) {Este punto es un optimizador local de malla}
14:            punto de búsqueda llega a ser este punto
15:            break
16:        end if
17:    end if
18:    aumentar k
19: end while
    
```

Tabla 1

El método se centra en un punto óptimo comprobando los puntos cercanos al punto actual para ver si son mejores y, si no, se reduce el tamaño de la malla de manera que puedan encontrarse los puntos más cercanos. La etapa opcional de aumentar el tamaño de la malla (etapa 4) consiste en ayudar a encontrar otros mínimos en el espacio de búsqueda. Las iteraciones pueden detenerse de acuerdo con diversos criterios, por ejemplo, el tiempo o el número de iteraciones, el tamaño de malla, el cambio relativo en la función objetivo o un valor absoluto de la función objetivo pueden usarse para los criterios de detención.

En un primer ejemplo, el método 1 se usa para optimizar los ángulos de separación de una agrupación lineal. (Sin embargo, pueden usarse otros métodos de cálculo de optimización, ya sea que usen el gradiente de la función objetivo o de otro modo). Tomando una agrupación vertical específica de N altavoces elementales excitados uniformemente idénticos como ejemplo, estos se caracterizan por un conjunto de ángulos de separación $\mathbf{x}$, siendo cada uno de los mismos el ángulo entre un elemento y el siguiente. La agrupación lineal se modela, en su conjunto, en una posición fija en un recinto, que a su vez se define por un conjunto de planos de audiencia $\mathbf{r}_a$ y de no audiencia $\mathbf{r}_{na}$.

La presión de sonido complejo resultante producida por la agrupación de altavoces en los puntos de audiencia es una matriz $\mathbf{P}$ que tiene elementos $[\mathbf{P}]_{i,j} = P(\mathbf{r}_a, \mathbf{f}, \mathbf{x})$ donde $\mathbf{x}$ es el conjunto de los ángulos de separación (un parámetro), $\mathbf{f}$ es un conjunto de frecuencias discretas f_j y $\mathbf{r}_a$ es un conjunto de posiciones de audiencia $\mathbf{r}_i$. Las posiciones están numeradas con un índice de posición i desde 1 en la posición más cercana a la agrupación de altavoces que aumenta con la distancia hasta el máximo más alejado de la agrupación de altavoces. En cada iteración k , se calcula esta matriz y, a continuación, se evalúa una función objetivo basada en $\epsilon(\mathbf{P})$ para ver si se ha encontrado una configuración mejor para la agrupación. La función de presión se evalúa en un conjunto de puntos de localización discretos en el recinto y para un conjunto discreto de frecuencias. Esta discretización de las variables independientes establece el nivel de detalle fino que puede resolverse. La variable espacial se define a intervalos en la región de 0,1 m a 1,0 m. La frecuencia se divide en bandas de 1/36 de octava y es adecuada para representar la mayoría de las respuestas de frecuencia. La función de presión P se evalúa usando un ordenador que usa el modelo de fuente de punto direccional, como, por supuesto, se realiza en los sistemas CAD conocidos.

La figura 3 muestra el conjunto de puntos usados en este ejemplo. La figura 3 muestra la sección transversal a través de un recinto 10 con la agrupación lineal 1 suspendida en un extremo. Se muestra un conjunto de puntos de localización 11 que son habituales de dónde estaría la audiencia en los asientos inclinados. Como se trata de un corte vertical en 2D a través del recinto (en particular a través de los elementos de agrupación y en el eje del mismo) y puesto que se toma como representativo de todo el recinto, los puntos se denominan "planos de audiencia". Los puntos o "planos" de no audiencia se definen en el techo del recinto o planos de audiencia no usados.

El método de optimización usado espera una función objetivo que devuelve un único número positivo real, ya que es fácil de comparar con el valor anterior para determinar cuál es mejor. A continuación se dan varios ejemplos de la función objetivo usada. Estas funciones objetivas serían adecuadas para usar con los muchos otros métodos de optimización que existen. En términos de amplitudes de presión complejas $\mathbf{P}$ en los planos de audiencia, podría ser deseable, como primer ejemplo, que las presiones tuvieran la misma magnitud fija en todas partes en todas las frecuencias. La experiencia ha demostrado que una amplitud de presión uniforme en cada posición y frecuencia no es un objetivo muy útil y entra en conflicto con las expectativas psicoacústicas de las audiencias.

En un segundo ejemplo para las funciones objetivo, el destino $P_{\text{destino}}(\mathbf{r}_a, \mathbf{f})$ se define de la siguiente manera. P_{destino} se define solo en posiciones de audiencia y su valor en otras partes no se tiene en cuenta en la función objetivo. Se establece una forma de destino para la distribución de presión en los planos de audiencia eligiendo una posición de "mezcla" $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$ en algún punto alejado de la agrupación en la sección de planos de audiencia, y eligiendo los niveles de sonido, ΔP_{inicio} y $\Delta P_{\text{detención}}$, en relación con la presión arbitraria en $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$ para posiciones en los extremos de la sección de planos de audiencia. Entre cada punto de extremo y la posición de mezcla, la presión de destino tiene un gradiente constante. La posición de mezcla está destinada a ser aquella en la que el ingeniero de mezclas mezcla los sonidos que produce la agrupación de altavoces.

Los valores habituales crean un destino que cae progresivamente en amplitud al aumentar la distancia de la agrupación. Se estipula una respuesta de frecuencia plana en todas las posiciones en el destino P_{destino} de manera que los ingenieros de mezclas puedan ajustar globalmente el espectro a su gusto.

La función objetivo para los dos ejemplos compara, en cada punto, la presión producida por la agrupación de altavoces tal como se calcula con la presión de destino y suma una medida indicativa de esas diferencias.

En un tercer ejemplo, la función objetivo tiene además del criterio principal de una presión de destino, una medida que indica la planitud de la respuesta de frecuencia en cada posición de audiencia. Para cada punto, se determina la amplitud de presión promedio sobre la frecuencia; se indica una respuesta más plana calculando una medida de lo cerca que están los valores de presión, en todas las frecuencias en esa posición, del promedio.

De acuerdo con la invención, la función objetivo tiene, además del criterio principal de una presión de destino, una segunda medida que cuantifica el "campo de fuga", definido como una medida indicativa del tamaño relativo (por

ejemplo, la proporción) de la presión total entregada a las posiciones de no audiencia en comparación con la presión total entregada a las posiciones de no audiencia.

Las medidas de las derivadas parciales con respecto a la frecuencia o la posición en la superficie resultante podrían, como ejemplos quinto y sexto de las funciones objetivo, minimizarse en la frecuencia y la posición.

La función objetivo también puede ser una combinación ponderada de los ejemplos dados anteriormente, por ejemplo, un promedio ponderado. La función objetivo combinada $\varepsilon(\mathbf{x})$ se da a continuación en la ecuación 1, donde el coeficiente c_n controla la importancia relativa de los diversos componentes.

$$\varepsilon(\mathbf{x}) = C_1 \cdot \varepsilon_{\text{destino}} + C_2 \cdot \varepsilon_{\text{fresp}} + C_3 \cdot \varepsilon_{\text{fuga}} + C_4 \cdot \frac{\varepsilon_{\partial p}}{\partial r} + C_5 \cdot \frac{\varepsilon_{\partial p}}{\partial f} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde $\varepsilon_{\text{destino}}$ es la medida de cuán cerca se ajusta el campo de sonido calculado al campo de sonido de destino, $\varepsilon_{\text{fresp}}$ es la medida de la planitud de la respuesta de frecuencia, $\varepsilon_{\text{fuga}}$ es la medida de la fuga del campo de sonido a

posiciones de no audiencia y $\frac{\varepsilon_{\partial p}}{\partial r}$ y $\frac{\varepsilon_{\partial p}}{\partial f}$ son las medidas de la tasa de cambio del campo de sonido con respecto a la distancia y la frecuencia, respectivamente.

En detalle, los componentes de la función objetivo se calculan preferentemente de la siguiente manera.

$\varepsilon_{\text{destino}}$ es la suma de todos los puntos de audiencia y de todas las frecuencias de una medida de la diferencia en magnitud entre P_{destino} y $P_a(\mathbf{r}_a, \mathbf{f}, \mathbf{x})$ calculada de acuerdo con el modelo de radiación. P_{destino} puede ser, por ejemplo, cualquiera de las funciones mencionadas anteriormente como ejemplos de funciones objetivas uno y dos. El ejemplo dos (en particular usando la función objetivo que implica $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$) se calcula preferentemente de la siguiente manera.

$$\text{promedio}_{\text{rmezcla}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_f} [Pa]_{j_{\text{mezcla}}, k}}{N_f} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\varepsilon_{\text{destino}} = \frac{\| \text{promedio}_{\text{rmezcla}} + [P_{\text{destino}}] - [Pa] \|_2}{\sqrt{N_a}} \quad \text{Ecuación 3}$$

La evaluación destino $P_{\text{destino}}(\mathbf{r}_a, \mathbf{f})$ en cada N_a posiciones de audiencia por N_f frecuencias produce una matriz N_a por N_f $[P_{\text{destino}}]$, donde N_a es el número de posiciones de audiencia y N_f es el número de puntos de frecuencia. j_{mezcla} es el índice de posición de $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$. El componente de destino promedio_{rmezcla} en $\varepsilon_{\text{destino}}$ dado en la ecuación 3 permite que la forma de la función de destino "flote" ligeramente en el nivel, ya que es la forma lo que es importante en lugar de un nivel absoluto. Cada vez que se calcula una nueva configuración de agrupación de altavoces, se determina un valor para la amplitud de presión promedio a través de la frecuencia en $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$ de acuerdo con la ecuación 2; a continuación, se define el destino en relación con este valor. Si el destino fuera un valor fijo absoluto y estuviera algo distante de la distribución existente, entonces el optimizador intentaría acercar la presión al mismo; esto da como resultado el desarrollo de picos significativos y no deseables ya que la ganancia general del sistema no es un parámetro disponible para el optimizador. Este método también puede usarse para calcular la función objetivo para otras formas de destino P_{destino} y no solo la forma específica mencionada anteriormente; para cualquiera de tales formas, se elige una posición de mezcla $\mathbf{r}_{\text{mezcla}}$ para permitir que la forma flote como se ha descrito anteriormente.

$\varepsilon_{\text{fresp}}$ es una medida que indica la planitud de la respuesta de frecuencia en cada posición de audiencia y se calcula preferentemente de la siguiente manera:

$$\text{promedio}_j = \frac{\sum_{k=1}^{N_f} [\mathbf{Pa}]_{j,k}}{N_f} \quad j = 1 \dots N_a \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\varepsilon_{fresp} = \frac{\|[\mathbf{Pf}] - [\mathbf{Pa}]\|_2}{\sqrt{N_a}} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde $[\mathbf{Pf}]$ viene dado por

$$[\mathbf{Pf}]_{j,k} = \text{promedio}_j \quad k = 1 \dots N_f, \quad j = 1 \dots N_a \quad \text{Ecuación 6}$$

5

Para cada punto de audiencia se calcula la amplitud de presión promedio sobre la frecuencia (ecuación 4), lo que da como resultado un promedio_j de vector. Esto se expande a una matriz del mismo tamaño que $[\mathbf{Pa}]$ en la ecuación 6, que forma parte del componente ε_{fresp} dado en la ecuación 5. Esta medida de planitud de la respuesta de frecuencia es, por lo tanto, la distancia de los puntos calculados a partir de la respuesta promedio en una posición.

10

ε_{fuga} es una medida de la magnitud relativa de la presión total entregada a los planos de no audiencia con respecto a la entregada a los planos de audiencia y se calcula preferentemente de la siguiente manera

$$\varepsilon_{fuga} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{na}} \sum_{k=1}^{N_f} [\mathbf{Pna}]_{j,k}}{\sum_{j=1}^{N_a} \sum_{k=1}^{N_f} [\mathbf{Pa}]_{j,k}}$$

Ecuación 7

15

donde $\mathbf{Pna}$ es la matriz de presión para las posiciones de no audiencia.

Los componentes $\frac{\partial P}{\partial r}$ y $\frac{\partial P}{\partial f}$ son los totales de todas las posiciones de audiencia de las derivadas parciales numéricas de $\mathbf{P}(\mathbf{r}, \mathbf{f}, \mathbf{x})$ calculadas de acuerdo con el modelo de radiación con respecto a la distancia y la frecuencia, respectivamente. Preferentemente se calculan de la siguiente manera:

20

$$\varepsilon_{\frac{\partial P}{\partial f}} = \frac{\left\| \frac{\partial P(r_a, f)}{\partial f} \right\|_2}{N_a}$$

$$\varepsilon_{\frac{\partial P}{\partial r}} = \frac{\left\| \frac{\partial P(r_a, f)}{\partial r} \right\|_2}{N_a}$$

Ecuaciones 8 y 9

Los coeficientes c_1 a c_5 de la ecuación 1 pueden ajustarse por el usuario para la compensación entre diferentes objetivos, por ejemplo, sacrificar lo bien que la presión cumple una función objetivo frente a la cantidad de fugas de presión desde la sección de planos de audiencia y puede ser cero.

En las ecuaciones anteriores, las normas (indicadas por los pares de barras verticales dobles) se calculan de acuerdo con lo siguiente

$$\|A\|_p = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |a_{ij}|^p \right)^{1/p}$$

Ecuación 10

Para la iteración de optimización se requiere un punto de partida para el conjunto de parámetros candidato. En general, esto no es fundamental, pero una configuración en la que cada parte de la audiencia está cubierta por la salida de un elemento (que es direccional) es probable que se encuentre en la región de la salida de la optimización y, por lo tanto, sea un punto de partida razonable ya que el proceso de optimización llevará menos tiempo en el ordenador. Preferentemente, al menos la caja superior debería orientarse hacia la posición de audiencia más distante. El usuario puede elegir esto o seleccionar un punto de partida por su cuenta.

La figura 4 es un diagrama de sistema que muestra los componentes del sistema de software usado para realizar la optimización. El software se ejecuta en un ordenador personal estándar 20. Comprende unos módulos de entrada 21, 22, 23, 24 que permiten al usuario introducir, respectivamente, una descripción del recinto (es decir, la información de la figura 1 sobre las posiciones de audiencia y las posiciones de no audiencia), una definición 22 de la agrupación (incluidas las posiciones de los elementos de altavoz y sus propiedades acústicas para su uso en el modelo de radiación), una selección 23 de los parámetros (por ejemplo, ángulos de separación) a usar como el primer candidato, y una selección 24 de la función objetivo a usar en la optimización (por ejemplo, una selección de pesos c_1 a c_5). El bucle de optimización continúa de la siguiente manera. Un calculador de campo de radiación de sonido 25 toma como su entrada la descripción de recinto 21 y una descripción de agrupación candidata 26 (que incluye las propiedades 22 de los elementos de agrupación y los parámetros seleccionados 23 para la agrupación candidata) y produce a partir de esto el campo de sonido simulado 27 que se produciría por la agrupación. Un calculador de función objetivo 28 usa el campo de sonido y la función objetivo seleccionada 24 para evaluar la función objetivo. Un optimizador 29 usa el resultado 30 de esto para ver si la agrupación candidata es mejor que la anterior y para construir 32 una nueva candidata 26, a menos que el optimizador decida que ahora se ha encontrado un conjunto de parámetros optimizado. El optimizador puede usar cualquiera de los muchos métodos de optimización disponibles, incluido el método 1 que se ha descrito anteriormente. Una vez que se ha encontrado el conjunto de parámetros optimizado 31, se proporciona a un módulo de salida, que lo muestra al usuario junto con el campo de sonido 31 calculado para la agrupación de altavoces de acuerdo con lo definido por el conjunto de parámetros, esto último por interés del usuario y como confirmación de que se ha encontrado un resultado acertado.

Una vez que se han encontrado los parámetros optimizados (por ejemplo, los ángulos de separación para una agrupación lineal) que se han determinado por el cálculo de optimización, el usuario ajusta la agrupación física 1 de acuerdo con esos parámetros.

En un segundo ejemplo, la agrupación de altavoces se optimiza usando una restricción de los parámetros, en este caso los ángulos de separación. En este ejemplo, la búsqueda de patrones generalizados (es decir, el método 1 anterior) se aplica de nuevo a los parámetros de los ángulos de separación para una agrupación uniformemente accionada en un recinto a modo de ejemplo, como se muestra de nuevo en la figura 1. La función objetivo se toma como la ecuación 1 anterior con $c_1 = 1$ y $c_i = 0$ para $i = 2$ a 5 y $P_{\text{destino}}(\mathbf{r}_a, \mathbf{f})$ se basa en la posición de mezcla como se ha descrito anteriormente con valores para ΔP_{inicio} y $\Delta P_{\text{detención}}$ de +6 dB y -6 dB respectivamente. Una agrupación a modo de ejemplo en la que se realizó este ejemplo comprende 20 elementos idénticos de 115 mm de altura, conteniendo cada uno de los mismos una sección de HF y LF muy cerca; el rendimiento polar para un solo elemento se muestra en la figura 5 en la que cada contorno es un cambio de 3 dB. La separación máxima entre elementos es de 6 grados y la mínima es de 0 grados con pasos de 0,5 grados disponibles en este intervalo. La restricción usada en este ejemplo es una curvatura progresiva de la agrupación. Esto se logra dividiendo la agrupación en 7 secciones, una para cada división principal del intervalo de ángulos de separación. Todos los elementos de una sección tienen el mismo ángulo de separación, comenzando en 0 y terminando en 6 en la última sección. La agrupación se define por el número de elementos en cada sección, que son entonces los parámetros optimizados. El sistema informático usado es el mismo que en la figura 4, pero el optimizador usa como parámetros a ajustar el conjunto del número de elementos en cada sección, en lugar de los ángulos de separación directamente. Una vez que el optimizador ha seleccionado un nuevo candidato, el conjunto de parámetros se convierte en un conjunto de ángulos de separación para cada uno de los elementos y el campo de sonido simulado se calcula como antes. Téngase en cuenta que está permitido tener cero elementos en una sección.

En la figura 6 se muestra el campo de sonido generado en este ejemplo restringido. Esta muestra una representación gráfica de contorno en 3D del nivel de presión de sonido contra la posición y la frecuencia y debajo de la misma varias gráficas de la presión de sonido contra la frecuencia en las posiciones de audiencia seleccionadas. En estas gráficas, el nivel discontinuo largo es el nivel de destino y el nivel punteado es el nivel promedio alcanzado, que idealmente debería ser el mismo.

Al algoritmo de búsqueda de patrones le llevó menos de 70 s realizar las 7 iteraciones en las que se realizaron 81 evaluaciones de la función. La rutina se detuvo cuando se alcanzó un tamaño mínimo de malla; otras ejecuciones que permiten mallas más pequeñas no dieron como resultado soluciones significativamente mejores.

Para la comparación se determinó manualmente un conjunto de ángulos de separación (es decir, usando un sistema CAD de la técnica anterior que calcula solo el campo de sonido para un conjunto seleccionado de usuarios del ángulo de separación) en un esfuerzo para lograr un destino específico y los resultados se muestran en la figura 7 (de manera similar a la figura 6). La figura 8 muestra los resultados para la optimización informática sin restricciones del primer ejemplo anterior. El intento manual fue bastante mediocre para cumplir el destino; casi tiene el mismo número de elementos en cada sección. La optimización informática restringida parece mejor porque cumple con la forma de distribución de presión deseada de acuerdo con lo dictado por P_{destino} . (Los ángulos de separación del punto de partida para la optimización informática restringida y el procedimiento manual fueron los mismos).

Como un tercer ejemplo y de acuerdo con la invención, el efecto de incluir ϵ_{fuga} así como $\epsilon_{\text{destino}}$ se muestra en la figura 9, que tiene tres representaciones gráficas en 3D con valores crecientes de c_3 para el componente de fuga. Como se tiene más en cuenta la fuga, el sonido se concentra en las posiciones de audiencia centrales.

Se obtuvieron resultados similares para el primer ejemplo sin restricciones anterior. La figura 8 muestra este rendimiento de agrupación para ese ejemplo. La rutina usó un criterio de tamaño de malla y de detención de límite de tiempo. Después de 20 minutos y más de 800 evaluaciones de función, se detuvo la rutina. Otras ejecuciones que permiten más tiempo produjeron pocas mejoras adicionales antes de detenerse por los criterios de tamaño de malla.

Para un cuarto ejemplo, la figura 10 muestra el efecto de incluir ϵ_{fresp} además de $\epsilon_{\text{destino}}$. Las respuestas de frecuencia para este ejemplo son notablemente más planas que para los otros ejemplos y al pequeño coste de estar menos cerca del objetivo.

Obsérvese que, en los ejemplos anteriores, cambiar los ángulos de separación de los elementos de agrupación lineal influye en su posición, ya que los elementos más curvados de la agrupación llegan a ser los elementos inferiores más traseros que se mueven con respecto a las posiciones de la audiencia. La optimización tiene esto en cuenta al calcular las nuevas posiciones de los elementos cada vez que se cambian los ángulos de separación. El cálculo del campo de sonido tiene en cuenta estas nuevas posiciones para la nueva configuración de agrupación.

En un quinto ejemplo de la invención, la optimización se aplica a otros parámetros de la agrupación de altavoces 35, en particular a la posición de los elementos. La figura 11 muestra otra agrupación de altavoces en la que el usuario puede ajustar tanto la orientación como la posición de los elementos individuales. En este caso, se montan tres altavoces en un clúster en "horquillas" o "marcos voladores" tradicionales (no mostrados) que permiten ajustar sus orientaciones. El método de optimización informática de la invención se usa para optimizar sus orientaciones. En este caso, no todos los altavoces individuales apuntan a las posiciones de audiencia en el mismo plano vertical, y, por lo tanto, ofrecen niveles de sonido significativos. (Compárese con los ejemplos de agrupaciones lineales

anteriores). Para hacer frente a esto, la optimización usa posiciones de audiencia y de no audiencia en planos verticales, uno para cada uno de los altavoces en el clúster, que contienen el eje de su altavoz respectivo en su posición de preoptimización inicial. Las orientaciones de cada altavoz tanto en dirección horizontal como vertical son parámetros de optimización. La presión de sonido en cada posición de audiencia y de no audiencia se calcula a partir de las contribuciones hechas por todos los altavoces. La función objetivo, por ejemplo, una de las de los ejemplos anteriores, se calcula a continuación en todos los puntos (de audiencia o de no audiencia, según corresponda) en todos los planos verticales. Este puede ser un cálculo más largo que para un solo plano vertical, pero es más eficiente que cubrir todo el espacio del recinto con puntos de cálculo.

En un sexto ejemplo de la invención, la agrupación de altavoces es como se muestra en la figura 12. En este caso, una pluralidad de altavoces de baja frecuencia 36 y 37 se colocan en el suelo o el escenario del recinto. Las unidades de altavoz pueden moverse fácilmente en posición u orientación alrededor del eje vertical moviéndose alrededor del suelo o el escenario. Esas variables son parámetros adicionales de la optimización en este ejemplo. Otros parámetros usados en este ejemplo son la fase (es decir, la polaridad) de la señal aplicada a la unidad (que normalmente se logra en el controlador que suministra las señales a las unidades de altavoz), y la ganancia y el retardo aplicados a la señal aplicada a cada unidad de altavoz. Aunque la orientación es uno de los parámetros de la optimización, debido a que las unidades de baja frecuencia no son muy direccionales, la orientación solo tiene un pequeño efecto en el campo de sonido; el parámetro de posición tiene un mayor efecto. El retardo y la fase tienen efectos similares a la posición y se incluyen porque puede haber restricciones en la colocación de los altavoces, por ejemplo, las unidades de altavoz pueden estar limitadas a ciertas áreas en el suelo o el escenario del recinto. Al igual que con los otros ejemplos anteriores, el sistema permite aplicar restricciones sobre estos parámetros durante el proceso de optimización. La optimización para esta agrupación usa preferentemente puntos de audiencia y de no audiencia en una línea central a través del recinto desde la agrupación hasta los puntos de audiencia más lejanos. No obstante, permite al usuario especificar planos adicionales, pero esto aumenta el tiempo de cálculo. Sin embargo, dado que a bajas frecuencias, la cuadrícula en la que se simula el campo de sonido puede ser de 2-3 m en paso, es factible calcular el campo de sonido para todas las posiciones de audiencia en un recinto (es decir, no solo limitándose a aquellas en el o los planos seleccionados). La figura 12 muestra algunas unidades 37 de las unidades orientadas hacia atrás.

Estas actúan para cancelar partes del campo de sonido producido por la agrupación. No obstante, estas unidades se tratan de la misma manera que las otras en la optimización y pueden surgir a partir de la misma (siempre que ninguna restricción en la orientación de las unidades lo impida).

Todos los ejemplos anteriores han tenido la orientación de los elementos de altavoz como uno de los parámetros ajustables. No obstante, sería posible para la invención usar solo, por ejemplo, las posiciones de los altavoces, si, por ejemplo, no pudiera ajustarse la orientación. O, dado que los altavoces de baja frecuencia no son muy direccionales en el sexto ejemplo anterior, podría omitirse la orientación sin que el resultado se degradase demasiado para algunas aplicaciones.

En los casos anteriores, donde el cálculo del campo de sonido implica elementos de altavoz que no están en uno de los planos verticales que contienen los puntos de audiencia, el cálculo del campo de sonido simplemente tiene en cuenta la distancia real entre el elemento y el punto de interés; en tales casos, sin embargo, el globo de puntos que rodea el elemento usado en el modelo de sonido se vuelve tridimensional en lugar de bidimensional. De hecho, los puntos de interés tomados en cuenta en la función objetivo no necesitan limitarse a los planos verticales de los ejemplos; podrían tenerse en cuenta puntos interesantes de todo el volumen tridimensional (por ejemplo, todos los puntos de audiencia). El número de puntos usados, preferentemente, no debería ser tan grande como para hacer que el cálculo de optimización se demore tanto como para ser un inconveniente para el usuario.

Como se ha señalado anteriormente, la representación gráfica en 3D es un elemento útil. El ordenador 20 está provisto, preferentemente, de un trazador 3D 41 para producir la representación gráfica en 3D 42. Este muestra la representación gráfica en 3D en el monitor del ordenador o la envía a una impresora para imprimirla. El trazador 3D 41 representa gráficamente el nivel de presión de sonido en un eje, contra la posición y la frecuencia en los otros dos ejes. Como se muestra en las figuras adjuntas a la presente, la representación gráfica en 3D puede representarse en dos dimensiones que tienen ejes de posiciones y frecuencia, con el nivel de presión de sonido indicado por contornos y/o sombreado o colores de nivel.

El trazador 3D 41 también puede proporcionarse como un dispositivo autónomo, independiente del optimizador de agrupaciones de altavoces proporcionado por el ordenador personal 20. Como dispositivo independiente, el trazador está conectado a un dispositivo de medición de presión de sonido 43, por ejemplo, un micrófono, para recibir mediciones del campo de sonido. Como alternativa, puede usarse una pluralidad de micrófonos en diferentes posiciones.

Si se usa un solo micrófono, entonces este se mueve de una posición a otra para recibir sonidos de prueba. Estos, por supuesto, pueden generarse por una agrupación de altavoces como se ha descrito anteriormente en el presente documento, pero, por supuesto, también pueden ser de interés otras fuentes.

Las posiciones para cada medición, o bien pueden introducirse a mano, o bien pueden registrarse por un dispositivo de medición de posición automático 45.

REIVINDICACIONES

1. Un método para configurar una agrupación (1) de elementos de altavoz para su uso en un recinto (10), que comprende

(a) proporcionar una configuración candidata inicial (23) para la agrupación (1) e iterar, hasta que se alcance un criterio de detención, las etapas de:

(i) calcular, con un ordenador (20) y usando un modelo de radiación, un campo de sonido (27) producido por la agrupación (1) que tiene la configuración candidata en una pluralidad de puntos en el recinto (10), y
(ii) evaluar, con un ordenador (20), un resultado de una función objetivo (24) que implica el campo de sonido calculado (27) en una pluralidad de posiciones de audiencia en el recinto (10),
(iii) construir, con un ordenador (20), una nueva configuración candidata (26) para la agrupación (1) usando el resultado de la función objetivo (24),

y (b) configurar la agrupación (1) de acuerdo con una configuración candidata preferida (31) de la agrupación (1) producida por las iteraciones, en el que la configuración candidata preferida (31) se selecciona, con un ordenador (20), usando los resultados de la evaluación de la función objetivo (24), en el que la función objetivo (24) comprende la suma de una pluralidad de posiciones de audiencia de una medida indicativa de la diferencia entre la magnitud del campo de sonido (27) y un valor de destino para la magnitud del campo de sonido (27) en esas posiciones, y comprende además una medida indicativa del tamaño relativo de la presión total entregada a posiciones de no audiencia en comparación con la presión total entregada a posiciones de audiencia.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el valor de destino en cada posición de audiencia se considera relativo con respecto a un valor promedio, en cada iteración, de la magnitud del campo de sonido (27) sobre un conjunto de frecuencias en esa posición de audiencia.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que se define un destino en una primera posición de audiencia y que para otras posiciones se interpola a partir de la misma a los valores de destino respectivos en posiciones de audiencia a una distancia de esa primera posición de audiencia.

4. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la función objetivo (24) comprende la suma de una pluralidad de posiciones de audiencia de una medida indicativa de una tasa de cambio de la magnitud del campo de sonido (27) con respecto a la frecuencia.

5. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la función objetivo (24) comprende la suma de una pluralidad de posiciones de audiencia de una medida indicativa de una tasa de cambio del campo de sonido (27) con respecto a la posición.

6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la función objetivo (24) comprende una medida de la planitud de la respuesta de frecuencia sobre un conjunto de posiciones de audiencia.

7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la medida de la planitud es una medida de lo cerca que está la magnitud del campo de sonido (27), para un conjunto de frecuencias, de un valor promedio para la magnitud del campo de sonido (27) en cada punto de audiencia.

8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la magnitud del campo de sonido (27) se expresa en términos de nivel de presión de sonido.

9. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la selección de una nueva configuración candidata (26) está sujeta a una restricción.

10. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración candidata (26) de la agrupación (1) se parametriza en términos de la orientación de los elementos de la agrupación (1).

11. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración candidata (26) de la agrupación (1) se parametriza en términos de la posición en el recinto (10) de los elementos de la agrupación (1).

12. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración candidata (26) de la agrupación (1) se parametriza en términos de la polaridad de una conexión de la señal de sonido aplicada a los elementos de la agrupación (1).

13. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración candidata (26) de la agrupación (1) se parametriza en términos de la ganancia aplicada a la señal de sonido aplicada a la posición en el recinto (10) de los elementos de la agrupación (1).

14. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la configuración candidata (26) de la agrupación (1) se parametriza en términos del retardo aplicado a la señal de sonido aplicada a la posición en el recinto (10) de los elementos de la agrupación (1).

5 15. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la agrupación (1) es una agrupación lineal que comprende una pluralidad de elementos de altavoz unidos, pudiendo ajustarse los ángulos entre los mismos.

10 16. Un método de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la configuración candidata (26) determina los ángulos entre los elementos y se restringen los valores para los ángulos de manera que en una dirección a lo largo de la agrupación (1) el ángulo entre cada elemento y el siguiente elemento es igual o mayor que el ángulo entre ese elemento y el elemento anterior.

15 17. Un método de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la configuración candidata (26) determina los ángulos entre los elementos y los valores para los ángulos pueden, independientemente uno de otro, adoptar valores entre dos valores límite.

18. Un producto de programa informático que está dispuesto, cuando el programa se ejecuta por un ordenador, para realizar las etapas del método de cualquier reivindicación anterior.

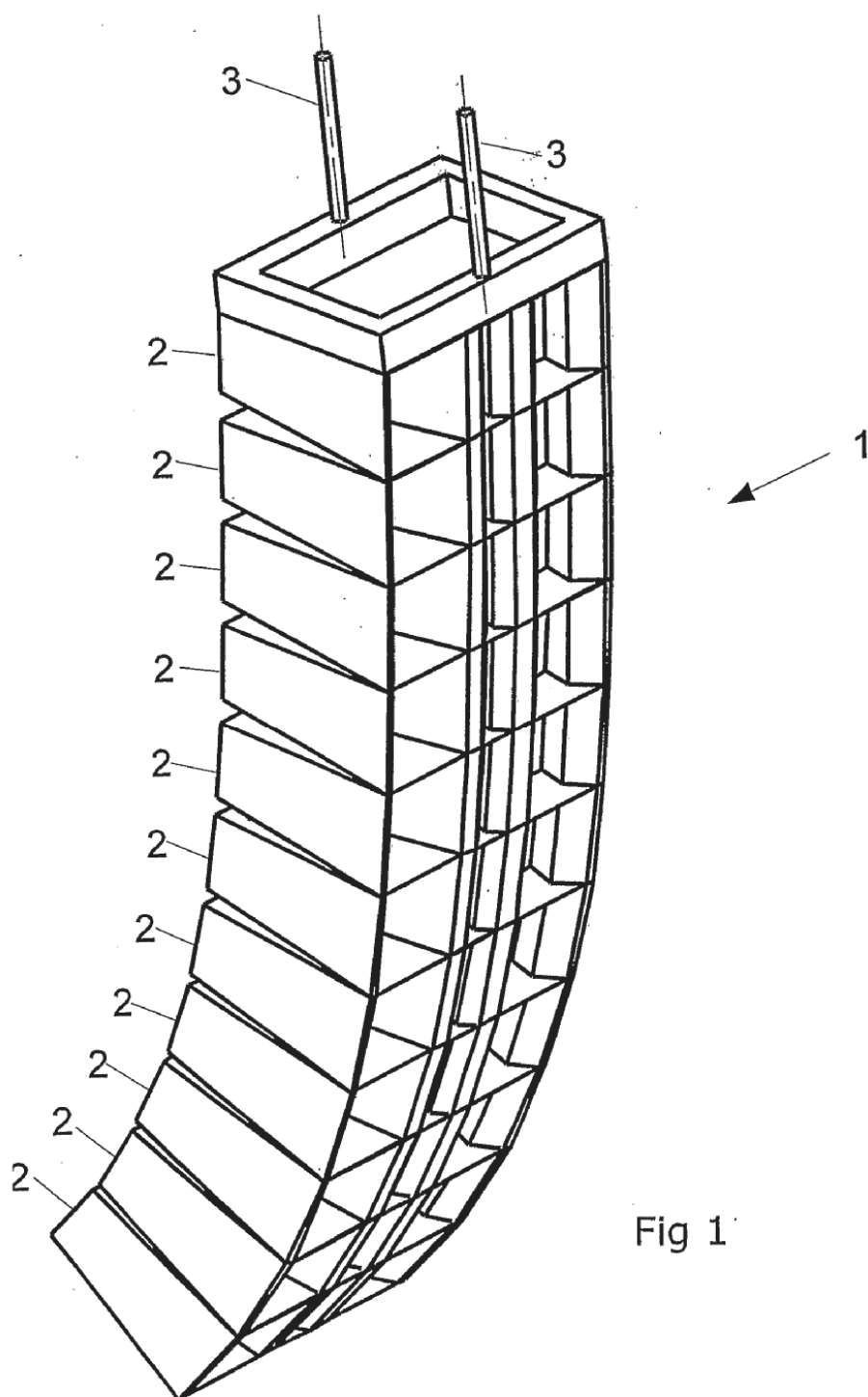


Fig 1

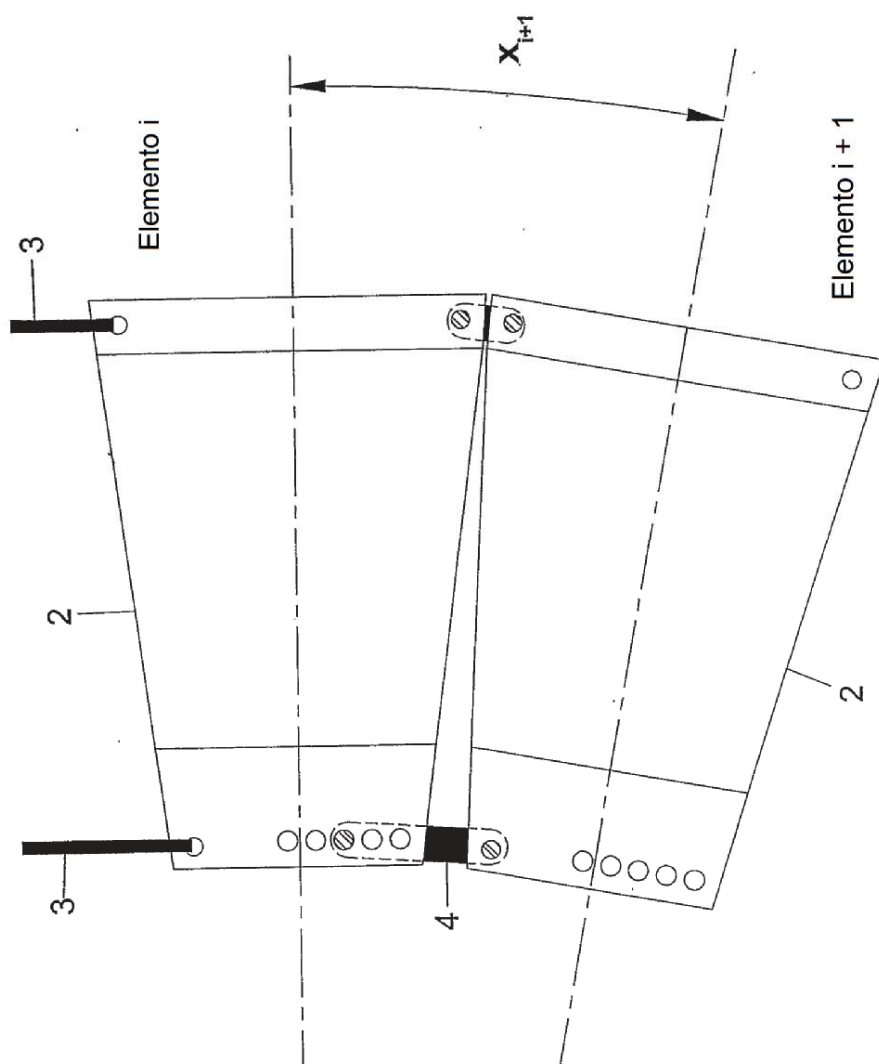


Fig 2

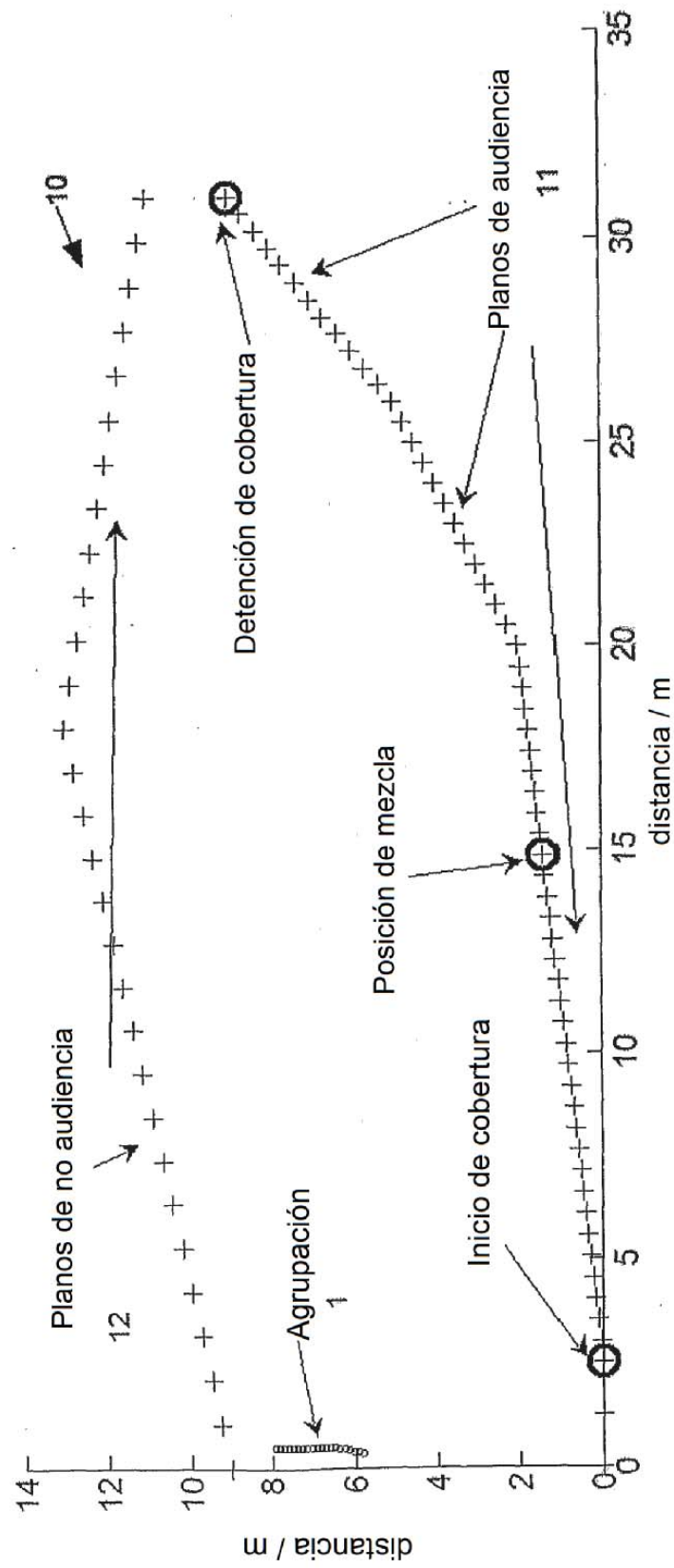
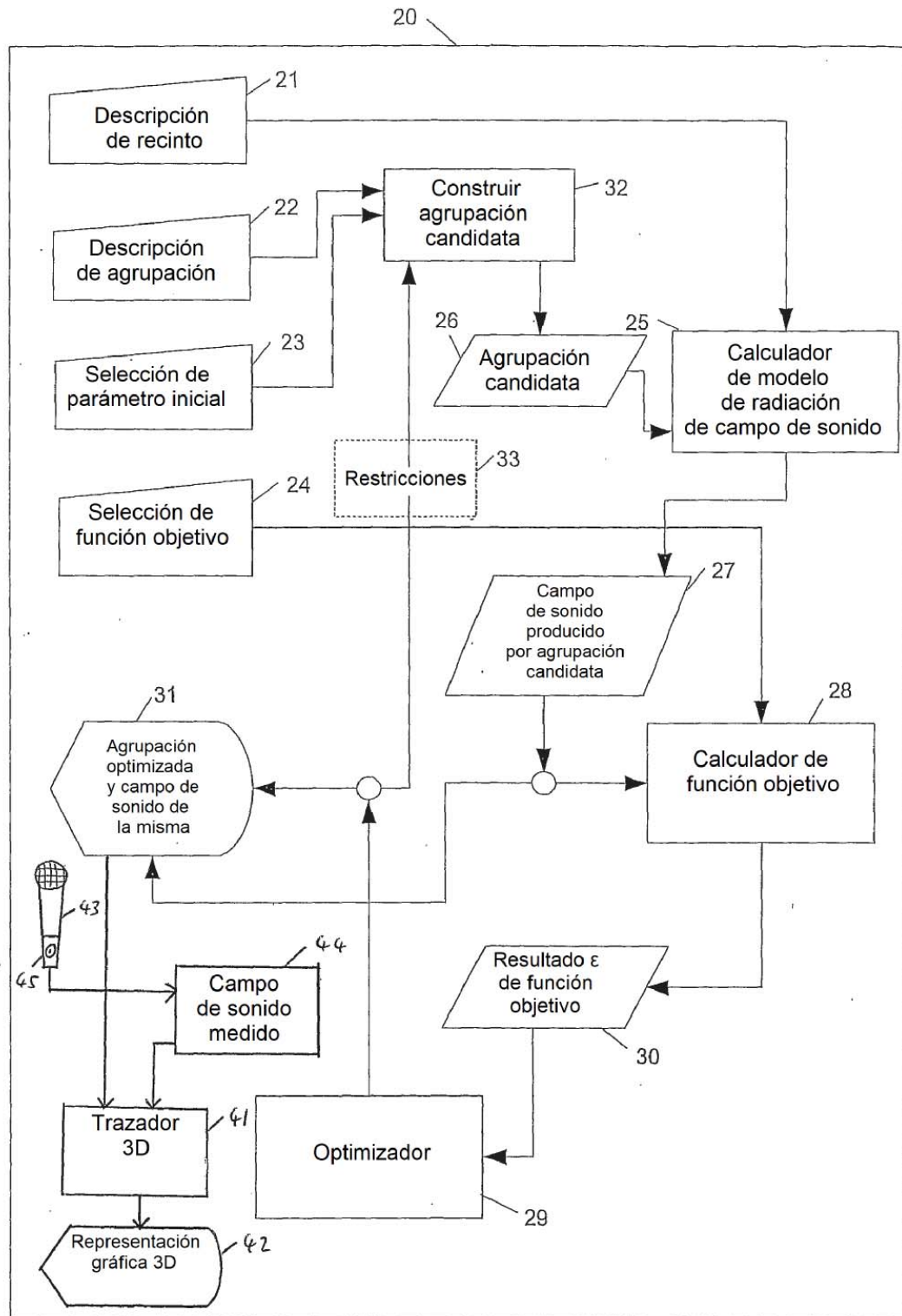


Fig 3



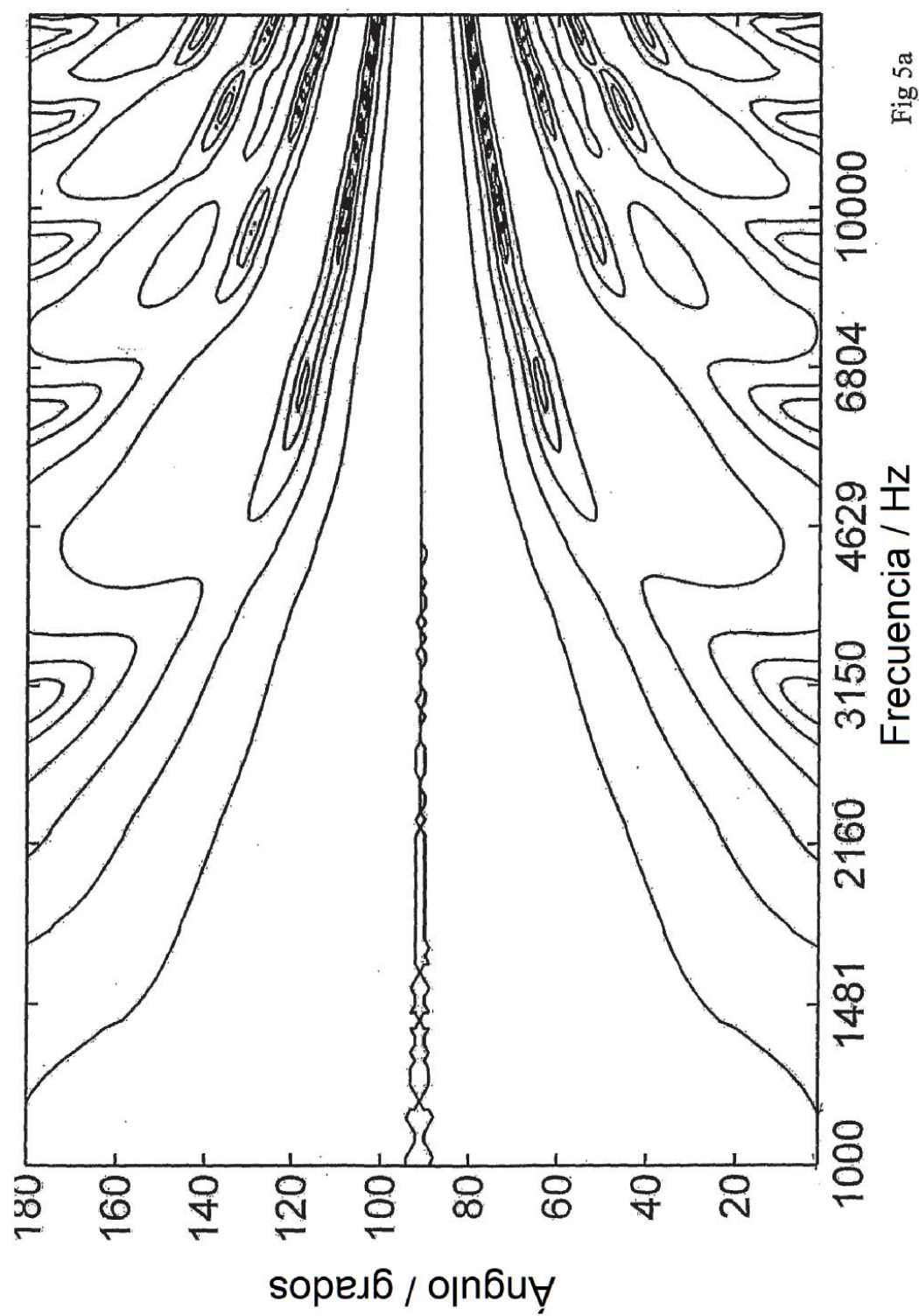


Fig 5a

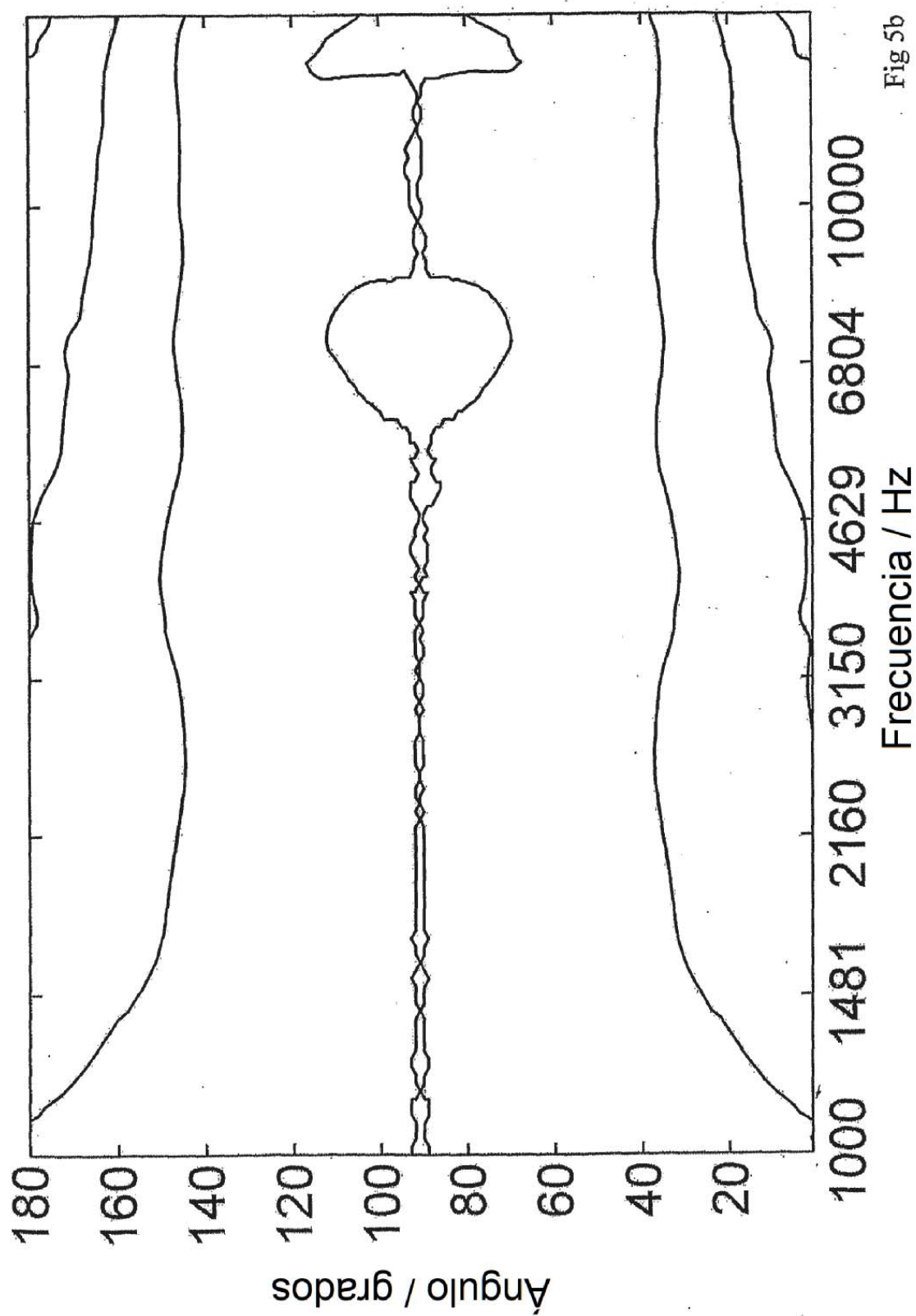
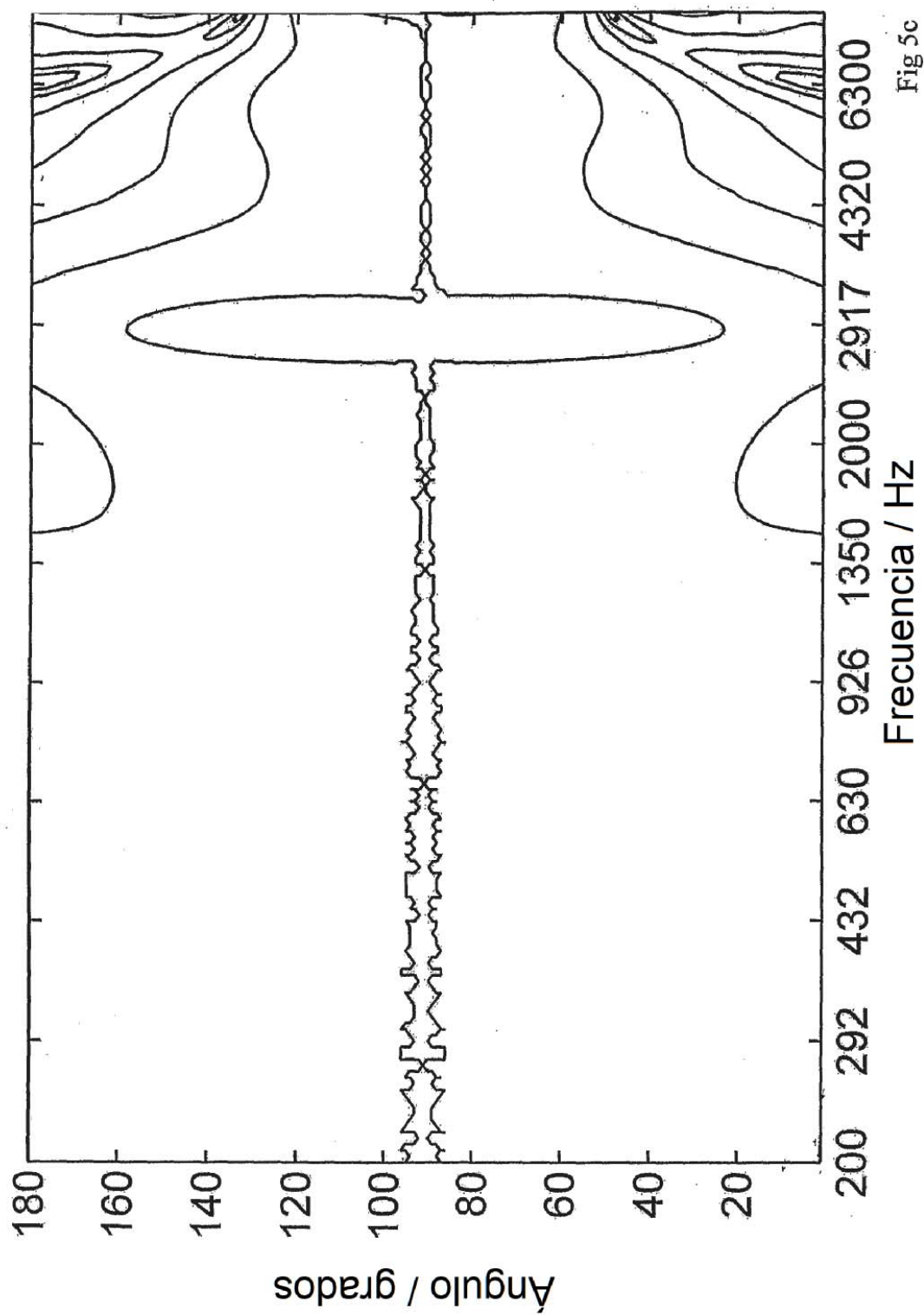
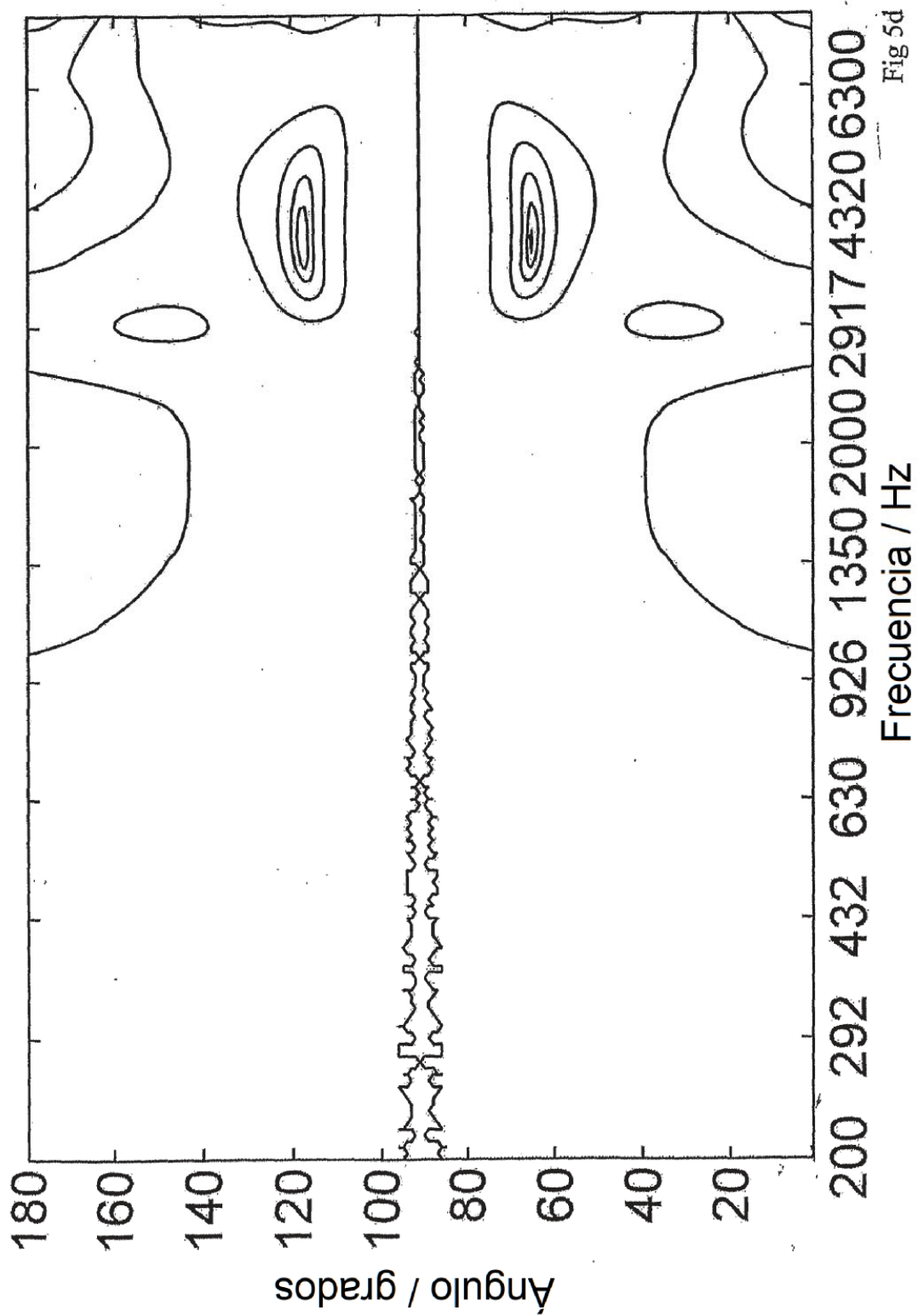


Fig 5b





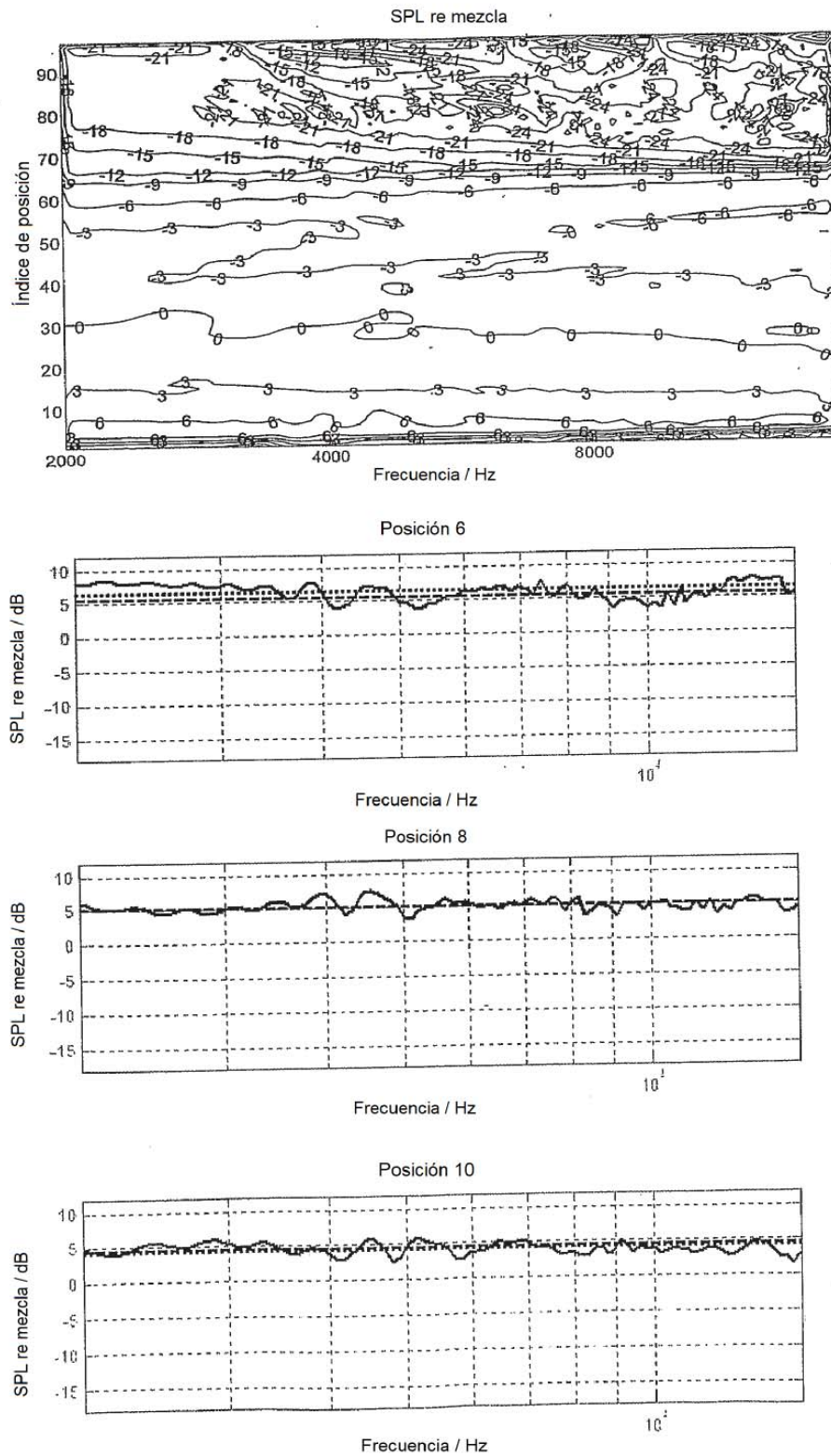


Fig 6a

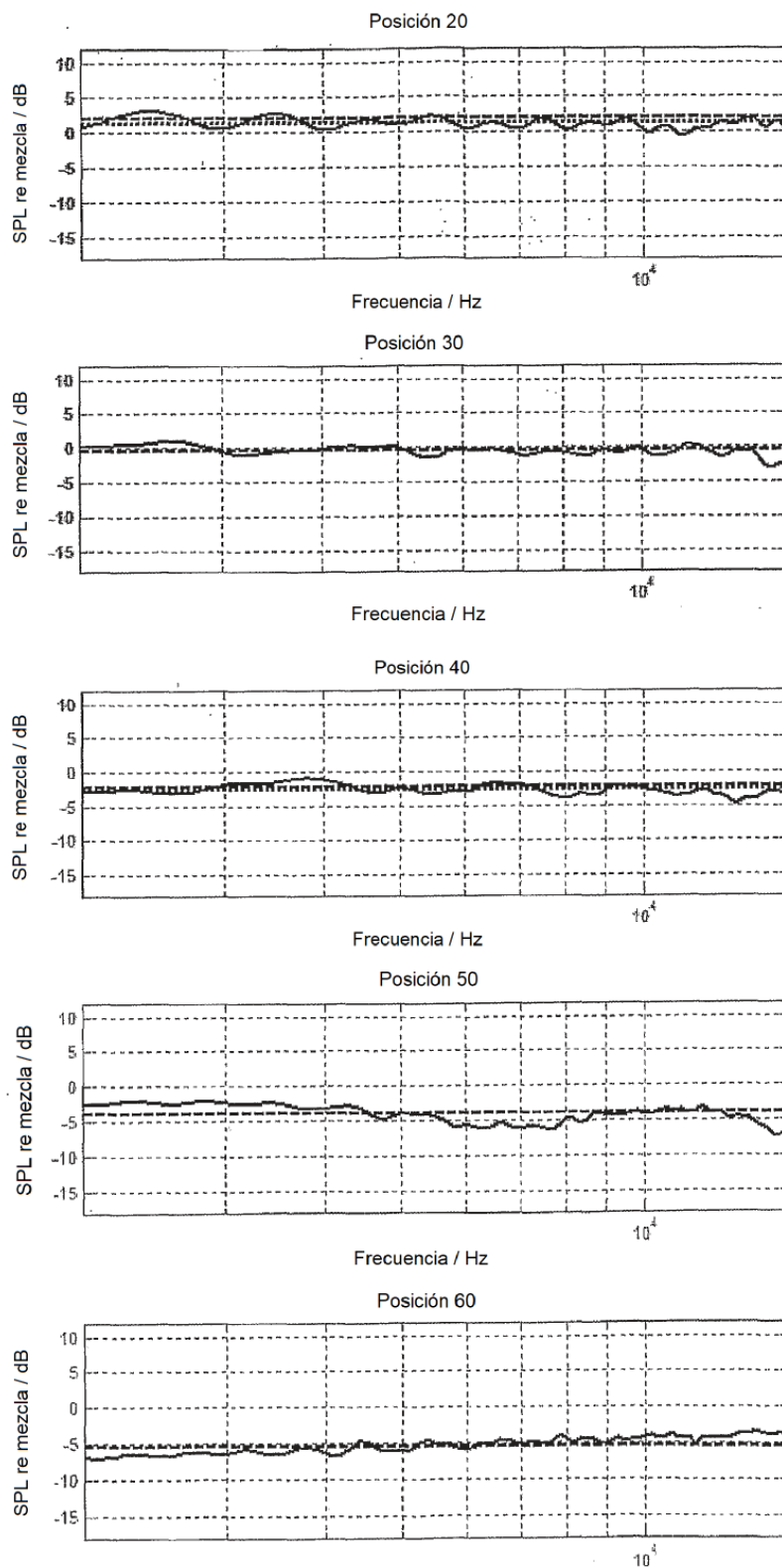


Fig 6b

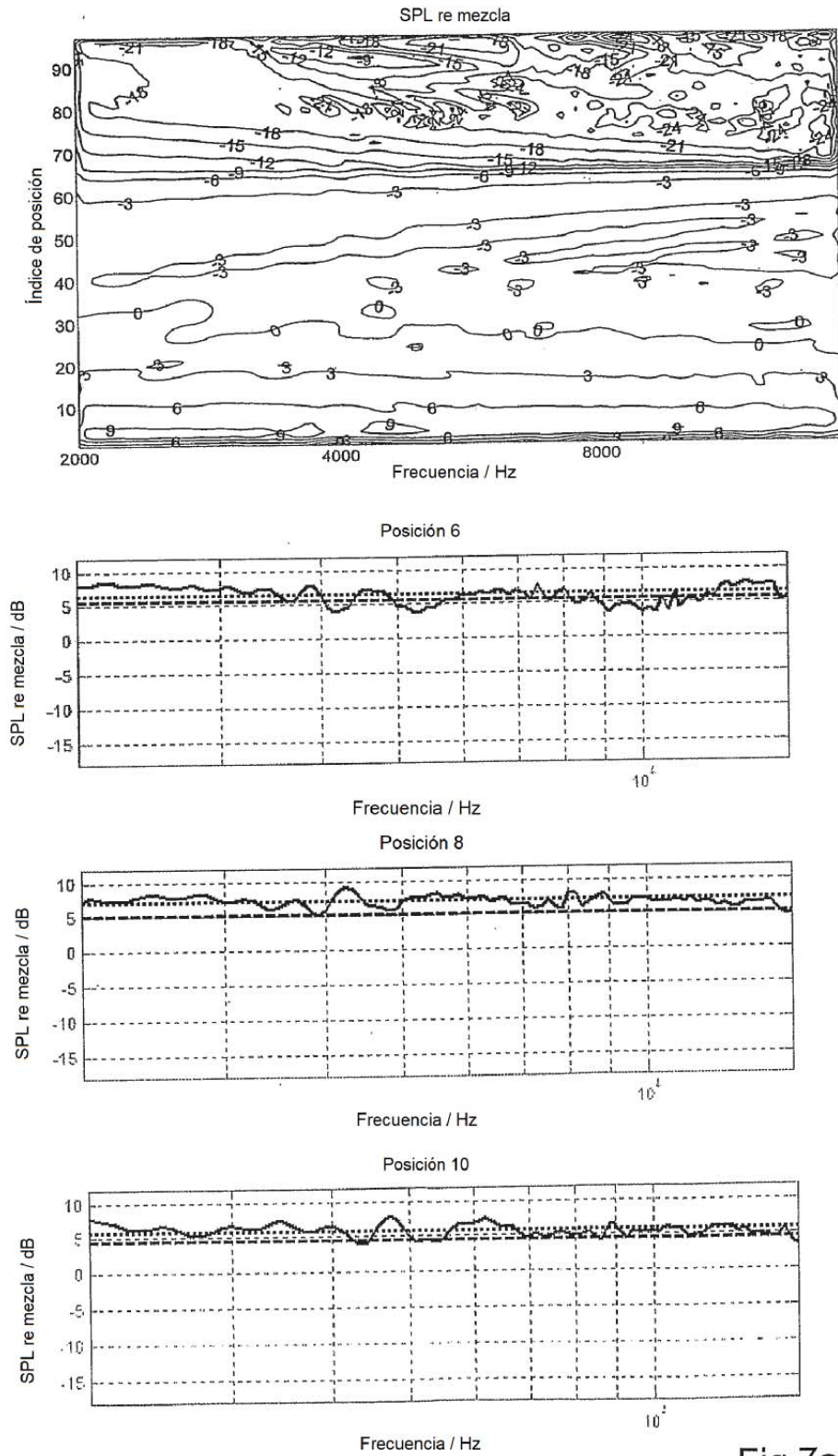


Fig 7a

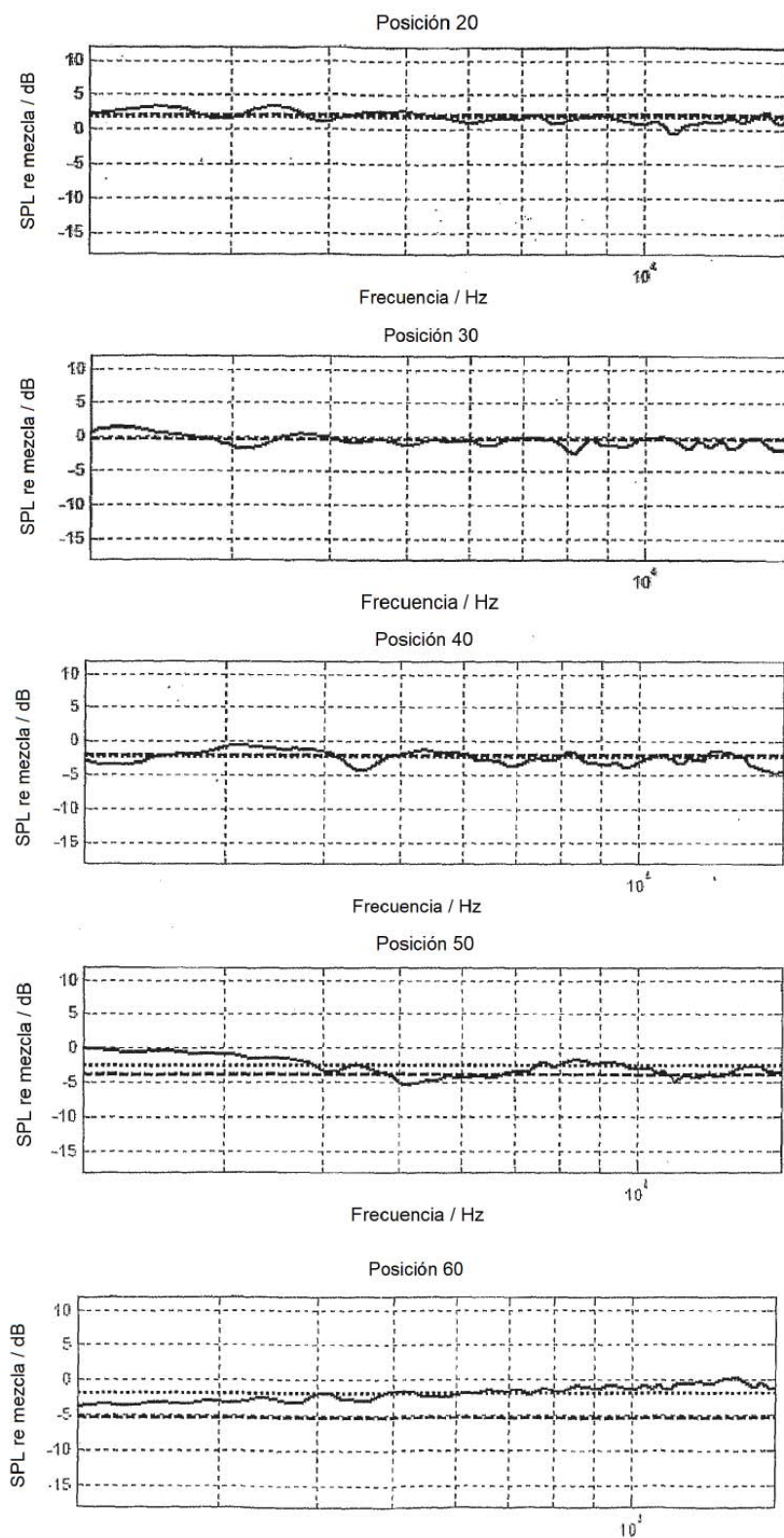


Fig 7b

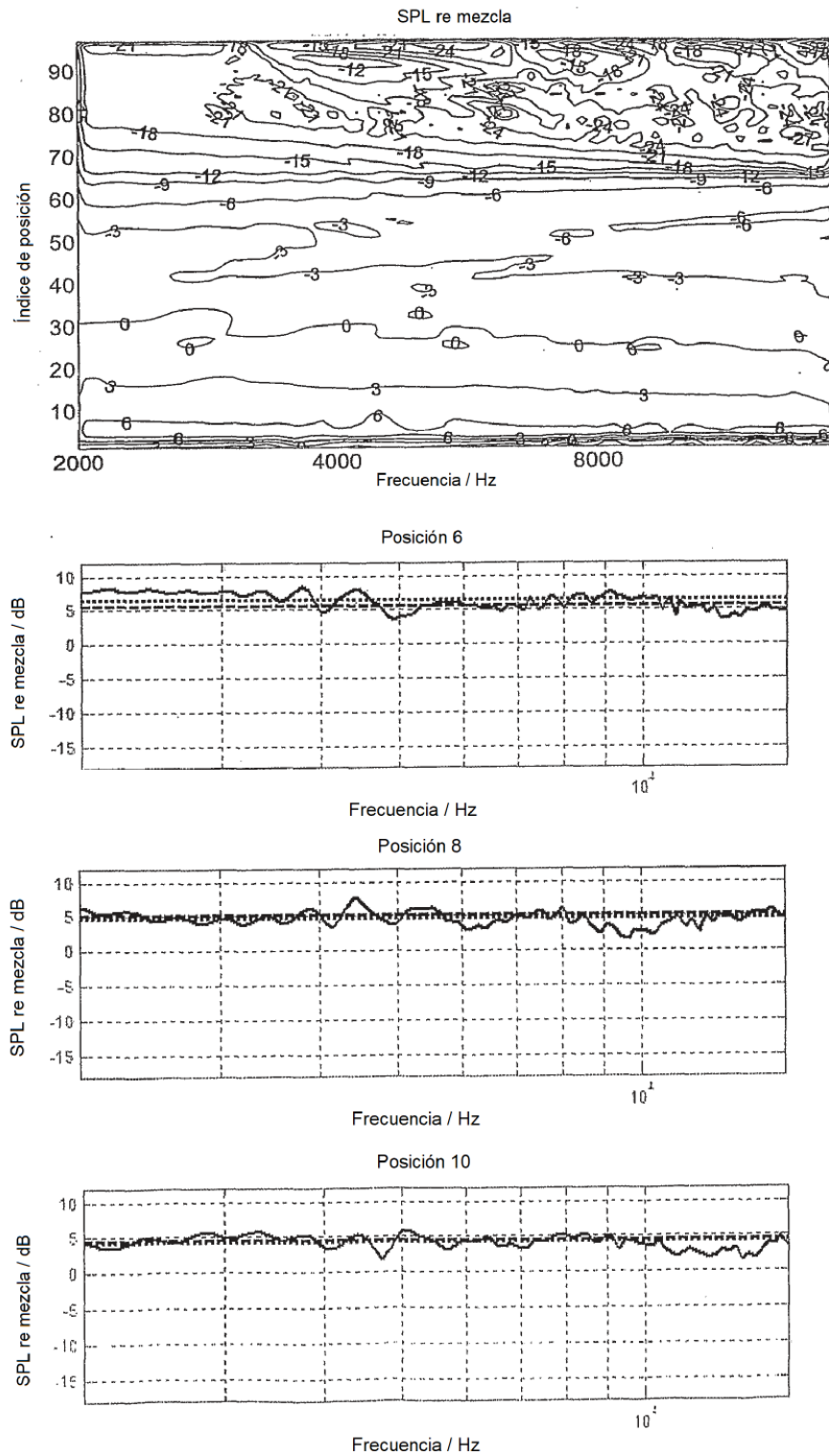


Fig 8a

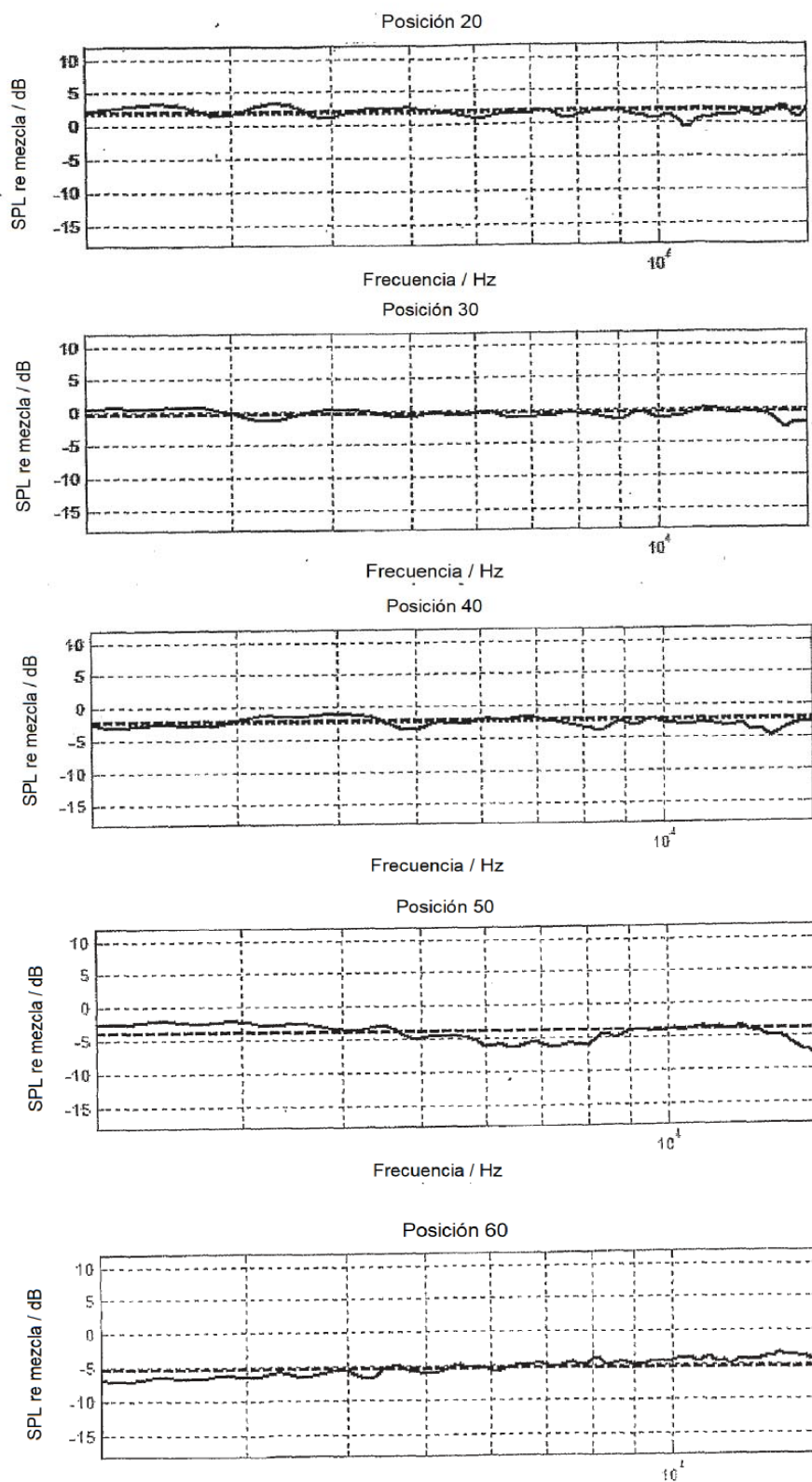


Fig 8b

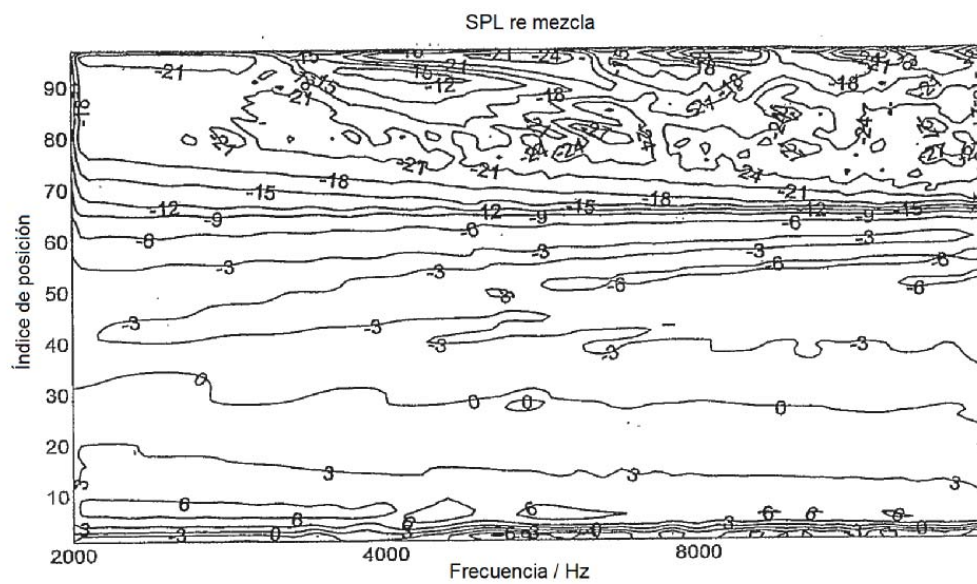


Fig 9a

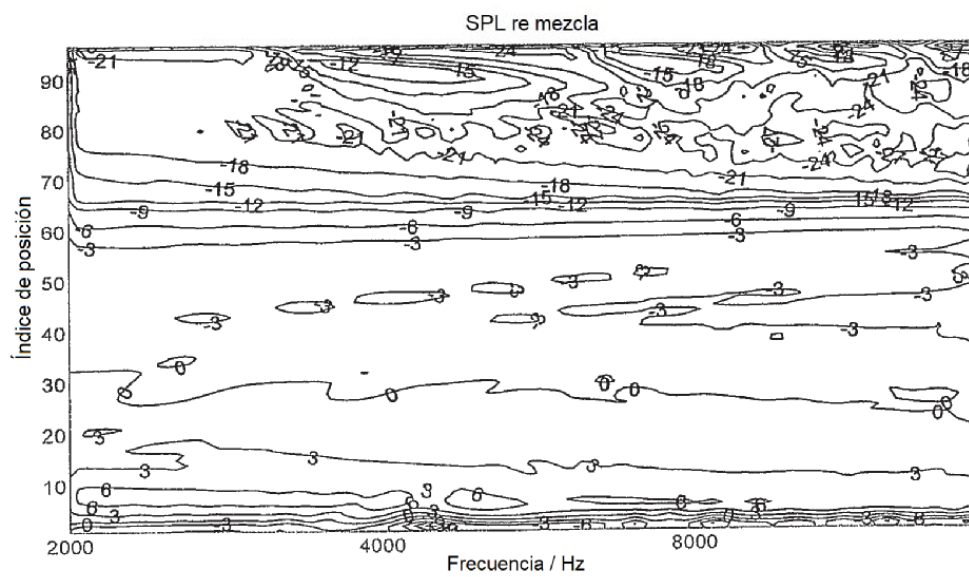


Fig 9b

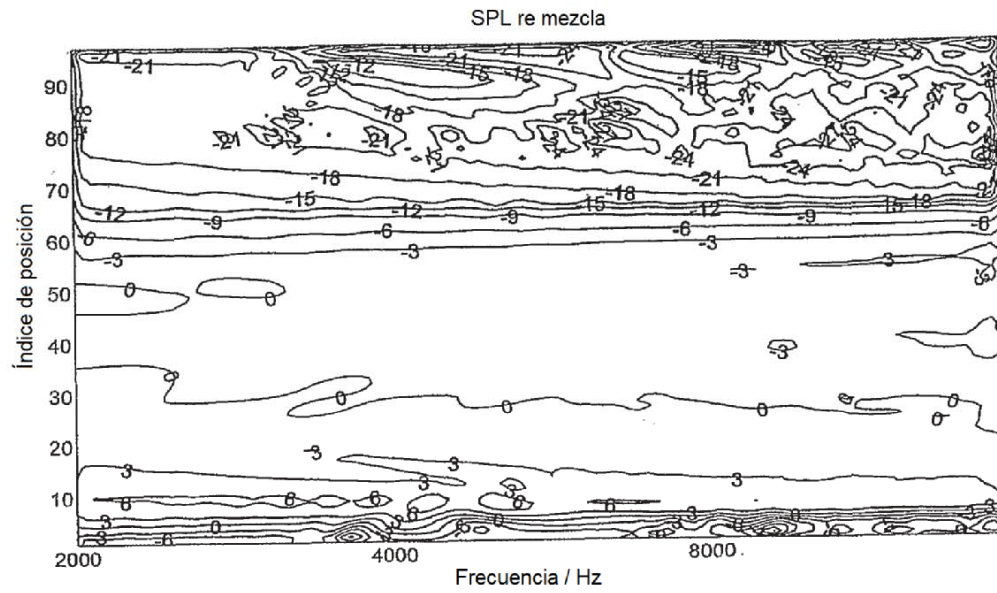


Fig 9c

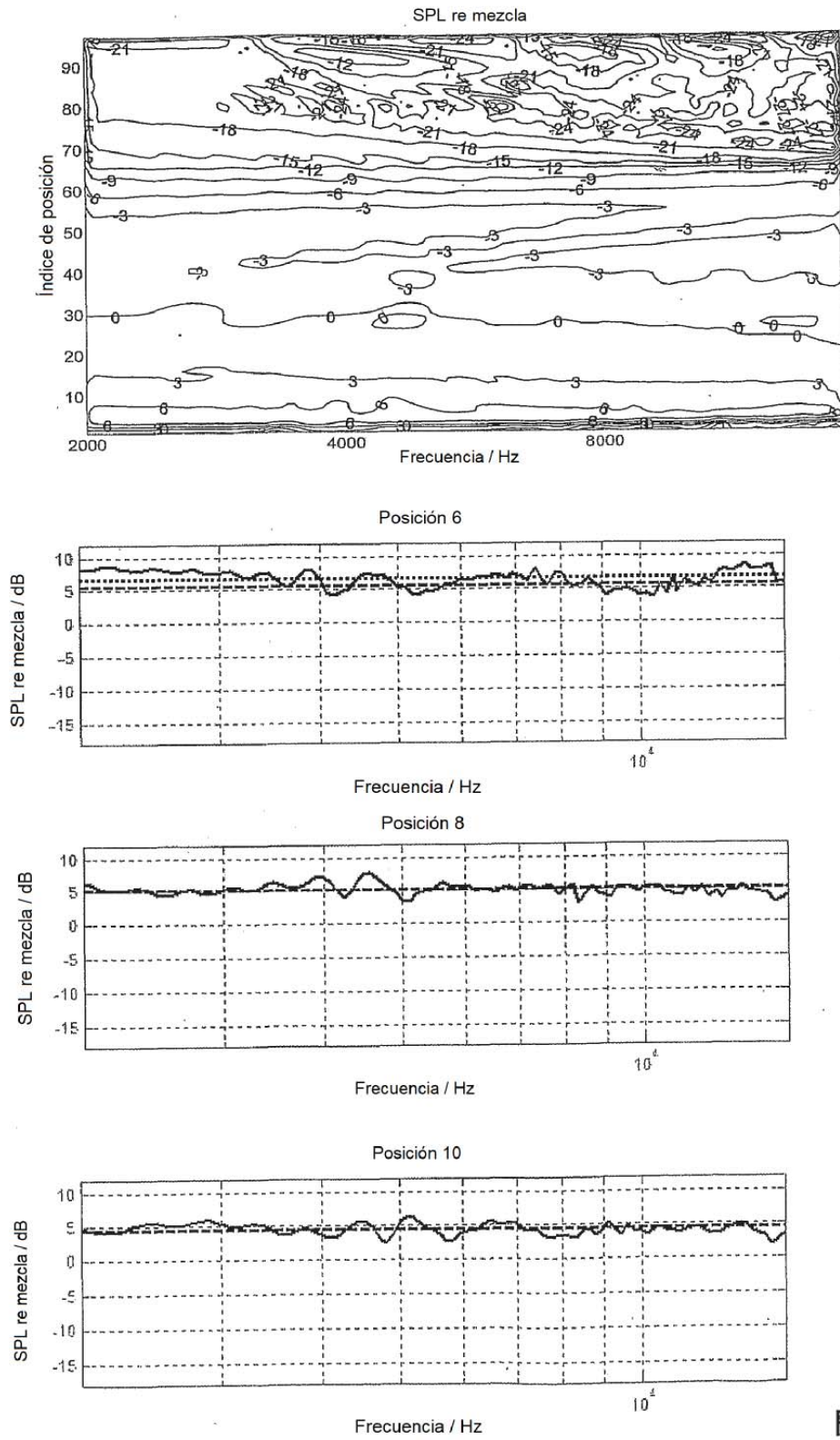


Fig 10a

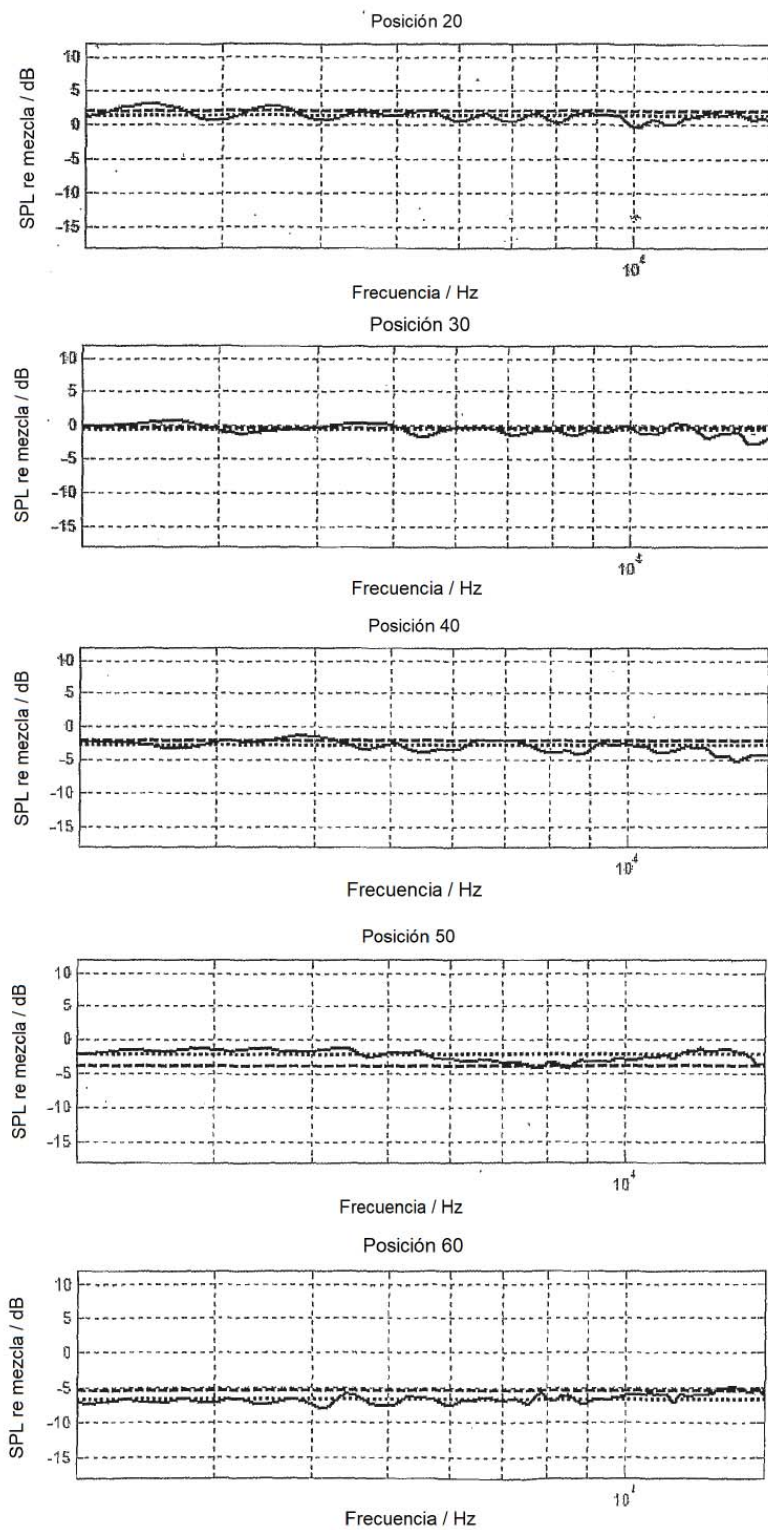


Fig 10b

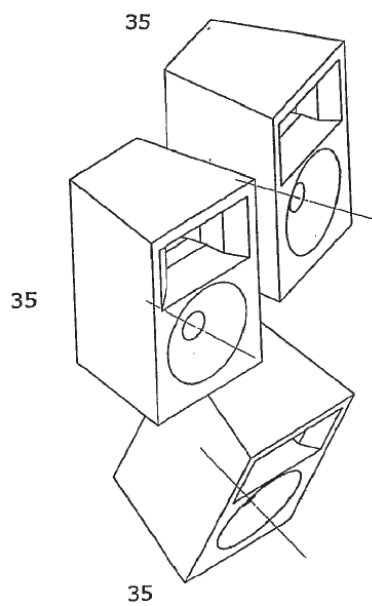


Fig 11

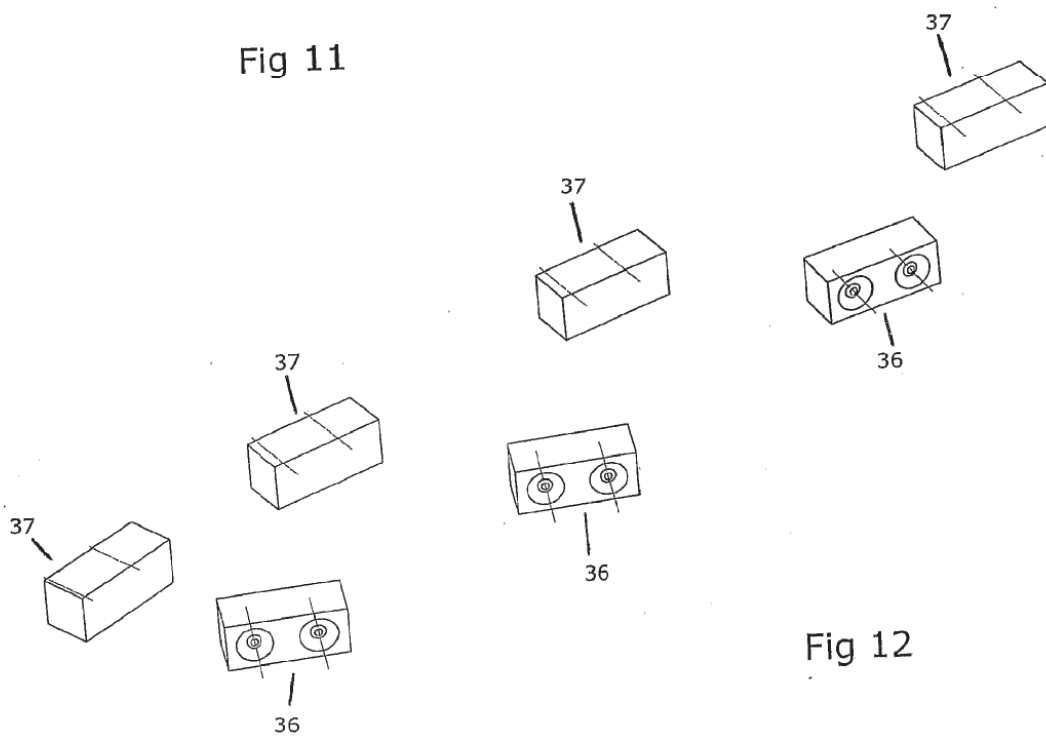


Fig 12