

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 577**

51 Int. Cl.:

H04R 3/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2015 PCT/EP2015/052199**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15128160**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2015 E 15703951 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 3111667**

54 Título: **Procedimiento y sistema de ecualización acústica automatizado**

30 Prioridad:

25.02.2014 FR 1451504

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

23.07.2018

73 Titular/es:

**ARKAMYS (100.0%)
31 rue Pouchet
75017 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**AMADU, FRÉDÉRIC y
DEVALLEZ, DELPHINE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 676 577 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

Procedimiento y sistema de ecualización acústica automatizado

Ámbito de la invención

La presente invención se refiere al ámbito del tratamiento de la señal sonora.

- 5 La presente invención se refiere de manera más particular a un procedimiento y a un sistema de ecualización acústica automatizado.

10 Un caso de utilización de la presente invención es el siguiente: en el ámbito del automóvil: se colocan una pluralidad de micrófonos en un vehículo y se difunden secuencias sonoras precalibradas en los altavoces del vehículo. Un sistema compara las señales sonoras emitidas y las señales sonoras recibidas y registradas. Se deduce así « la firma acústica » del habitáculo del vehículo. El usuario define después una curva de firma acústica objetivo, que es diferente de la firma acústica nativa del vehículo. Un segundo algoritmo calcula coeficientes de filtros digitales de manera que, cuando se apliquen estos filtros antes de la difusión de señales sonoras en los altavoces del vehículo, la firma acústica del vehículo se transforme en la curva de firma sonora objetivo, y no la firma acústica nativa del vehículo.

- 15 En el marco de la presente invención, se utilizan filtros « IIR » o « Infinite Impulse Response » en terminología anglosajona.

De modo más particular, en el marco de la presente invención se utilizan filtros denominados « Biquad » de orden dos.

- 20 El procedimiento y el sistema de acuerdo con la presente invención conciernen a la ecualización de la amplitud de la respuesta de frecuencia del habitáculo.

Estado de la técnica

El documento US2007/0025559 describe un sistema de ecualización acústica automatizado que comprende las características del preámbulo de las reivindicaciones independientes 1 y 7.

25 En el estado de la técnica se conoce la solicitud de patente francesa N° FR 2 967 848 (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), que se refiere a un sistema de corrección de espectro destinado especialmente a una sala de espectáculos. Esta solicitud de patente de la técnica anterior describe un sistema electroacústico que comprende una pluralidad de celdas. En estas celdas están previstos: un dispositivo de ecualización, un emisor, un receptor, un circuito de amplificación para amplificar las señales procedentes del receptor hacia el citado emisor y un órgano de cálculo que actuará, entre otros, sobre el dispositivo de ecualización. Esta solución técnica de la técnica anterior se propone medir la respuesta emisor, sala de espectáculos observada a nivel del receptor utilizando, especialmente, una señal de medición facilitada por un generador de ruido o cualquier otro método de medición que permita observar la respuesta del sistema en bucle abierto. El dispositivo de ecualización funciona para que la citada respuesta se aproxime lo más posible a una respuesta deseada. Esta solución técnica de la técnica anterior tiene como aplicación la modificación de las propiedades acústicas de salas de espectáculos.

35 La técnica anterior conoce igualmente, por la patente americana N° US 6 721 428 B1 (Texas Instruments), un ecualizador acústico de altavoces. Esta patente americana de la técnica anterior se refiere de modo más particular a un procedimiento para generar filtros digitales para ecualizar un altavoz. Se facilitan primeros datos digitales, para un intervalo de tolerancia en una curva de respuesta objetivo de señal sonora en función de la frecuencia en el altavoz. Se generan segundos datos digitales, para una curva de respuesta real de la señal sonora en función de la frecuencia en el altavoz. Se comparan los primeros datos digitales con los segundos datos digitales, y se determina si la curva de respuesta real está en el intervalo de tolerancia. Si la curva de respuesta real no está en el intervalo de tolerancia, se generan de modo iterativo filtros audiodigitales, y se aplican los filtros audiodigitales a los segundos datos digitales para generar terceros datos digitales para una curva de respuesta compensada. La frecuencia, la ganancia y la banda pasante de los filtros audiodigitales son optimizados de modo automático hasta que la curva de respuesta compensada esté en el intervalo de tolerancia o se alcance un límite predeterminado del número de filtros audiodigitales, aquél de los dos que tenga lugar primero.

45 En el estado de la técnica se conoce la publicación científica « Filter Design Method for Loudspeaker Equalization Based on IIR Parametric Filters » de Germán Ramos y José J. López.

Exposición de la invención

- 50 La presente invención propone un procedimiento que permita facilitar una ecualización de una señal determinando parámetros de filtros que permitan reducir la diferencia entre la amplitud de una respuesta de frecuencia que representa la firma acústica de un conjunto de altavoces en su entorno y una curva de firma sonora objetivo.

A tal efecto, la presente invención concierne, en su acepción más general, a un procedimiento de ecualización acústica automatizado, caracterizado por que el mismo comprende las etapas siguientes.

- Medición de N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos;
- 5 • Cálculo de las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida;
- Establecimiento de una media M de N respuestas de frecuencia;
- Traducción en escala logarítmica de frecuencia de la citada media M de las N respuestas de frecuencia;
- Interpolación de una curva de firma sonora objetivo C_{ec} a partir de un cierto número de puntos elegidos por un usuario;
- 10 • Traducción en escala logarítmica de frecuencia de la citada curva de firma sonora objetivo C_{ec} ;
- Comparación de la citada respuesta media M y de la citada respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta de firma sonora objetivo C_{ec} ;
- Análisis de la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} ; y
- 15 • Determinación de parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas;

comprendiendo el citado procedimiento además una etapa de optimización de los parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.

- 20 Así, el procedimiento de acuerdo con la presente invención permite obtener una ecualización acústica automatizada gracias a un cálculo preciso y optimizado de parámetros de filtros.

Preferentemente, la etapa de interpolación de la curva de firma sonora objetivo es realizada por medio del método de Hermite.

- 25 Ventajosamente, el citado procedimiento comprende además una etapa de optimización automática de la compensación de la respuesta objetivo C_{ec} repetida en cada iteración.

Ventajosamente, el citado procedimiento comprende además una etapa de alisado de las N respuestas de frecuencia.

Preferentemente, el citado procedimiento pone en práctica filtros correspondientes a los tipos siguientes. « peak », « notch », « high-self » y « low-self » en función de la forma de los máximos locales y de los mínimos locales.

- 30 De acuerdo con un modo de puesta en práctica particular, el citado procedimiento pone en práctica además un algoritmo de optimización global para minimizar el error.

La presente invención se refiere igualmente a un sistema de ecualización acústica automatizado, caracterizado por que el mismo comprende medios para:

- 35 • medir N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos;
- calcular las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida;
- establecer una media M de las N respuestas de frecuencia;
- traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada media M de las N respuestas de frecuencia;
- interpolar una curva objetivo C_{ec} a partir de un cierto número de puntos definidos por un usuario;
- 40 • traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada curva objetivo C_{ec} ;
- comparar la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} ;
- analizar la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , y

- determinar parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas,

5 comprendiendo el citado procedimiento además medios para optimizar parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.

Breve descripción de los dibujos

La invención se comprenderá mejor con la ayuda de la descripción, hecha a continuación a modo puramente explicativo, de un modo de realización de la invención, refiriéndose a las Figuras en las cuales.

- la Figura 1 ilustra las diferentes etapas del procedimiento de acuerdo con la presente invención;
- 10
- la figura 2 representa la curva de firma sonora objetivo C_{ec} en el sentido de la presente invención, las respuestas de frecuencia derivadas de las N mediciones de respuestas de impulsos, así como la media M , y
 - la figura 3 ilustra la detección y la clasificación de los máximos (« puntos más altos ») locales y de los mínimos (« puntos más bajos ») locales.

Descripción detallada de los modos de realización de la invención

15 La Figura 1 ilustra las diferentes etapas del procedimiento de acuerdo con la presente invención.

El procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con la presente invención comprende las etapas siguientes:

En un primer tiempo, se miden N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos.

20 A continuación se calculan las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida;

A continuación, se establece una media M de las N respuestas de frecuencia calculadas.

Se efectúa una traducción en escala logarítmica de frecuencia de la citada media M de las N respuestas de frecuencia.

Se interpola una curva de firma sonora objetivo C_{ec} y se traduce en escala logarítmica de frecuencia.

25 A continuación, se compara la respuesta media M y la respuesta de firma sonora objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre a respuesta media M y la respuesta objetivo C_{ec} .

Se analiza la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} .

30 Finalmente, se determinan parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende además una etapa de optimización de los parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.

35 Las respuestas de frecuencia pueden ser promediadas de modo « estándar » (es decir con pesos idénticos), o bien con pesos diferentes.

La Figura 2 representa la curva de firma sonora objetivo C_{ec} en el sentido de la presente invención, las respuestas de frecuencia derivadas de las N mediciones de respuestas de impulsos, así como la media M . En el marco de la presente invención, se procede a una comparación de la respuesta media M y de la respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la respuesta media M y la respuesta objetivo C_{ec} .

40 La Figura 3 ilustra la detección y la clasificación de los máximos (« puntos más altos ») locales y de los mínimos (puntos más bajos) locales. De acuerdo con la presente invención, se tratan en primer lugar los máximos (puntos más altos) locales por orden decreciente según su ganancia, después de tratan los mínimos (puntos más bajos) locales por orden creciente. Esto permite determinar parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la respuesta media M y la respuesta objetivo C_{ec} . Se realizan iteraciones sucesivas.

45 En estudios científicos se ha demostrado que es preferible ecualizar en primer lugar los puntos más altos, y después los huecos. En efecto, el oído humano es más sensible a los puntos más altos que a los puntos más bajos.

En un modo de realización, la optimización de la compensación de la curva objetivo se realiza como sigue:

Se calculan de nuevo la curva objetivo y la respuesta frecuencial media en una escala logarítmica a fin de aproximar la resolución no uniforme del sistema auditivo. Esto es realizado por una función de alisado que muestrea de nuevo la respuesta frecuencial en una escala logarítmica con por ejemplo una resolución frecuencial de 1/48 octavo.

- 5 I) se aplica la banda de frecuencia de optimización « FreqRange » como un vector de peso FreqWeight que vale 0 fuera de la banda de frecuencia y 1 en el interior de la banda de frecuencia.
- ii) se calcula el valor inicial de la compensación « Offset » (en dB) como el valor medio de la respuesta frecuencial media en la banda de frecuencia de equalización.

$$\text{Offset} = \text{media} (C_{ec}(n_i : n_f))$$

10 donde n_i y n_f son respectivamente el primero y el último de los puntos de frecuencia de la banda de frecuencia logarítmica de equalización.

- iii) El algoritmo de optimización consiste en encontrar la compensación óptima, Offset, que minimiza el error entre M y C_{ec} (Shape+Offset), definida como sigue:

$$e_{\text{medio}} = \frac{1}{n_f - n_i + 1} \sum_{k=n_i}^{n_f} |M(f_k) - C_{ec}(f_k)|$$

con $C_{ec} = \text{Offset} + \text{Shape}$

- 15 Esto se realiza con el algoritmo de optimización, que calcula de modo iterativo el error e_{medio} , y busca la compensación óptima en un intervalo de ± 100 dB alrededor del valor inicial. Además de la minimización del error e_{medio} , se añade una limitación al problema de optimización, a fin de limitar la ganancia de los puntos más altos en $G_{\text{máx}}$ en dB. El mismo se define como sigue:

$$\max_{n_i \leq k \leq n_f} |M(f_k) - C_{ec}(f_k)| \leq G_{\text{máx}}$$

- 20 Los parámetros y el número de los filtros son optimizados por medio de un algoritmo. Los parámetros f, Q y G (respectivamente frecuencia central, factor de calidad y ganancia de los filtros biquads) son optimizados a partir de intervalos de valores que pueden ser predefinidos por un usuario, y los intervalos de valores de Q y G pueden depender de la frecuencia. Así, por ejemplo en las altas frecuencias, los filtros de pequeña ganancia son más fácilmente eliminados porque estos no son perceptibles.

- 25 En un modo de realización, el objetivo es encontrar los parámetros óptimos ($f_{c_{\text{opt}}}$, G_{opt} , Q_{opt}) de un filtro y la compensación óptima de la curva objetivo $\text{Offset}_{\text{opt}}$. Los límites de los parámetros se determinan como:

$$\max \left(\frac{f_c}{2^{1/2}}, \text{FreqRange}(1) \right) \leq f_{c_{\text{opt}}} \leq \min \left(f_c \times 2^{1/2}, \text{FreqRange}(2) \right)$$

$$-G \times 0,9 \leq G_{\text{opt}} \leq G \times 1,1 \text{ si } G \leq 0 \text{ y } -G \times 1,1 \leq G_{\text{opt}} \leq G \times 0,9 \text{ si } G > 0$$

$$\text{QRange} (1) \leq Q_{\text{opt}} \leq \text{QRange} (2)$$

$$\text{TargetGain} - 100 \leq \text{TargetGain}_{\text{opt}} \leq \text{TargetGain} + 100$$

- 30 Donde f_c y G son respectivamente la frecuencia central y la ganancia de un filtro biquad que modela el enésimo pico, y QRange es la página de valores admisibles del factor de calidad Q.

35 Se realiza un proceso de post-optimización. Este proceso de post-optimización consiste en reclasificar los filtros por frecuencia creciente y en reoptimizar los coeficientes. Si un filtro es anulado en este proceso, se busca un nuevo pico/hueco a fin de tener en salida el número máximo de filtros. El proceso de optimización es puesto en práctica hasta que se alcance el número máximo de filtros.

En un modo de realización, la etapa de interpolación de la curva objetivo se realiza por medio del método de Hermite.

En un modo de realización, el procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende además una etapa de optimización automática de la compensación de la respuesta objetivo C_{ec} repetida en cada iteración.

- 40 En un modo de realización, el procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende además una etapa de alisado de las N respuestas de frecuencia.

En el marco del procedimiento de acuerdo con la invención, se ponen en práctica filtros correspondientes a los tipos siguientes: « peak », « notch », « high-self » y « low-self » en función de los máximos (puntos más altos) locales y de los mínimos (puntos más bajos) locales.

5 En ciertos casos, es preferible elegir un filtro de tipo « peak ». En otros casos, es preferible elegir un filtro de tipo « self ». La selección del filtro se efectúa en función del rebasamiento o no de un cierto umbral por el factor de calidad.

En un modo de realización, el procedimiento de acuerdo con la presente invención pone en práctica un algoritmo de optimización global para minimizar el error.

La presente invención se refiere igualmente a un sistema de ecualización acústica automatizado, que comprende medios para.

- 10
- medir N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos;
 - calcular las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida;
 - establecer una media M de las N respuestas de frecuencia,
 - traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada media M de las N respuestas de frecuencia;
- 15
- interpolar una curva objetivo C_{ec} a partir de un cierto número de puntos definidos por un usuario;
 - traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada curva objetivo C_{ec} ;
 - comparar la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} ,
- 20
- analizar la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , y
 - determinar parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas,

25 comprendiendo el citado sistema además medios para optimizar parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.

La invención se ha descrito en lo que precede a modo de ejemplo. Se entiende que el especialista en la materia es capaz de realizar diferentes variantes de la invención sin por ello salirse del marco de la patente.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de ecualización acústica automatizado, que comprende las etapas siguientes:
 - Medición de N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos;
- 5
 - Cálculo de las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida;
 - Establecimiento de una media M de las N respuestas de frecuencia;
 - Traducción en escala logarítmica de frecuencia de la citada media M de las N respuestas de frecuencia;
 - Interpolación de una curva de firma sonora objetivo C_{ec} a partir de un cierto número de puntos definidos por un usuario;
- 10
 - Traducción en escala logarítmica de frecuencia de la citada curva de firma sonora objetivo C_{ec} ;
 - Comparación de la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta de firma sonora objetivo C_{ec} ,
 - Análisis de la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , y
- 15

caracterizado por que el mismo comprende la etapa siguiente:

 - Determinación de parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas,
- 20

comprendiendo el citado procedimiento además una etapa de optimización de los parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.
2. Procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la etapa de interpolación de la curva de firma sonora objetivo es realizada por medio del método de Hermite.
3. Procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que el mismo comprende además una etapa de optimización automática de la compensación de la respuesta objetivo C_{ec} repetida en cada iteración.
- 25
4. Procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 o 3, caracterizado por que el mismo comprende además una etapa de alisado de las N respuestas de frecuencia.
5. Procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el mismo pone en práctica filtros correspondientes a los tipos siguientes: « peak », « notch », « high-self » y « low-self » en función de los máximos locales y de los mínimos locales.
- 30
6. Procedimiento de ecualización acústica automatizado de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el mismo pone en práctica un algoritmo de optimización global para minimizar el error.
7. Procedimiento de ecualización acústica automatizado, que comprende medios para:
 - 35
 - medir N respuestas de impulsos RI_1, RI_2, \dots, RI_N después de la emisión de una señal sonora precalibrada recibida por N micrófonos,
 - calcular las N respuestas de frecuencia correspondientes por Transformada de Fourier rápida,
 - establecer una media M de las N respuestas de frecuencia,
 - traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada media M de las N respuestas de frecuencia;
 - 40
 - interpolar una curva objetivo C_{ec} a partir de un cierto número de puntos definidos por un usuario,
 - traducir en escala logarítmica de frecuencia la citada curva objetivo C_{ec} ;
 - comparar la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , calculando la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} ,

- analizar la curva C_{dif} resultante de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} , y

caracterizado por que el mismo comprende medios para

- 5
- determinar parámetros de filtros para la reducción de la diferencia entre la citada respuesta media M y la citada respuesta objetivo C_{ec} tratando en primer lugar los máximos locales por orden decreciente según su ganancia, después los mínimos locales, y realizando iteraciones sucesivas,

comprendiendo el sistema además medios para optimizar parámetros de los filtros a fin de mejorar la eficacia del sistema.

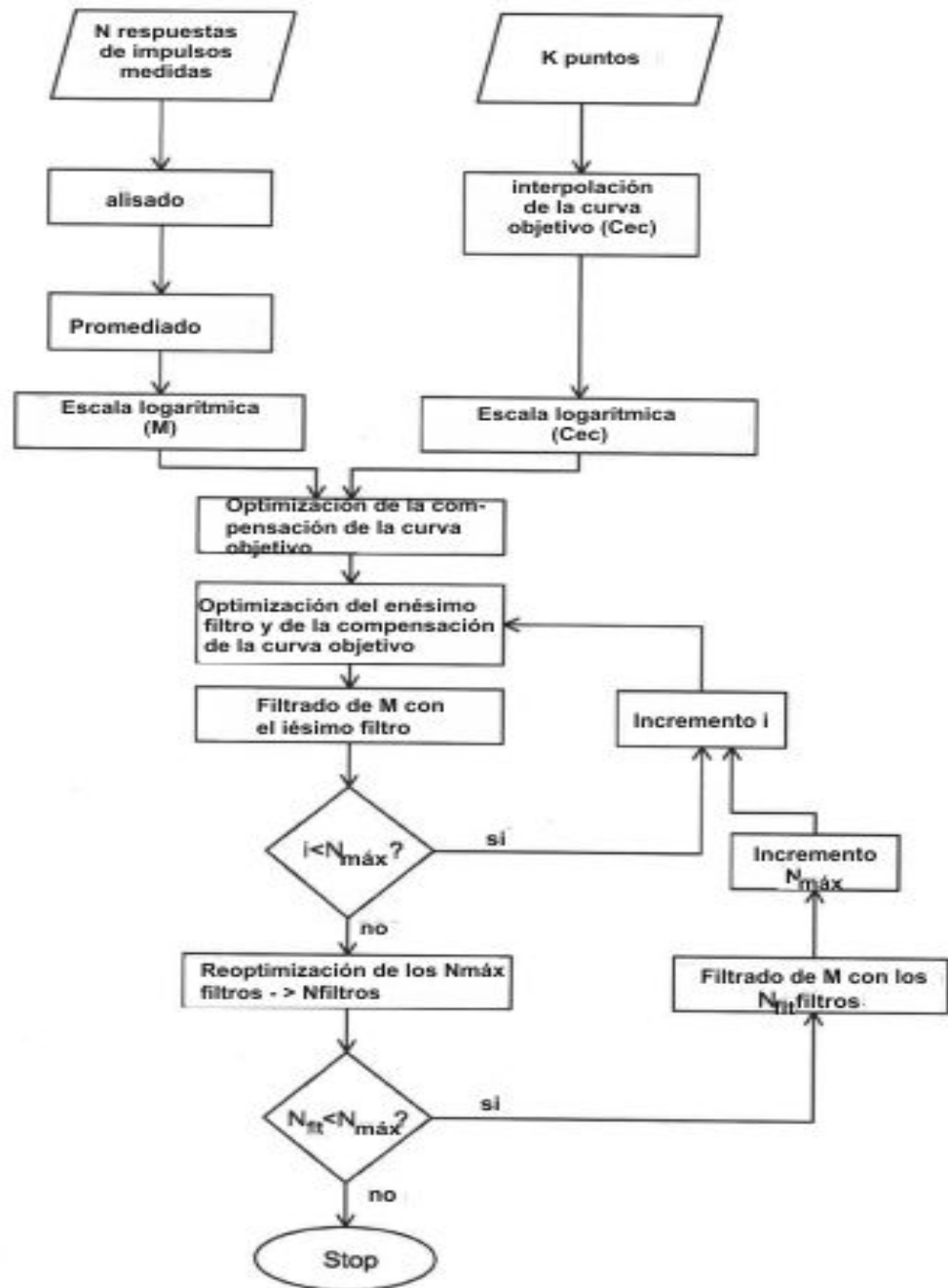


Figura 1

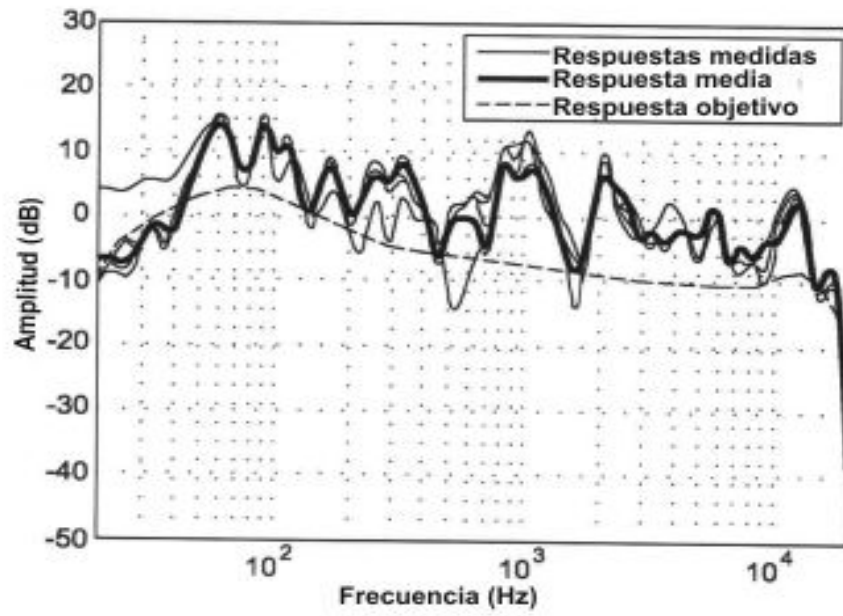


Figura 2

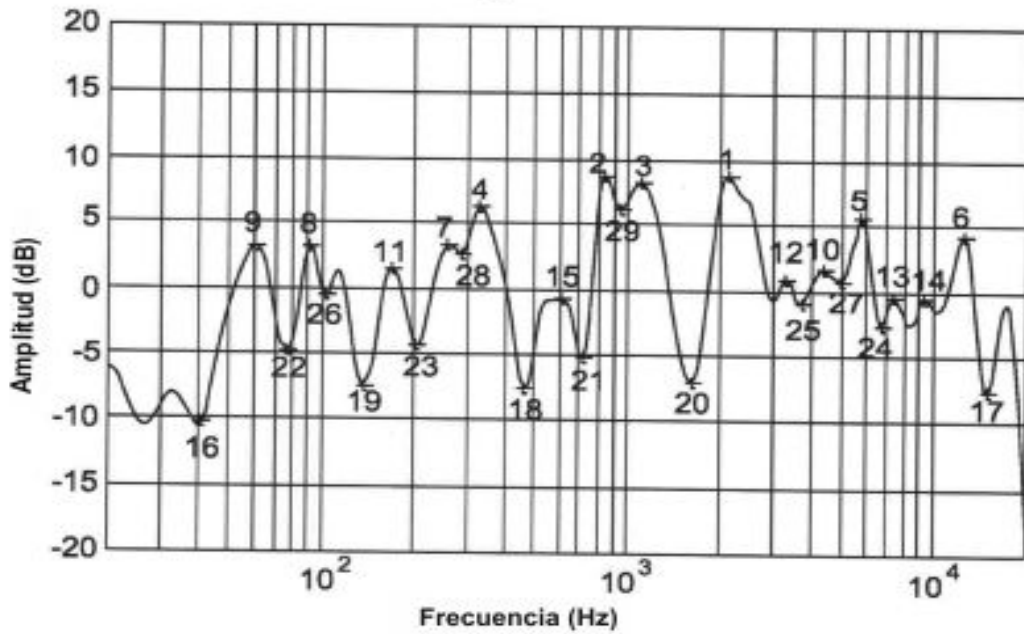


Figura 3