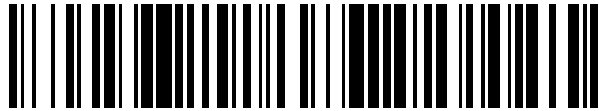


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 463 395**

51 Int. Cl.:

**H04R 5/04** (2006.01)  
**H04R 29/00** (2006.01)  
**H04R 1/40** (2006.01)  
**H04R 5/027** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2011 E 11711335 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 2553942**

54 Título: **Aparato y procedimiento para medir una pluralidad de altavoces y arreglo de micrófono**

30 Prioridad:

**14.04.2010 EP 10159914**  
**31.03.2010 US 319712 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.05.2014**

73 Titular/es:

**FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (100.0%)  
Hansastrasse 27  
80686 München, DE**

72 Inventor/es:

**SILZLE, ANDREAS;  
THIERGART, OLIVER;  
DEL GALDO, GIOVANNI y  
LANG, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 463 395 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**

Aparato y procedimiento para medir una pluralidad de altavoces y arreglo de micrófono.

5 **[0001]** La presente invención es concerniente con mediciones acústicas para altavoces dispuestos en diferentes posiciones en un área de audición y en particular con la medición eficiente de un alto número de altavoces dispuestos en una configuración tridimensional en el área de audición.

10 **[0002]** La Figura 2 ilustra una sala de audición en Fraunhofer IIS en Erlangen, Alemania. Esta sala de audición es necesaria con el fin de efectuar pruebas de audición. Estas pruebas de audición son necesarias con el fin de evaluar esquemas de codificación de audio. Con el fin de asegurar resultados comparables y reproducibles de las pruebas de audición, es necesario efectuar estas pruebas en salas de audición estandarizadas, tales como la sala de audición ilustrada en la Figura 2. Esta sala de audición sigue la recomendación ITU-R BS 1116-1. En esta sala, el gran número de 54 altavoces son montados como una instalación o montaje de altavoz tridimensional. Los altavoces son montados sobre una armadura circular de dos capas suspendidas del techo y sobre un sistema de riel sobre la pared. El gran número de altavoces provee mayor flexibilidad que es necesaria tanto para investigación académica como para formatos de sonido actuales y futuros de estudio.

20 **[0003]** Con tal gran número de altavoces, la verificación de que están funcionando correctamente y que están conectados apropiadamente es una tarea tediosa y molesta. Comúnmente, cada altavoz tiene ajustes individuales en la caja de altavoz. Adicionalmente, existe una matriz de audio que permite el cambio de ciertas señales de audio a ciertos altavoces. Además, no se puede garantizar que todos los altavoces, además de los altavoces que están anexados fijamente a un cierto soporte estén en sus posiciones correctas. En particular, los altavoces que permanecen sobre el piso en la Figura 2, pueden ser cambiados como alternativa y a la izquierda y derecha y por consiguiente no se puede garantizar que al comienzo de una prueba de audición, todos los altavoces estén en la posición en la cual deben estar, todos los altavoces tienen sus ajustes individuales como los tendrían y la matriz de audio es ajustada a un cierto estado con el fin de distribuir correctamente las señales de altavoz a los altavoces. Además del hecho de que tales salas de audición son usadas por una pluralidad de grupos de investigación, se pueden presentar fallas eléctricas y mecánicas de vez en cuando.

30 **[0004]** En particular, los siguientes problemas ejemplares pueden ocurrir. Estos son:

- Los altavoces no son encendidos o no están conectados.
- 35 • La señal enrutada al altavoz incorrecto, el cable de señal conectado al altavoz incorrecto.
- El nivel de un altavoz ajustado equivocadamente en el sistema de encausamiento de audio o en el altavoz.
- Ecualizador ajustado incorrectamente en el sistema de enrutamiento de audio o en el altavoz.
- 40 • Daños de una sola unidad en un altavoz multidireccional.
- El altavoz está colocado, orientado incorrectamente o un objeto está obstruyendo la ruta acústica.

45 **[0005]** Normalmente, con el fin de evaluar manualmente la funcionalidad del montaje de altavoz en el área de audición, una gran cantidad de tiempo es necesario. Este tiempo es requerido para verificar manualmente la posición y orientación de cada altavoz. Adicionalmente, cada altavoz tiene que ser inspeccionado manualmente con el fin de encontrar los ajustes de altavoz correctos. Con el fin de verificar la funcionalidad eléctrica del enrutamiento de señal por una parte y los altavoces individuales por otra parte, una persona altamente experimentada es necesaria para efectuar una prueba de audición en donde, comúnmente, cada altavoz es excitado con la señal de prueba y el usuario experimentado evalúa luego en base a su conocimiento si este altavoz es correcto o no.

55 **[0006]** Es claro que este procedimiento es caro debido al hecho de que es necesaria una persona altamente experimentada. Adicionalmente, este procedimiento es tedioso debido al hecho de que la inspección de todos los altavoces revelaran comúnmente que la mayoría o aun todos los altavoces están orientados correctamente y ajustados correctamente, pero por otra parte, no se puede omitir este procedimiento, puesto que una sola o varias fallas que no son descubiertas pueden destruir el significado de una prueba de audición. Finalmente, aun aunque una persona experimentada lleve a cabo el análisis de funcionalidad de la sala de audición, errores no obstante no son excluidos.

60 **[0007]** Es el objeto de la presente invención proveer un procedimiento mejorado para verificar la funcionalidad de una pluralidad de altavoces dispuestos en posiciones diferentes en un área de audición.

65 **[0008]** Este objeto se alcanza con una disposición de micrófonos de acuerdo con la reivindicación 1.

**[0009]** Unos ejemplos de micrófonos del estado de la técnica se pueden encontrar en los siguientes documentos de patente: WO 2009/077152 A1, EP 0 869 697 A2 y JP 2006-211047.

5 **[0010]** La presente invención está basada en el descubrimiento de que la eficiencia y la exactitud de pruebas de adición pueden ser altamente mejoradas al adaptar la verificación de la funcionalidad de los altavoces dispuestos en el espacio de audición utilizando un aparato eléctrico. Este aparato comprende un generador de señal de prueba para generar una señal de prueba para los altavoces, un dispositivo de micrófono para la captación de una pluralidad de señales de micrófono individuales, un controlador para controlar emisiones de la señal de altavoz y el manejo de la señal de sonido grabada por el dispositivo de micrófono, de tal manera que un conjunto de señales de sonido registrada por el dispositivo de micrófono son asociadas con cada altavoz y un evaluador para evaluar el conjunto de señales de sonido para cada altavoz para determinar por lo menos una característica de altavoz para cada altavoz y para indicar un estado de altavoz utilizando la por lo menos una característica de altavoz.

15 **[0011]** La invención es ventajosa ya que permite efectuar la verificación de altavoces colocados en un espacio de audición por una persona no entrenada, puesto que el evaluador indicara un estado de bueno/no bueno y la persona no entrenada puede examinar individualmente el altavoz no bueno y puede depender de los altavoces que han indicado estar en estado funcional.

20 **[0012]** Adicionalmente, la invención provee mayor flexibilidad en que las características de altavoz seleccionadas individualmente y preferiblemente, varias características de altavoz pueden ser usadas y calculadas además, de tal manera que se puede reunir una imagen completa del estado de altavoz para los altavoces individuales. Esto se hace al proveer una señal de prueba a cada altavoz, preferiblemente de manera secuencial y al registrar la señal de altavoz preferiblemente usando un arreglo de micrófono. De aquí, la dirección de llegada de la señal puede ser calculada, de tal manera que la posición del altavoz en la sala, aun cuando los altavoces estén dispuestos en un esquema tridimensional, puede ser calculada de manera automática. Específicamente, el último aspecto no puede ser satisfecho aun por una persona experimentada comúnmente en vista de la alta exactitud, que es provista por el sistema de la invención preferido.

30 **[0013]** En un ejemplo útil para entender la presente invención, un sistema de pruebas de multi-altavoces puede determinar exactamente la posición con una tolerancia de  $\pm 3$  grados para el ángulo de elevación y el ángulo de azimuth. La exactitud de la distancia es  $\pm 4$  cm y la respuesta de magnitud de cada altavoz puede ser registrada en una exactitud de  $\pm 1$  dB de cada altavoz individual en la sala de audición. Preferiblemente, el sistema compara cada medición según la referencia y puede así identificar los altavoces que están operando fuera de la tolerancia.

35 **[0014]** Adicionalmente, debido a tiempos de medición razonables, que son tan bajos como de 10 segundos por altavoz incluyendo el procesamiento, el sistema de la invención es aplicable en la práctica aun cuando un gran número de altavoces tienen que ser medidos. Además, la orientación de los altavoces no está limitada a cualquier cierta configuración, sino que el concepto de medición es aplicable para cada disposición e altavoz en un esquema tridimensional arbitrario.

40 **[0015]** La presente invención serán discutidas subsecuentemente con referencia a las figuras, en las cuales:

La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques de un aparato para medir una pluralidad de altavoces;

45 La Figura 2 ilustra una sala de pruebas de audición ejemplar con un montaje de nueve altavoces principales, 9 sub-buffers y 43 altavoces sobre las paredes y las 2 armaduras circulares sobre alturas diferentes;

La Figura 3 ilustra una modalidad preferida de un arreglo de micrófono tridimensional;

50 La Figura 4a ilustra un esquema para mostrar las etapas para determinar la dirección de la llegada del sonido utilizando el procedimiento de DirAC;

La Figura 4b ilustra ecuaciones para calcular señales de velocidad de partícula en diferentes direcciones utilizando micrófonos del arreglo de micrófono de la Figura 3;

55 La Figura 4c ilustra el cálculo de una señal de sonido omnidireccional para un formato B, que es efectuado cuando el micrófono central no está presente;

La Figura 4d ilustra etapas para efectuar un algoritmo de localización tridimensional;

60 La Figura 4e ilustra una densidad de potencia espacial real para un altavoz;

La Figura 5 ilustra un esquema de un conjunto de elementos físicos de altavoces y micrófonos;

65 La Figura 6a ilustra una secuencia de medición para referencia;

La Figura 6b ilustra una secuencia de medición para pruebas;

La Figura 6c ilustra una salida de medición ejemplar en forma de una respuesta de magnitud en donde, en un cierto intervalo de frecuencia, no se satisfacen las tolerancias;

La Figura 7 ilustra una implementación preferida para determinar varias características de altavoz;

La Figura 8 ilustra una respuesta de impulso ejemplar y una longitud de ventana para efectuar la determinación de dirección de llegada y

La Figura 9 ilustra las relaciones de las longitudes de porciones de respuesta (s) de impulso requerida (s) para medir la distancia, la dirección de llegada y la función de respuesta de impulso/transferencia de un altavoz.

**[0016]** La Figura 1 ilustra un aparato para medir una pluralidad de altavoces dispuestos en diferentes posiciones en un espacio de audición. El aparato comprende un generador de señal de prueba 10 para generar una señal de prueba para un altavoz. De manera ejemplar, N altavoces son conectados al generador de señal de prueba en la salida de altavoz 10a, ..., 10b.

**[0017]** El aparato comprende adicionalmente un dispositivo de micrófono 12. El dispositivo de micrófono 12 puede ser implementado como un arreglo de micrófono que tiene una pluralidad de micrófonos individuales o puede ser implementado como un micrófono, que puede ser movido secuencialmente entre diferentes posiciones, en donde una respuesta secuencial por el altavoz a señales de prueba aplicadas secuencialmente es medida, para el dispositivo de micrófono está configurada para recibir señales de sonido en respuesta a una o más señales de altavoz emitidas por un altavoz de la pluralidad de altavoces en respuesta a una o más señales de prueba.

**[0018]** Adicionalmente, se provee un controlador 14 para controlar emisiones de la señal de altavoz por la pluralidad de altavoces y para manejar las señales de sonido recibidas por el dispositivo de micrófono. De tal manera que un conjunto de señales de sonido grabadas por el dispositivo de micrófono son asociadas con cada altavoz de la pluralidad de altavoces en respuesta a una o más señales de prueba. El controlador 14 es conectado al dispositivo de micrófono vía las líneas de señal 13a, 13b y 13c. cuando el dispositivo de micrófono tiene solo un micrófono movable a diferentes posiciones de manera secuencial, una sola línea 13a sería suficiente.

**[0019]** El aparato para medición comprende adicionalmente un evaluador 16 para evaluar el conjunto de señales de sonido para cada altavoz para determinar por lo menos una característica de altavoz para cada altavoz y para indicar el estado de altavoz utilizando la por lo menos una característica de altavoz. El evaluador es conectado al controlador vía una línea de conexión 17, que puede ser una conexión de una sola dirección del controlador al evaluador o que puede ser una conexión bidireccional, cuando el evaluador es implementado para proveer información al controlador. Así, el evaluador provee una indicación de estado para cada altavoz, esto es, si este altavoz es un altavoz funcional o es un altavoz defectuoso.

**[0020]** Preferiblemente, el controlador 14 está configurado para efectuar una medición automática en la cual una cierta secuencia es aplicada para cada altavoz. Específicamente, el controlador controla el generador de señal de prueba para emitir una señal de prueba. Al mismo tiempo, el controlador registra señales captadas por el dispositivo de micrófono y los circuitos conectados al dispositivo de micrófono, cuando se inicia un ciclo de medición. Cuando la medición de la señal de prueba de altavoz esta consumada, la señales de sonido recibidas por cada uno de los micrófonos son luego manejadas por el controlador y son por ejemplo almacenadas por el controlador en la sesión con el altavoz específico que ha emitido la señal de prueba o más exactamente, que fue dispositivo de prueba. Como se afirma anteriormente, se va a verificar si el altavoz específico que ha recibido la señal de prueba es un efecto del altavoz real que finalmente ha emitido una señal de sonido correspondiente a la señal de prueba. Esto es verificado al calcular la distancia o dirección de llegada del sonido emitido por altavoz en respuesta a la señal de prueba utilizando preferiblemente el arreglo de micrófono direccional.

**[0021]** Como alternativa, el controlador puede efectuar una medición de varios o todos los altavoces concurrentemente. Para este fin, el generador de señal de prueba está configurado para generar diferentes señales de prueba para diferentes altavoces. Preferiblemente, las señales de prueba son por lo menos parcialmente mutuamente ortogonales entre sí. Esta ortogonalidad puede incluir diferentes bandas de frecuencia no traslapantes en una frecuencia multiplex o diferentes códigos en un código multiplex u otras de tales implementaciones. El evaluador está configurado para separar las diferentes señales de prueba para los diferentes altavoces tales como al asociar una cierta banda de frecuencia a un cierto altavoz o un cierto código a un cierto altavoz en analogía a la implementación secuencial, en la cual un cierto segmento de tiempo es asociado a un cierto altavoz.

**[0022]** Así, el controlador controla automáticamente el generador para señal de prueba y maneja las señales captadas por el dispositivo de micrófono para generar las señales de prueba, por ejemplo de manera secuencial y para recibir las señales obtenidas de manera secuencial, de tal manera que el conjunto de señales de sonido son asociadas con el altavoz específico que ha emitido la señal de prueba de altavoz inmediatamente antes de la recepción del conjunto de señales sonido por el arreglo de micrófono.

**[0023]** Un esquema del sistema completo que incluye el sistema de enrutamiento de audio, altavoces, convertidor digital/análogo, convertidores análogos/digitales y al arreglo de micrófono tridimensional es presentado en la Figura 5. Específicamente, la Figura 5 ilustra un sistema de enrutamiento de audio 50, un convertidor digital/análogo para la conversión digital/análoga de una señal de prueba introducida a un altavoz en donde el convertidor digital/análogo es indicado con 51. Adicionalmente, se provee un convertidor/análogo 52, que es conectado a salidas análogas de micrófonos individuales dispuestos en el arreglo de micrófono tridimensional 12. Los altavoces individuales son indicados en 54a,...,54b. El sistema puede comprender un control remoto 55 que tiene la funcionalidad para controlar el sistema de enrutamiento de audio 50 y una computadora conectada 56 para el sistema de medición. Las conexiones individuales en la modalidad preferida son indicadas en la Figura 5, en donde, "MADI" significa interface de audio/digital de multicanal y "ADAT" significa cinta de audio Alesis-digital (formato de cable óptico). Las otras abreviaturas son conocidas para aquellos experimentados en el arte. Un generador de señal de prueba 10, el controlador 14 y el evaluador 16 de la Figura 1 son incluidos preferiblemente en la computadora 55 de la Figura 5 o pueden también estar incluidos en el procesador de control remoto 55 de la Figura 5.

**[0024]** Preferiblemente, el concepto de medición es efectuado en la computadora, que esta normalmente alimentando los altavoces y controles. Por consiguiente, la cadena de procesamiento de señales eléctricas y acústicas completas de la computadora sobre el sistema de enrutamiento de audio, los altavoces hasta el dispositivo de micrófono en la posición de audición es medida. Esto es preferido con el fin de capturar todos los errores posibles que se pueden presentar en tal cadena de procesamiento de señales. La conexión individual 57 del convertidor digital/análogo 51 al convertidos análogo/digital 52 es usada para medir el retardo acústico entre los altavoces y el dispositivo de micrófono y puede ser usada para proveer la señal de referencia X ilustrada en la Figura 7 al evaluador 16 de la Figura 1, de tal manera que una función de transferencia o como alternativa, una respuesta de impulso de un altavoz seleccionado a cada micrófono puede ser calculada mediante composición como es conocido en el arte. Específicamente, la Figura 7 ilustra una etapa 70 efectuada por el aparato en la Figura 1 en la cual la señal de micrófono Y es medida y la señal de referencia X es medida, lo que se hace al usar la conexión de corto circuito 57 de la Figura 5. Subsecuentemente, en la etapa 71, una función de transferencia H puede ser calculada en el dominio de frecuencia mediante medición de los valores de dominio de frecuencia o una respuesta de impulso  $h(t)$  puede ser calculada en el dominio de tiempo utilizando convolución. La función de transferencia H (f) es ya una característica de altavoz, pero otras características de altavoz como se ilustra ejemplarmente en la Figura 7 pueden ser calculadas también. Estas otras características son por ejemplo la respuesta de impulso de dominio de tiempo h ( $\tau$ ) que puede ser calculada al efectuar una FFT inversa de la función de transferencia. Como alternativa, la respuesta de amplitud, que es la magnitud de la función de transferencia compleja puede ser calculada también. Adicionalmente, la fase como función de frecuencia puede ser calculada o el retardo de grupo  $\tau$ , que es la primera derivada de la fase con respecto a la frecuencia. Una característica de altavoz diferente es la curva de energía-tiempo, etc., que indica la distribución de energía de la respuesta de impulso. Una característica importante adicional es la distancia entre el altavoz y el micrófono y la dirección de llegada de la señal de sonido al micrófono es una característica de altavoz importante adicional, que es calculada utilizando el algoritmo de DirAC, como será discutido posteriormente en la presente.

**[0025]** La Figura 1 presenta un sistema de pruebas de multi-altavoces automático que, al medir la posición y respuesta de magnitud de cada altavoz, verifica la presencia de la variedad de problemas descritos anteriormente. Todos estos errores son detectables mediante etapas de post-procesamiento llevadas a cabo por el controlador 16 de la Figura 1. Para este fin, es preferido que el evaluador calcule respuestas de impulso de sala de las señales de micrófono que han sido grabadas con cada micrófono de presión individual del arreglo de micrófono tridimensional ilustrado en la Figura 3.

**[0026]** Preferiblemente, un solo barrido de seno logarítmico es usado como señal de prueba, en donde esta señal de prueba es reproducida individualmente por cada altavoz bajo prueba. Este barrido de seno logarítmico es generado por el generador de señal de prueba 10 de la Figura 1 y es preferiblemente igual para cada altavoz permitido. El uso de esta señal de prueba individual para verificar todos los errores es particularmente ventajoso ya que reduce significativamente el tiempo de prueba total a alrededor de 10 segundos por altavoz incluyendo el procesamiento.

**[0027]** Preferiblemente, mediciones de respuesta de impulso son formadas como se discute en el contexto de la Figura 7 en donde un barrido de seno logarítmico es usado ya que la señal de prueba es óptima en mediciones acústicas prácticas con respecto a la buena proporción de señal a ruido, también para bajas frecuencias, no demasiada energía en las altas frecuencias (ninguna señal dañina de agudos), un factor de cresta bueno y un comportamiento no crítico con respecto a no linealidades pequeñas.

**[0028]** Como alternativa, secuencias de longitud máxima (MLS) podrían también ser usadas, pero el barrido de seno logarítmico es preferiblemente debido al factor de cresta y el comportamiento contra no linealidades. Adicionalmente, una gran cantidad de energía en las altas frecuencias podría dañar los altavoces, lo que es también una ventaja para el barrido de seno logarítmico, puesto que esta señal tiene menos energía en las altas frecuencias.

**[0029]** Las Figuras 4a a 4e serán discutidas subsecuentemente para mostrar una implementación preferida de la estimación de dirección de llegada, aunque otros algoritmos de dirección de llegada además de DirAC pueden ser

usados también. La Figura 4a ilustra esquemáticamente el arreglo de micrófono 12 que tiene 7 micrófonos, un bloque de procesamiento 40 y un DirAC 42. Específicamente, el bloque 40 efectúa análisis de Fourier de tiempo corto para cada señal de micrófono y subsecuentemente, efectúa la conversión de estas preferiblemente 7 señales de micrófono al formato B que tiene una señal omnidireccional  $W$  y que tiene tres señales de velocidad de partículas individuales  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  para las tres direcciones espaciales  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  que son ortogonales entre sí.

**[0030]** La codificación de audio direccional es una técnica eficiente para capturar y reproducir sonido espacial en base a una señal de mezcla descendente e información lateral, esto es, dirección de llegada (DOA) y difusividad del campo de sonido. DirAC opera en el dominio de transformada de Fourier de tiempo corto discreta (STFT), que provee una representación espectral variante en el tiempo de las señales. La Figura 4a ilustra las etapas principales para obtener la DOA con análisis de DirAC. En general, DirAC requiere señales de formato B como entrada, que consisten de presión de sonido y vector de velocidad de partículas medido en un punto en el espacio. Es posible a partir de esta información calcular el vector de intensidad activo. Este vector describe la dirección en magnitud del flujo neto de energía que caracteriza el campo de sonido en la posición de medición. La DOA de un sonido es derivada del vector de intensidad al tomar el puesto a su dirección y es expresado, por ejemplo mediante azimuth y elevación en un sistema de coordenadas esférico estándar. Naturalmente, otros sistemas de coordenadas pueden ser aplicados también. La señal de formato B requerida es obtenida utilizando un arreglo de micrófono tridimensional que consiste de 7 micrófonos ilustrados en la Figura 3. La señal de presión para el procesamiento de DirAC es capturada por el micrófono central R7 en la Figura 3, mientras que los componentes del vector de velocidad de partículas son estimados de la diferencia de presión entre sensores opuestos a lo largo de los tres ejes cartesianos. Específicamente, la Figura 4b ilustra las ecuaciones para calcular el vector de velocidad de sonido  $U(k,n)$  que tiene los tres componentes  $U_x$ ,  $U_y$  y  $U_z$ .

**[0031]** Ejemplarmente, la variable  $P_1$  significa la señal de presión de micrófono R1 de la Figura 3 y por ejemplo,  $P_3$  significa la señal de presión del micrófono R3 de la Figura 3. Análogamente, los otros índices de la Figura 4d corresponden a los números correspondientes en la Figura 3.  $K$  denota un índice de frecuencia y  $n$  denota un índice de bloque de tiempo. Todas las cantidades son medidas en el mismo punto en el espacio. El vector de velocidad de partículas es medido a lo largo de dos o más dimensiones. Para la presión de sonido  $P(k,n)$  de la señal de formato B, la salida del micrófono R7 es usada. Como alternativa, sin ningún micrófono está disponible  $P(k,n)$  puede ser estimado al combinar las salidas de los sensores disponibles como se ilustra en la Figura 4c. se notara que las mismas ecuaciones también se mantienen para el caso bidimensional y el caso unidimensional. En estos casos, los componentes de velocidad de la Figura 4b son solamente calculados para las dimensiones consideradas. Se notar además que la señal de formato B puede ser calculada en el dominio de tiempo exactamente de la misma manera. En este caso, todas las señales de dominio de frecuencia son sustituidas por las señales de dominio de tiempo correspondientes. Otra posibilidad para determinar una señal de formato B con arreglos de micrófono es usar sensores direccionales para obtener los componentes de velocidad de partícula. En efecto, cada componente de velocidad de partícula puede ser medido directamente vía un micrófono bidireccional (un llamado micrófono de figura de ocho). En este caso, cada par de sensores opuestos en la Figura 3 es reemplazado por un sensor bidireccional que apunta a lo largo del eje considerado. Las salidas de los sensores de bidireccionales corresponden directamente a los componentes de velocidad deseados.

**[0032]** La Figura 4d ilustra una secuencia de etapas para efectuar la DOA en la forma de azimuth por una parte y elevación por otra parte. En una primera etapa, una medición de respuesta de impulso para calcular respuestas de impulso para cada uno de los micrófonos es efectuada en el paso 43. Luego se efectúa una representación de ventana en el máximo de cada respuesta de impulso, como se ilustra ejemplarmente en la Figura 8 en donde el máximo es indicado en 80. Las muestras representadas en ventana son luego transformadas a un dominio de frecuencia en el bloque 45 en la Figura 4d. En el dominio de frecuencia el algoritmo de DirAC es efectuado para calcular la DOA en cada bandeja de frecuencia de, por ejemplo 20 bandejas de frecuencia o aún más bandejas de frecuencia. Preferiblemente, solo una longitud de ventana corta de por ejemplo solo 512 muestras es efectuada, como se ilustra en una FFT 512 en la Figura 8, de tal manera que solo el sonido directo en el máximo 80 hasta las primeras reflexiones pero preferiblemente excluyendo las reflexiones primeras es usado. Este procedimiento provee un buen resultado de DOA, puesto que solamente el sonido de una posición individual sin ninguna reverberación es usado.

**[0033]** Como se indica en el 46, la llamada densidad de potencia espacial (SPD) es luego calculada, que expresa, para cada DOA determinado, la energía de sonido medida.

**[0034]** La Figura 4e ilustra una SPD medida para una posición de altavoz con elevación y azimuth igual a 0. La SPD muestra que la mayor parte de la energía medida está concentrada alrededor de ángulos, que corresponden a la posición de altavoz. En escenarios ideales, esto es, en donde ningún ruido de micrófono está presente, sería suficiente determinar el máximo de la SPD con el fin de obtener la posición del altavoz. Sin embargo, en una aplicación práctica, el máximo de la SPD no corresponde necesariamente a la posición de altavoz correcta debido a inexactitudes de medición. Por consiguiente, es simulado para cada DOA, que una SPD teórica que se supone cero significa ruido de micrófono Gaussiano blanco. Al comparar las SPD teóricas con las SPD medidas (ilustrado ejemplar en la Figura 4e), la SPD teórica de mejor ajuste es determinada cuyo DOA correspondiente representa luego la posición e altavoz más probable.

**[0035]** Preferiblemente, en un medio ambiente no reverberante, la SPD es calculada por la potencia o intensidad de señal de mezcla descendente para las bandejas de tiempo/frecuencia que tienen una cierta azimuth/elevación. Cuando este procedimiento es efectuado en el medio ambiente de reverberación o cuando se usan reflexiones prematuras también, la densidad de potencia espacial a largo plazo es calculada de la potencia de señal de audio de mezcla descendente para la bandeja de tiempo/frecuencia, para la cual una difusividad obtenida mediante el algoritmo de DirAC está por debajo de un umbral específico. Este procedimiento es descrito en detalle en documento 7853, de la Convención de AES, Octubre 9, 2009 "Localización de fuentes de sonido en medios ambientes reverberantes en base a parámetros de codificación de audios direccionales", O. Thiergart, et al.

**[0036]** La Figura 3 ilustra un arreglo de micrófonos que tiene 3 pares de micrófonos. El primer par son los micrófonos R1 y R3 es un primer eje horizontal. El segundo par de micrófonos consiste de los micrófonos R2 y R4 en un segundo eje horizontal. El tercer par de micrófonos, consiste de los micrófonos R5 y R6 que representan el eje vertical, que es ortogonal a los dos ejes horizontales ortogonales.

**[0037]** Adicionalmente, el arreglo de micrófonos consiste de un soporte mecánico para soportar cada par de micrófonos en un eje espacial correspondiente a los tres ejes espaciales ortogonales. Además, el arreglo de micrófonos comprende un láser 30 para el registro del arreglo de micrófonos en el espacio de escucha, el láser es conectado fijamente al soporte mecánico, de tal manera que un rayo láser es paralelo o coincidente con uno de los ejes horizontales.

**[0038]** El arreglo de micrófonos comprende adicionalmente de preferencia un séptimo micrófono R7 colocado en una posición en la cual los tres ejes se intersectan entre sí. Como se ilustra en la Figura 3, el soporte mecánico comprende el primer eje mecánico 31 y el segundo eje horizontal 32 y un tercer eje vertical 33. El tercer eje horizontal 33 es colocado en el centro con respecto a un eje vertical "virtual" formado por una conexión entre el micrófono R5 y el micrófono R6. El tercer eje mecánico 33 se fija a un vástago horizontal superior 34a y un vástago inferior 34b en donde los vástagos son paralelos a los ejes horizontales 31 y 32. Preferiblemente, el tercer eje 33 se fija a uno de los ejes horizontales y particularmente, se fija al eje horizontal 32 en el punto de conexión 35. El punto de conexión 35 es colocado entre la recepción para el séptimo micrófono R7 y un micrófono vecino, tal como el micrófono R2 para un par de los tres pares de micrófonos. Preferiblemente, la distancia entre los micrófonos de cada par de micrófonos es de entre 4 cm y 10 cm o aún más preferiblemente entre 5 cm y 8 cm y más preferiblemente a 6.6 cm. Esta distancia puede ser igual para cada uno de los tres pares, pero esta no es una condición necesaria. Micrófonos más bien pequeños R1 a R7 son usados y el montaje delgado es necesario para asegurar transferencia acústica. Para proveer reproducibilidad de estos resultados, la colocación precisa de los micrófonos individuales y de todos los arreglos es requerida. El último requerimiento es satisfecho al emplear el apuntador del láser cruzado fijo 30, mientras que el primer requerimiento es obtenido con un montaje estable. Para obtener mediciones de respuesta de impulso de sala exacta, micrófonos caracterizados por una respuesta de magnitud plana son preferidos. Además, las respuestas de magnitud de diferentes micrófonos se deben hacer coincidir y no deben cambiar significativamente en el tiempo para proveer reproducibilidad de los resultados. Los micrófonos desplegados en el arreglo son micrófonos omnidireccionales de alta calidad DPA 4060. Tal micrófono tiene un nivel A de ruido equivalente-ponderado de comúnmente 26 dBA re.20  $\mu$ Pa y un intervalo dinámico de 97 dB. El intervalo de frecuencia entre 20 Hz y 20 kHz es de entre 2 dB y la curva nominal. El montaje es realizado de latón, lo que asegura la rigidez metálica necesaria y al mismo tiempo, la ausencia de dispersión. El uso de micrófonos de presión omnidireccionales en el arreglo de la Figura 3 en comparación con micrófonos de la Figura 8 bidireccionales es preferible en que los micrófonos omnidireccionales individuales son considerablemente más baratos en comparación con los micrófonos bidireccionales caros.

**[0039]** El sistema de medición es indicado particularmente para detectar cambios en el sistema con respecto a una condición de referencia. Por consiguiente, una medición de referencia es llevada a cabo primero como se ilustra en la Figura 6a. El procedimiento de la Figura 6a y de la Figura 6b es efectuado por el controlador 14 ilustrado en la Figura 1. La Figura 6a ilustra una medición para cada altavoz 60 en donde el barrido de seno es reproducido y las 7 señales de micrófono son registradas en 61. Una pausa 62 es luego llevada a cabo y subsecuentemente, las mediciones son analizadas 63 y guardadas 64. Las mediciones de referencia son efectuadas subsecuentemente a una verificación manual en que, para las mediciones de referencia, todos los altavoces son ajustados correctamente y en la posición correcta. Estas mediciones de referencia deben ser efectuadas solo una vez y pueden ser usadas una y otra vez.

**[0040]** Las mediciones de prueba deben preferiblemente ser efectuadas antes de cada prueba de escucha. La secuencia completa de mediciones de prueba es presentada en la Figura 6b. En la etapa 65, se leen las configuraciones de control. Enseguida, en la etapa 66, cada altavoz es medido al reproducir el barrido seno y al grabar las señales del micrófono y la pausa subsecuente. Después de esto, en la etapa 67, un análisis de medición es efectuado y en la etapa 68, los resultados son comparados con una medición de referencia. Enseguida, en la etapa 69, se determina si los resultados medidos están dentro del intervalo de tolerancia o no. En la etapa 73, una presentación visual de los resultados puede ser efectuada y en la etapa 74, los resultados pueden ser guardados.

**[0041]** La Figura 6c ilustra un ejemplo para la presentación visual de los resultados de acuerdo con la etapa 73 de

la Figura 6b. La verificación de tolerancia es realizada al ajustar un límite superior y límite inferior alrededor de la medición de referencia. Los límites son definidos como parámetros al comienzo de la medición. La Figura 6c visualiza la salida de la medición con respecto a la respuesta de magnitud. La curva 3 es el límite superior de la medición de referencia y la curva 5 es el límite inferior. La curva 4 es la medición actual. En este ejemplo, se muestra una discrepancia en la frecuencia de intervalo medio que es visualizada en la interface del usuario grafica (GUI) por marcadores rojos en 75. Esta violación del límite inferior es también mostrada en el campo 2. De manera similar, los resultados para azimuth, elevación, distancia y polaridad son presentadas en la interface gráfica del usuario.

**[0042]** La Figura 9 será descrita subsecuentemente con el fin de ilustrar las tres características de altavoz principales preferidas, que son calculadas para cada altavoz en la medición de una pluralidad de altavoces. La primera característica de altavoz es la distancia. La distancia es calculada utilizando la señal de micrófono generada por el micrófono R7. Para este fin, el controlador 14 de la Figura 1 controla la medición de la señal de referencia X y la seña de micrófono Y del micrófono central R7. Enseguida, la función de transferencia de la señal de micrófono R7 es calculada, como se resume en la etapa 71. En este cálculo, se efectúa una búsqueda por el máximo, tal como 80 en la Figura 8 de la respuesta de impulso calculada 71. Después de esto, este tiempo al cual el máximo 80 se presenta es multiplicado por la velocidad del sonido  $v$  con el fin de obtener la distancia entre el altavoz correspondiente y el arreglo de micrófonos.

**[0043]** Para este fin, solo una porción corta de la respuesta de impulso obtenida de la señal de micrófono R7 es requerida, que es indicada como una "primera longitud" en la Figura 9. Esta primera longitud solamente se extiende de 0 al tiempo del máximo 80 e incluyendo este máximo, pero no incluyendo cualesquier reflejos prematuros o reverberaciones difusas. Como alternativa, cualquier otra sincronización puede ser efectuada entre la señal de prueba y la respuesta de micrófono, pero usando una primera porción pequeña de respuesta de impulso calculada de la señal de micrófono del micrófono R7 es preferida debido a eficiencia y exactitud.

**[0044]** A continuación, para las mediciones de DOA, las respuestas de impulso para todos los 7 micrófonos son calculadas, pero solamente una segunda longitud de la respuesta de impulso, que es más larga que la primera longitud, es usada y esta segunda longitud se extiende preferiblemente solo hasta los reflejos prematuros y preferiblemente no incluyen los reflejos prematuros. Como alternativa, los reflejos prematuros son incluidos en la segunda longitud en un estado atenuado determinado por una porción lateral de una función de ventana, por ejemplo como se ilustra en la Figura 8 por la forma de ventana 81. La porción lateral tiene coeficiente de ventana menores de 0.5 o aun menores de 0.3 en comparación con coeficientes de ventana en la posición media de la ventana, que se aproxima a 1.0. Las respuestas de impulso para los micrófonos individuales R1 a R7 son calculadas preferiblemente, como se indica por las etapas 70, 71.

**[0045]** Preferiblemente, una ventana es aplicada a cada respuesta de impulso o una señal de micrófono diferente de la respuesta de impulso, en donde un centro de la ventana o un punto de la ventana dentro del 50% de la longitud de ventana centrada alrededor del centro de la ventana es colocado en el máximo en cada respuesta de impulso o aun tiempo en la señal de micrófono correspondiente al máximo para obtener un cuadro representado en ventana para cada señal de sonido.

**[0046]** La tercera característica para cada altavoz es calculada utilizando la señal de micrófono del micrófono R5, puesto que este micrófono no está influenciado demasiado por el soporte mecánico del micrófono ilustrado en la Figura 3. La tercera longitud de la respuesta de impulso es más larga que la segunda longitud y preferiblemente, incluye no solamente los reflejos prematuros, sino también los reflejos difusos y se puede extender en una cantidad de tiempo considerable, tal como 0.2 milisegundos con el fin de tener todos los reflejos en el espacio de audición. Naturalmente, cuando la sala es una sala completamente no reverberante, entonces la respuesta de impulso del micrófono 5 será cercana a cero bastante más temprano. En cualquier caso, sin embargo, es preferido usar una longitud corta de la respuesta de impulso para una medición de distancia, usar la segunda longitud media para las dimensiones de DOA y usar una longitud larga para medir la función de respuesta de impulso/transferencia del altavoz, como se ilustra en el fondo de la Figura 9.

**[0047]** Aunque algunos aspectos han sido descritos en el contexto de un aparato, es claro que estos aspectos también presentan una descripción del procedimiento correspondiente en donde un bloque o dispositivo corresponde a una etapa de procedimiento o un elemento de una etapa del procedimiento. Análogamente, los aspectos descritos en el contexto de una etapa de procedimiento también representan una descripción de un bloque o ítem correspondiente o elemento de un aparato correspondiente.

**[0048]** Dependiendo de ciertos requerimientos de implementación, algunas de las entidades descritas pueden ser implementadas en elementos físicos o en elementos de programación. Las implementación puede ser efectuada utilizando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo un disco flexible, un DVD, un CD, un ROM, un PROM, un EPROM y un EEPROM o una memoria instantánea que tiene señales de control que se pueden leer electrónicamente almacenadas en el mismo que cooperan (o son aptas de cooperar) con un sistema de computadora programable de tal manera que el procedimiento respectivo es efectuado.

**[0049]** Algunas entidades descritas comprenden un portador de datos que tiene señales de control que se pueden



leer electrónicamente que son aptas de cooperar con un sistema de computadora programable, de tal manera que uno de los procedimientos descritos en la presente es efectuado.

5 **[0050]** En general, algunas de las entidades descritas pueden ser implementadas como un producto de programa de computadora con un código de programa, el código de programa es operativo para efectuar uno de los procedimientos cuando el producto del programa de computadora se ejecuta en una computadora. Los códigos de programa pueden por ejemplo ser almacenados en un portador que se puede leer por la maquina.

10 **[0051]** Otras entidades comprenden el programa de computadora para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente, almacenado en un portador que se puede leer por la maquina.

15 **[0052]** En otras palabras, una entidad es por consiguiente un programa de computadora que tiene un código de programa para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente, cuando el programa de computadora se ejecuta en una computadora.

**[0053]** Una entidad adicional es por consiguiente un portador de datos (o un medio de almacenamiento digital o un medio que se puede leer por computadora) que comprende grabados por el mismo, el programa de computadora para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente.

20 **[0054]** Una entidad adicional es por consiguiente una corriente de datos o una secuencia de señales que representan el programa de computadora para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente. La corriente de datos o la secuencia de señales pueden por ejemplo estar configurados para ser transferidos vía una conexión de comunicación de datos, por ejemplo vía internet.

25 **[0055]** Una entidad adicional comprende un medio de procesamiento, por ejemplo una computadora o un dispositivo lógico programable configurado para o apto para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente.

30 **[0056]** Una entidad adicional comprende una computadora que tiene instalado en la misma el programa de computadora para efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente.

35 **[0057]** En algunas entidades, un dispositivo lógico programable (por ejemplo, un arreglo de compuerta programable en el campo) puede ser usado para efectuar algunas o todas las funcionalidades de los procedimientos descritos en la presente. En algunas modalidades, un arreglo de compuesto programable del campo puede cooperar con un microprocesador con el fin de efectuar uno de los procedimientos descritos en la presente. En general los procedimientos son efectuados preferiblemente por cualquier aparato de elementos físicos.

40 **[0058]** Las modalidades descritas anteriormente son solamente ilustrativas para los principios de la presente invención. Se comprenderá que modificaciones y variaciones de los arreglos y los detalles descritos en la presente serán evidentes para otros experimentados en el arte. Se pretende por consiguiente estar limitado solamente por alcance de las reivindicaciones de patente pendientes y no por los detalles específicos presentados a manera de descripción y explicación de las modalidades de la presente.

## REFERENCIAS

45 **[0059]**

ITU-R Recommendation-BS. 1116-1, "Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems", 1997, Intern. Telecom Union: Geneva, Switzerland, p. 26.

50 A. Silzle et al., "Vision and Technique behind the New Studios and Listening Rooms of the Fraunhofer IIS Audio Laboratory", presented at the AES 126th convention, Munich, Germany, 2009.

S. Müller, and P. Massarani, "Transfer-Function Measurement with Sweeps", J. Audio Eng. Soc., vol.49 (2001 June).

55 Messtechnik der Akustik, ed. M. Mser. 2010, Berlin, Heidelberg: Springer.

V. Pulkki, "Spatial sound reproduction with directional audio coding", Journal of the AES, vol. 55, no. 6, pp. 503-516, 2007.

60 O. Thiergart, R. Schultz-Amling, G. Del Galdo, D. Mahne, and F. Kuech, "Localization of Sound Sources in Reverberant Environments Based on Directional Audio Coding Parameters", presented at the AES 127th convention, New York, NY, USA, 2009 October 9-12.

65 J. Merimaa, T. Lokki, T. Peltonen and M. Karjalainen, "Measurement, Analysis, and Visualization of Directional Room Responses," presented at the AES 134th EP 2 553 942 B19510152025303540455055111th convention, New York, NY, USA, 2001 September 21-24

- 5 G. Del Galdo, O. Thiergart, and F. Keuch, "Nested microphone array processing for parameter estimation in directional audio coding", in Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA), New Paltz, NY, October 2009, accepted for publication.
- F.J. Fahy, Sound Intensity, Essex: Elsevier Science Publishers Ltd., 1989.
- 10 A. Silzle and M. Leistner, "Room Acoustic Properties of the New Listening-Test Room of the Fraunhofer IIS," presented at the AES 126 convention, Munich, Germany, 2009.
- ST350 Portable Microphone System, User Manual. "<http://www.soundfield.com/>".
- 15 J. Ahonen, V. Pulkki, T. Lokki, "Teleconference Application and B-Format Microphone Array for Directional Audio Coding", presented at the AES 30th International Conference: Intelligent Audio Environments, March 2007.
- M. Kallinger, F. Kuech, R. Schultz-Amling, G. Del Galdo, J. Ahonen and V. Pulkki, "Analysis and adjustment of planar microphone arrays for application in Directional Audio Coding", presented at the AES 124th convention, Amsterdam, The Netherlands, 2008 May 17-20.
- 20 H. Balzert, Lehrbuch der Software-Technik (Software-Entwicklung), 1996, Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- "[http://en.wikipedia.org/wiki/Nassi%E2%80%93Shneiderman\\_...\\_diagram](http://en.wikipedia.org/wiki/Nassi%E2%80%93Shneiderman_..._diagram)", accessed on March, 31st 2010.
- 25 R. Schultz-Amling, F. Kuech, M. Kallinger, G. Del Galdo, J. Ahonen, and V. Pulkki, "Planar Microphone Array Processing for the Analysis and Reproduction of Spatial Audio using Directional Audio Coding", presented at the 124th AES Convention, Amsterdam, The Netherlands, May 2008.

**REIVINDICACIONES**

- 5       **1.** Red de micrófonos que comprende: tres pares de micrófonos (R1, R2, R3, R4, R5, R6); y un soporte mecánico destinado a soportar cada par de micrófonos sobre un eje espacial entre tres ejes espaciales ortogonales, presentando los tres ejes espaciales dos ejes espaciales horizontales y un eje espacial vertical, **caracterizado** por un séptimo micrófono (R7) colocado en la posición en la cual los tres ejes espaciales se intersecan entre sí, en el cual el soporte mecánico comprende un primer eje mecánico horizontal (31), un segundo eje mecánico horizontal (32), y un tercer eje mecánico vertical (33) colocado de manera excéntrica con respecto al eje espacial vertical que se interseca con un punto de cruce del primer eje mecánico horizontal (31) y del segundo eje mecánico horizontal (32), en el cual un vástago horizontal superior (34a) y un vástago horizontal inferior (34b) están fijados al tercer eje mecánico vertical (33), siendo el vástago horizontal superior (34a) y el vástago horizontal inferior (34b) paralelos al primer eje mecánico horizontal (31) o al segundo eje mecánico horizontal (32), y en el cual el tercer eje mecánico vertical (33) está fijado a uno de entre el primer eje mecánico horizontal (31) o el segundo eje mecánico horizontal (32) en un lugar de conexión (35) situado entre un emplazamiento para el séptimo micrófono (R7) y un micrófono vecino (R2) colocado en dicho primer eje mecánico horizontal (31) o segundo eje horizontal mecánica (32).
- 10
- 15       **2.** Red de micrófonos según la reivindicación 1, que comprende por otro lado un láser (30) destinado a alinear la red de micrófonos en una sala de audición, estando el láser conectado de manera fija al soporte mecánico de manera que un rayo láser sea paralelo a o esté confundido con uno de los ejes horizontales (31, 32).
- 20       **3.** Red de micrófonos según la reivindicación 1 ó 2, en la cual una distancia entre los micrófonos de cada par de micrófonos está comprendida entre 5 cm y 8 cm.
- 25       **4.** Red de micrófonos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la cual todos los micrófonos son unos micrófonos e presión fijados al soporte mecánico de manera que los micrófonos estén orientados en la misma dirección

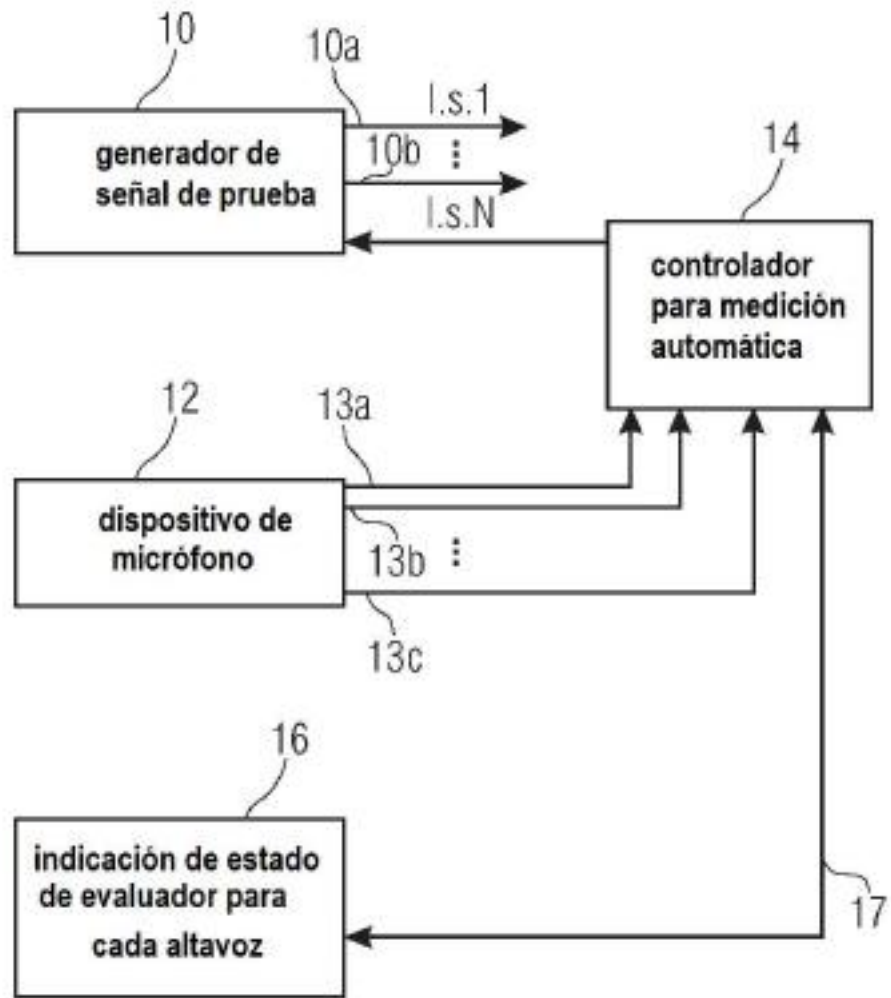


FIG 1

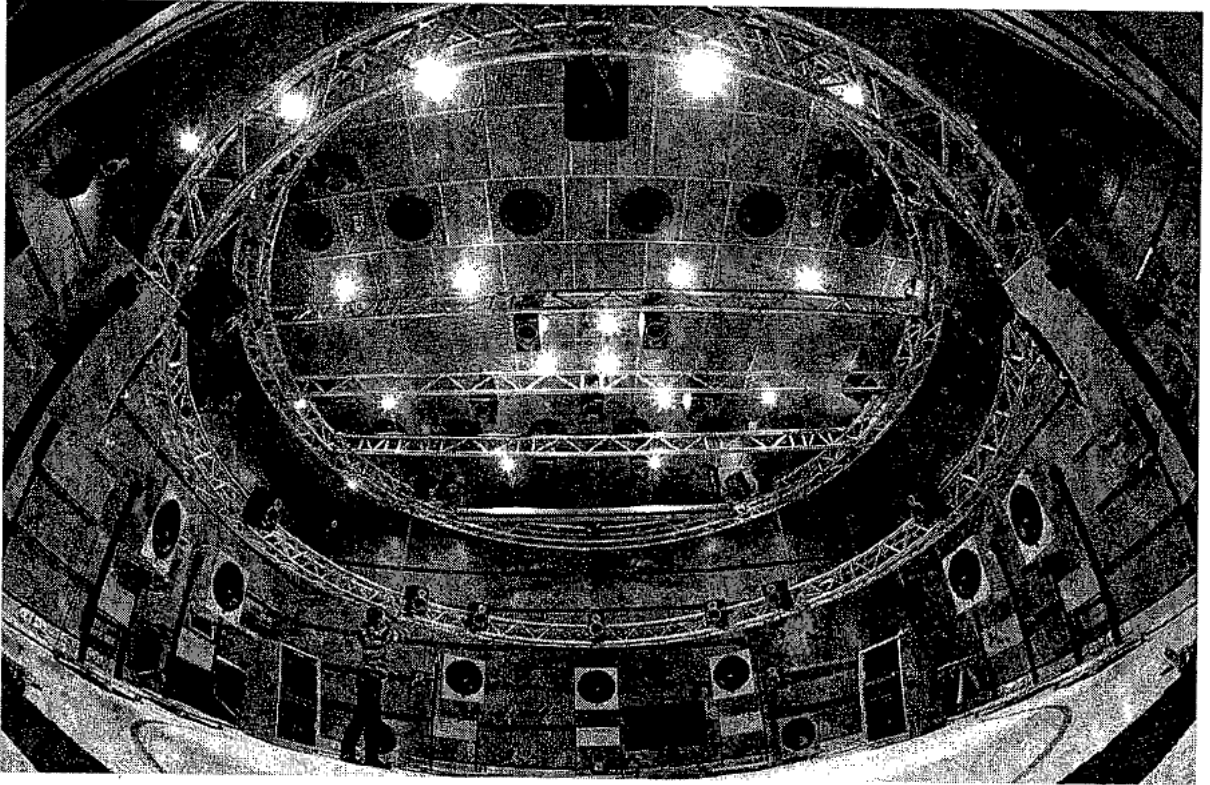


FIG 2

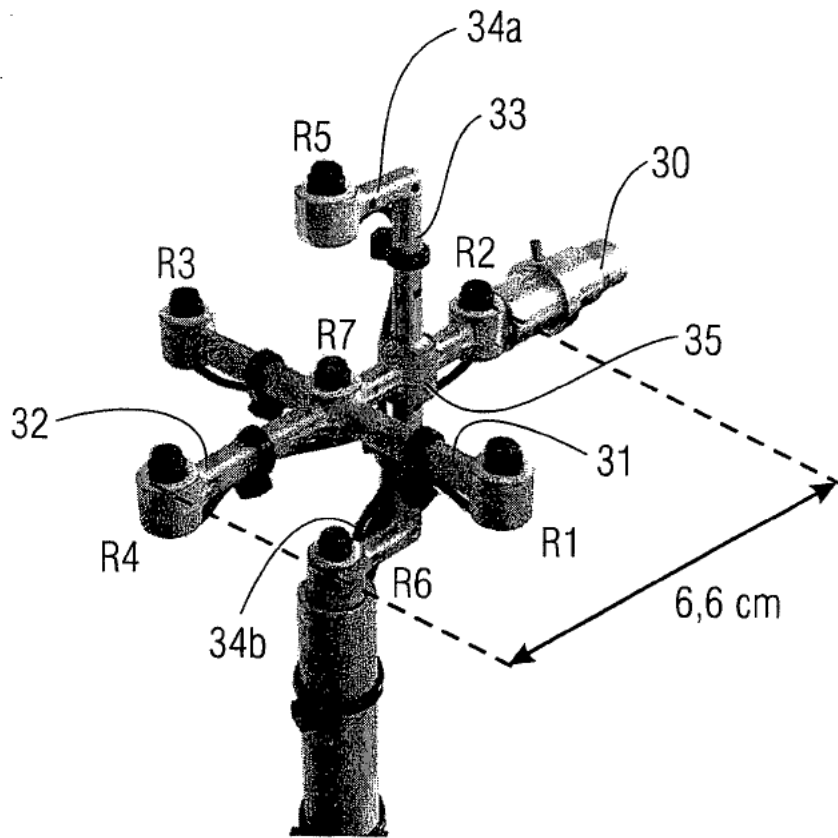


FIG 3

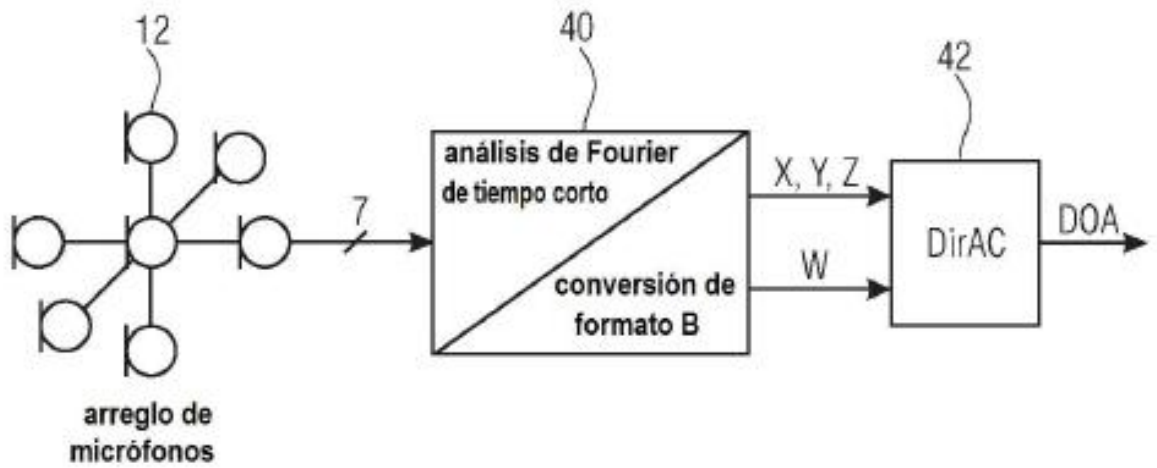


FIG 4A

$$U_x(k, n) = B(k, d)(P_1(k, n) - P_3(k, n)),$$

$$U_y(k, n) = B(k, d)(P_2(k, n) - P_4(k, n)),$$

$$U_z(k, n) = B(k, d)(P_5(k, n) - P_6(k, n)),$$

FIG 4B

$$P(k, n) = \sum_i P_i(k, n).$$

FIG 4C

algoritmo de localización 3D

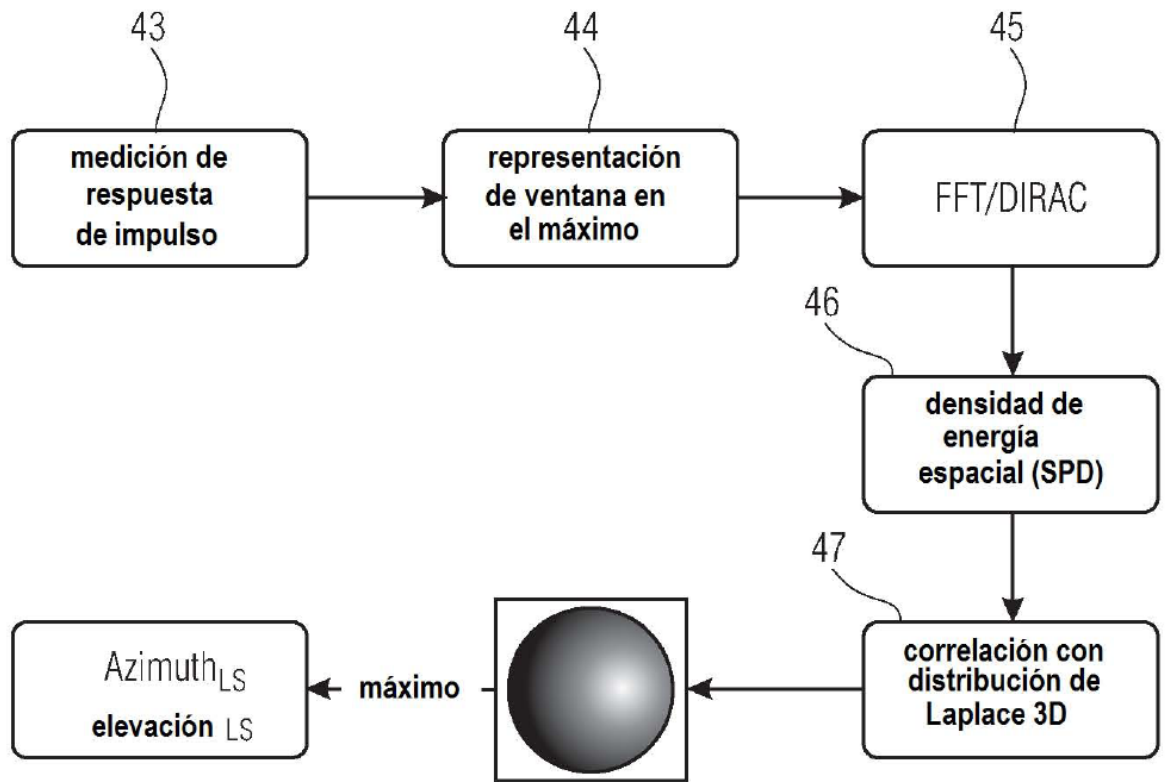
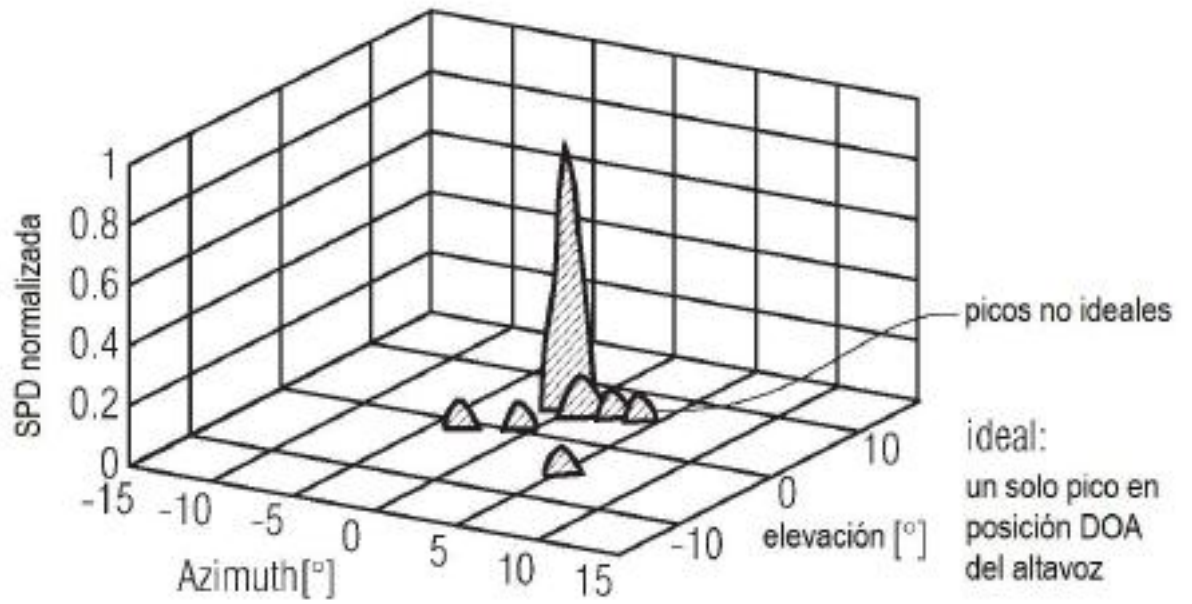


FIG 4D





densidad de energía espacial observada ( $\Gamma$ ) de  
un altavoz colocado en  $[\varphi, \theta] = [0^\circ, 0^\circ]$

FIG 4E

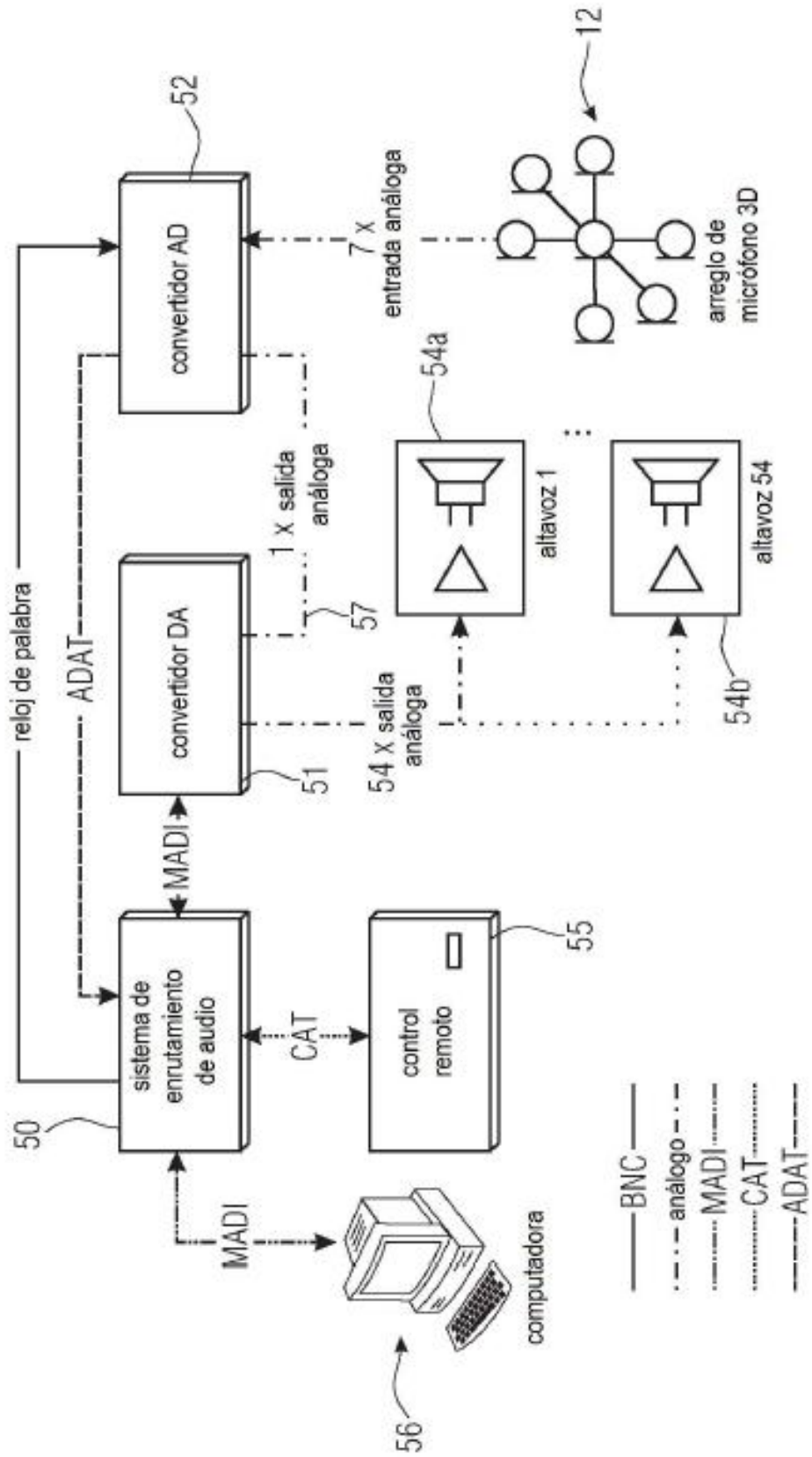


FIG 5

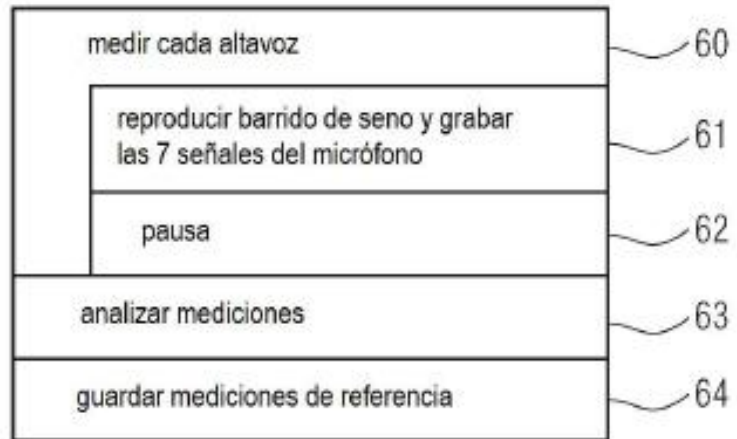


FIG 6A

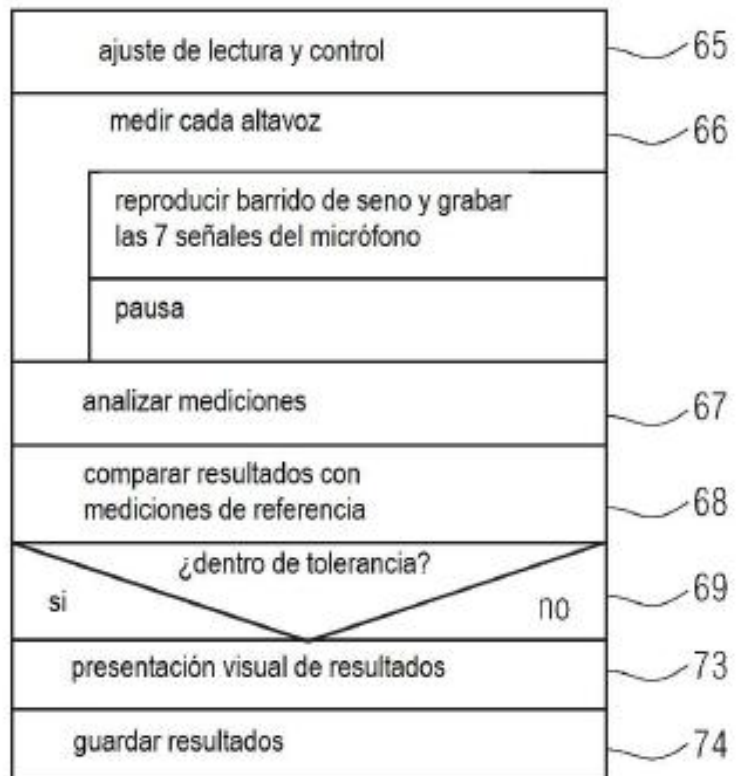


FIG 6B

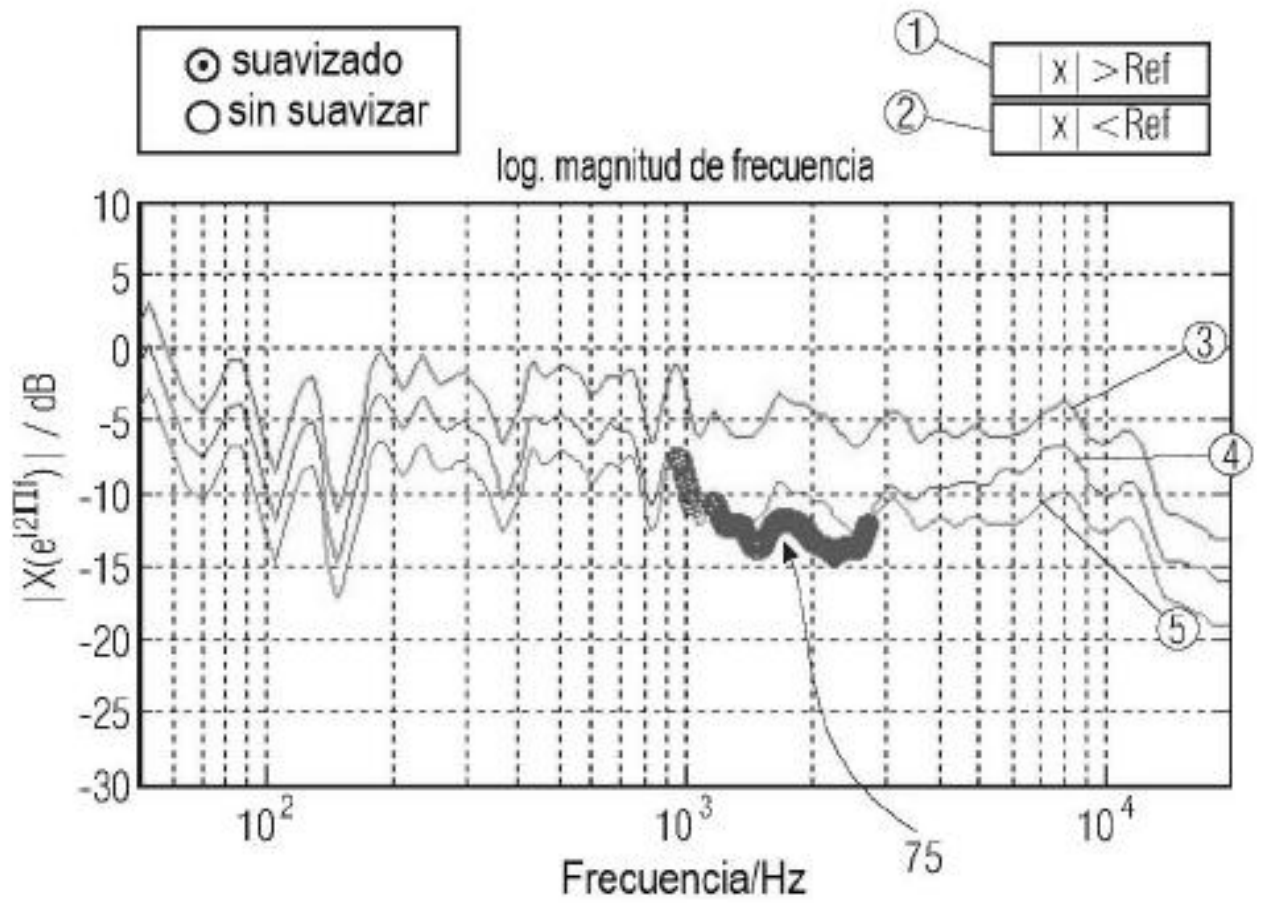
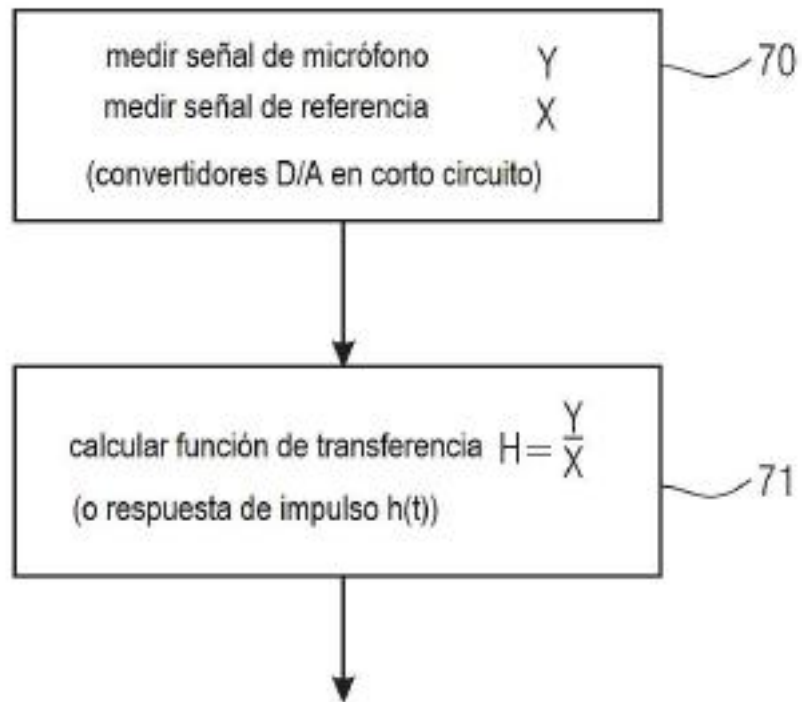


FIG 6C



- características de altavoz:
- $h(t) = \text{IFFT}(H(f))$
  - $|H(f)| = 20 \log |H(f)| \text{ dB}$
  - $\Phi(f) = \arctan \frac{\text{Im}(H(f))}{\text{Re}(H(f))}$
  - $\tau = -\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial f}$
  - ETC' =  $20 \log (h^2(t)) \text{ dB}$
  - $d = v \cdot t$
  - DOA usando algoritmo DirAC

FIG 7

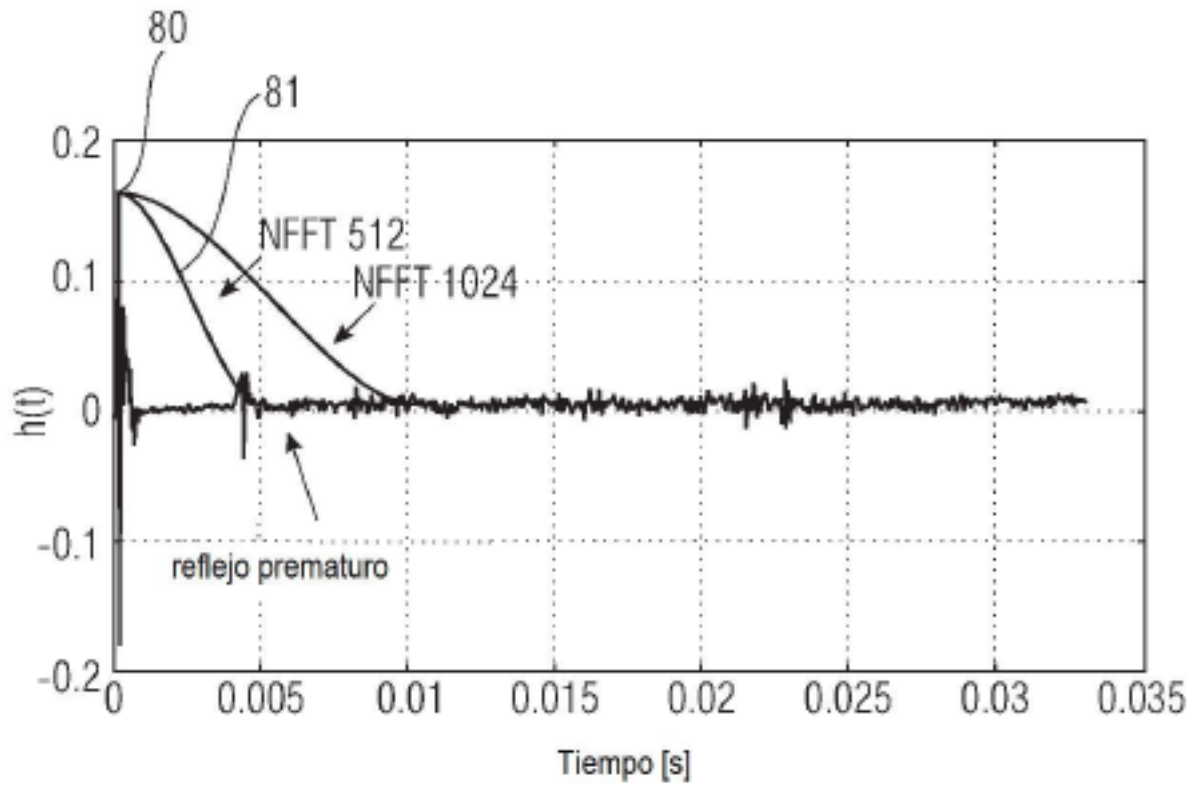


FIG 8

distancia: primera longitud de respuesta de impulso hasta (incluyendo) máximo

DOA: segunda longitud de respuesta de impulso hasta (no incluyendo) reflejos prematuros

respuesta de impulso de altavoz/  
función de transferencia: tercera longitud de respuesta de impulso incluyendo reflejos prematuros y reflejos difusos

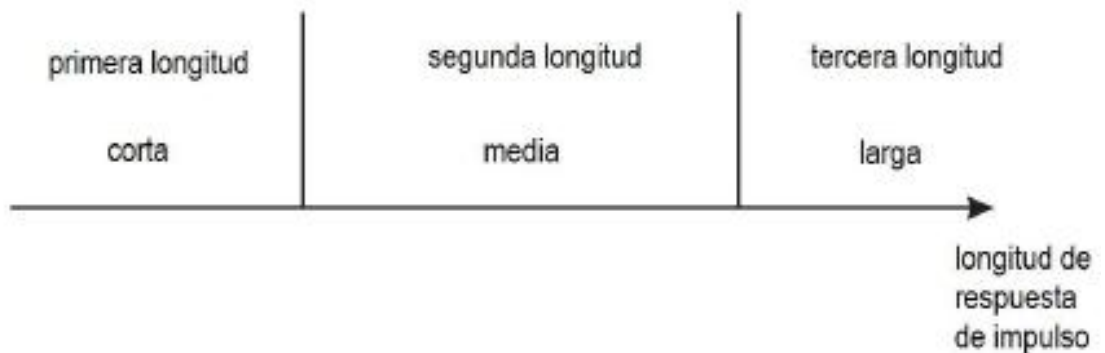


FIG 9