

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 724**

51 Int. Cl.:

**H03G 9/20** (2006.01)

**H04R 25/02** (2006.01)

**G01L 21/02** (2006.01)

**H04R 25/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2013 PCT/US2013/055004**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.02.2014 WO14028658**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2013 E 13829129 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 2885872**

54 Título: **Audífono con ganancia dependiente del nivel y de la frecuencia**

30 Prioridad:

**15.08.2012 US 201261683668 P**

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

**28.10.2019**

73 Titular/es:

**MEYER SOUND LABORATORIES,  
INCORPORATED (100.0%)  
2832 San Pablo Avenue  
Berkeley, CA 94702, US**

72 Inventor/es:

**MEYER, JOHN, D. y  
SZUTS, TOBAN, A.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 728 724 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

Audífono con ganancia dependiente del nivel y de la frecuencia

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere en general a audífonos y, más particularmente, se refiere a dispositivos de tipo de oído abierto que permiten que el sonido incidente llegue directamente al tímpano.

**Antecedentes de la técnica**

10 Los audífonos suelen consistir en un micrófono, un procesador de señales y un transductor de salida (a veces llamado "receptor"). El transductor de salida se coloca en el canal auditivo y puede formar parte de una carcasa que deja el canal auditivo parcialmente abierto (es decir, acústicamente transparente) o sella completamente el canal. En general, los usuarios prefieren los dispositivos de oído abierto en lugar de los de oído cerrado, y se recomiendan siempre que sea posible para personas con pérdida auditiva leve o moderada. (Los audífonos abiertos tienen limitaciones inherentes en la cantidad de ganancia que pueden proporcionar, y por lo tanto no son adecuados para personas cuya pérdida de audición es grave).

15 Una de las ventajas de los dispositivos de oído abierto es la comodidad: la punta suave de los diseños de oído abierto es menos irritante y más fácil de adaptar que las inserciones de oído cerrado de cubierta dura. Hay también menos riesgo de infección o impacto por cerumen (cera del oído). No se requiere un molde de oído personalizado, lo que disminuye sustancialmente el tiempo de ajuste y permite que dichos audífonos se puedan utilizar de forma inmediata solo con pequeñas modificaciones. También se evita el efecto de oclusión, en donde el canal auditivo cerrado forma una cámara resonante que aumenta los sonidos de baja frecuencia generados por el usuario (como el habla o la masticación), lo que hace que la voz del usuario no suene natural ni estética. El efecto de oclusión es uno de los principales motivos citados cuando los usuarios rechazan los audífonos de estilo cerrado.

20 Los diseños de oído abierto permiten también un mejor procesamiento en entornos acústicos complejos, ya que permiten que el sonido incidente se escuche en las frecuencias en donde el audífono no proporciona amplificación. Por ejemplo, un audífono ajustado a una pérdida auditiva de alta frecuencia (por encima de 1 kHz) no necesita amplificar las bajas frecuencias. Merece la pena conservar el sonido incidente siempre que sea posible, ya que contiene las señales perceptivas necesarias para localizar las fuentes de sonido y rechazar el ruido de fondo. Tales señales perceptivas incluyen diferencias de tiempo interaurales, diferencias de volumen interaurales y efectos de fase.

25 A pesar de sus ventajas, los audífonos de oído abierto tienen importantes inconvenientes. Un inconveniente proviene de los artefactos y la distorsión que pueden producirse en el tímpano mediante la combinación de sonido incidente y amplificado en las frecuencias amplificadas por el audífono. Estos artefactos y distorsión a menudo son notados por los usuarios y resultan en insatisfacción que lleva a muchos a dejar de usar sus audífonos después de un corto período de tiempo.

30 Un artefacto resulta de la latencia del audífono, es decir, el tiempo de retraso entre cuando se percibe un sonido en el micrófono y cuando se convierte en una onda de sonido acústica en el transductor de salida del audífono. Para los audífonos digitales modernos, la latencia es de 3-7 milisegundos; los audífonos analógicos más antiguos tienen una latencia de aproximadamente 1-2 milisegundos. Cuando los sonidos incidentes y amplificados son similares en nivel, la latencia no nula provoca el filtrado de peine, una forma de distorsión espectral. El filtrado de peine se caracteriza por una serie de picos espectrales espaciados regularmente y bajadas en la presión del sonido en el tímpano. Para latencias más largas, la primera bajada es a una frecuencia más baja y, por lo tanto, se ve afectada una porción mayor del espectro de frecuencias. Las latencias más cortas producen un filtrado de peine menos extenso. El oído humano es muy sensible a este tipo de artefacto; las latencias de menos de 8 milisegundos se perciben como coloración del tono, mientras que las latencias más largas pueden percibirse como ecos, latidos o coloración del tono, dependiendo de la sonoridad relativa del sonido retardado.

35 Otro artefacto de recombinación surge de la distorsión de fase en el sonido amplificado. Esto también produce una estructura de saltos y picos espectrales; dondequiera que las frecuencias estén desfasadas 180 grados, se recombinan destructivamente y crean una bajada, mientras que aquellas en fase se agregan constructivamente, creando un pico. Dado que las distorsiones de fase a menudo se distribuyen de manera no uniforme en el espectro de frecuencias, este tipo de artefacto es potencialmente mucho menos regular que los artefactos de latencia. La fuente de distorsión de fase puede ser cualquier componente en la ruta de la señal: el micrófono, los componentes de procesamiento de señal o el transductor de salida (altavoz).

40 Los artefactos mencionados anteriormente resultan en distorsiones espectrales en el sonido percibido fácilmente aparentes incluso para los oyentes no entrenados. Además de estas distorsiones espectrales, los audífonos también distorsionan la información de fase cuando la señal amplificada es mucho más fuerte que la señal incidente. Se cree que tales distorsiones de fase son notorias en sí mismas. La evidencia reciente sugiere que la fase se utiliza para muchas tareas, incluida la localización de la fuente, la codificación de voz y la detección de la modulación de fase.

55 El documento EP1992196 describe un método para limitar la distorsión de la fase manteniendo una diferencia de nivel

mínima entre los sonidos amplificados e incidentes.

La presente invención aborda los inconvenientes asociados con los audífonos de audición abierta convencionales. Mitiga sustancialmente los artefactos y los problemas de distorsión que existen en los audífonos de audición abierta, y elimina sustancialmente la fuente de insatisfacción del usuario con este tipo de diseño de audífonos. La invención permite al usuario disfrutar de los beneficios conocidos de los diseños de oído abierto sin sufrir las distracciones perceptibles comúnmente asociadas con tales diseños.

**Compendio de la invención**

La presente invención está dirigida a un audífono de oído abierto según la reivindicación 1, que comprende medios de entrada tales como un micrófono para captar el sonido incidente que debe ser recibido por el oído humano y convertirlo en una señal de audio eléctrica, y los medios de salida incluyen un transductor de salida posicionable dentro de un canal auditivo humano para producir una salida de sonido en el oído en respuesta al sonido incidente captado por los medios de entrada. Los medios de salida, que pueden tener la forma de un auricular o un inserto que tiene un altavoz, son acústicamente transparentes para permitir la transmisión de sonido incidente directamente al tímpano, en donde se combina con la salida de sonido del transductor de salida. El sonido percibido por el usuario del audífono se debe a la combinación del sonido incidente y la salida de sonido de los medios de salida colocados en el oído.

La invención incluye además un medio de procesamiento de señal para procesar la señal de audio eléctrica producida por el medio de entrada con el fin de impulsar el transductor de salida del medio de salida de una manera deseada. El medio de procesamiento de la señal tiene un filtro de ganancia variable (a veces denominado en esta memoria como una "puerta coherente") que hace que la salida de sonido amplificada del transductor de salida tenga las siguientes características:

- i) la salida de sonido se amplifica dentro de un conjunto de bandas de frecuencia de acuerdo con las características de pérdida auditiva del usuario;
- ii) la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia depende de la sonoridad, es decir, los niveles de presión del sonido, del sonido incidente; y
- iii) el transductor de salida no produce salida de sonido cuando el nivel de presión de sonido incidente supera un nivel de corte establecido, por lo que el sonido percibido por el usuario es totalmente el resultado del sonido incidente que llega directamente al tímpano, caracterizado porque el nivel de corte se establece en el umbral de audibilidad del usuario.

En otro aspecto de la invención, los medios de procesamiento de la señal producen una salida de sonido del transductor de salida caracterizada porque la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de la banda de frecuencia establecida disminuye desde una ganancia máxima a niveles bajos de presión de sonido incidente a una ganancia mínima en los niveles de presión de sonido incidente cerca del nivel de presión de sonido de corte establecido para el sonido incidente.

En un aspecto adicional de la invención, los medios de entrada para captar el sonido incidente que va a ser recibido por el oído humano convierten el sonido incidente en una señal de audio digital, y los medios de procesamiento de señales incluyen un procesador de señales digitales.

En otro aspecto más de la invención, la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de la banda de frecuencia disminuye linealmente al aumentar los niveles bajos de presión de sonido incidente a niveles de presión de sonido incidente por debajo del nivel de presión de sonido de corte establecido para el sonido incidente.

Otros aspectos adicionales de la invención incluyen tener la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha disminución de banda de frecuencia cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente y disminuir a menos de 0 dB en el nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.

En otro aspecto más de la invención, la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de la banda de frecuencia disminuye monótonamente y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.

En otros aspectos de la invención, la distorsión de fase de la salida de sonido amplificada dentro de la banda de frecuencia se aproxima a cero cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente, se vuelve cero cuando el nivel de presión de sonido incidente supera sustancialmente el nivel de corte, y se acerca a cero de manera monótona y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.

En otro aspecto más de la invención, los medios de procesamiento de la señal producen la siguiente característica adicional en la salida de sonido que se combina con el sonido incidente: cuando se realiza la transición entre un estado en donde la salida de sonido se amplifica y en donde el transductor de salida no produce prácticamente ninguna salida de sonido, la transición está bajo control dinámico para producir los tiempos de ataque y liberación deseados.

La presente invención proporciona una serie de beneficios. Al atenuar el sonido amplificado en el umbral de audibilidad

del usuario, el transductor de salida del audífono no necesita proporcionar un nivel de salida alto y, por lo tanto, puede usarse sin peligro de recorte o limitadores. Tanto los limitadores como el recorte introducen distorsión armónica en la señal amplificada; Los limitadores lo hacen por diseño, para evitar los artefactos más extremos causados por el recorte, que es la excitación de los modos no lineales en el diafragma.

5 Además, la invención aumentará el número y la calidad de las señales espaciales disponibles para el usuario. Tales señales resultan de la función de transferencia relacionada con la cabeza completa, que está formada por la anatomía del oído externo (pabellón auricular y concha), el canal auditivo y los efectos binaurales causados por la cabeza (como el ruido interaural, el tiempo y las diferencias de fase). Cada vez que se amplifica una frecuencia, la latencia y las distorsiones de fase se introducen necesariamente en esa frecuencia y se perturban las señales naturales. La  
10 invención, y en particular la puerta coherente de la invención, conservan señales naturales mediante la amplificación cuidadosa del sonido incidente.

A un nivel más general, la invención mejora la calidad del sonido percibida por el usuario al mismo tiempo que conserva las señales naturales, de modo que el audífono es lo menos gravoso para el usuario. En entornos auditivos complejos, el cerebro puede usar múltiples señales para separar las fuentes de sonido y dirigir la atención auditiva. En muchos  
15 casos, la pérdida de tales señales resulta en una comprensión o inteligibilidad reducidas. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la pérdida de ciertas señales también puede aumentar el esfuerzo cognitivo requerido para mantener el mismo rendimiento. Esto se muestra de manera más sucinta al dar al sujeto de la prueba una segunda tarea no auditiva para que la realice junto con la tarea auditiva primaria. Con la pérdida de audición, la calidad de entrada degradada u otros factores que aumentan la carga cognitiva, el rendimiento en la segunda tarea disminuirán  
20 drásticamente y el paciente se fatigará mucho más rápido de lo normal.

Otros aspectos y beneficios de la invención serán evidentes a partir de la descripción y las reivindicaciones que siguen.

#### **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una representación de un diagrama de bloques funcional de una ayuda que tiene una puerta coherente de acuerdo con la invención.

25 La figura 2 es una representación gráfica de los componentes físicos para un audífono de acuerdo con la invención, y la colocación de los componentes dentro y fuera del canal auditivo.

La figura 3 es una representación esquemática/gráfica de las rutas tomadas por el sonido amplificado e incidente a medida que pasan a través del canal auditivo hasta el tímpano de una persona equipada con un audífono de acuerdo con la invención; esto ilustra cómo el sonido incidente y amplificado suma y crea el sonido percibido cuando llegan al  
30 tímpano.

La figura 4 es un gráfico del nivel de sonido producido por un audífono de acuerdo con la invención en el tímpano del usuario en función de la frecuencia y para diferentes niveles de presión de sonido de entrada plana (ruido blanco) indicados. Muestra la disminución en la ganancia del audífono dentro de una banda de frecuencia personalizada ajustada al usuario a medida que aumenta la entrada plana SPL.

35 La figura 5A es una curva de entrada/salida en la frecuencia pico de 4 kHz para el ejemplo que se muestra en la figura 4, que muestra el sonido percibido, amplificado e incidente medido en dB SPL en el tímpano.

La figura 5B es una función de ganancia en la frecuencia pico de 4 kHz para el ejemplo que se muestra en la figura 4.

40 La figura 6 es un gráfico que muestra el sonido incidente y el sonido amplificado por un audífono de acuerdo con la invención y su suma en el tímpano para un sonido de entrada con un nivel de SPL ligeramente por debajo del punto de cruce.

La figura 7 es un gráfico de fase en función de la frecuencia en los niveles de ganancia indicados en la figura 5.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra el método global de la invención.

#### **Mejor modo de llevar a cabo la invención.**

45 Con referencia a los dibujos, la figura 1 ilustra en forma de diagrama de bloques una realización de un audífono de acuerdo con la invención, generalmente indicado por el número 10, en donde el sonido de entrada (incidente) es transducido por el micrófono 11 y digitalizado por un convertidor analógico a digital 13 para procesamiento digital. (Se entenderá que la invención no se limita al procesamiento digital, y podría implementarse en su lugar con componentes analógicos). A continuación, la señal pasa a través de un circuito de procesamiento de señal que tiene una puerta coherente 15 que comprende un filtro 17, una función de control de ganancia 19 para proporcionar ganancia variable  
50 y, preferiblemente, una función de control dinámico descrita más adelante representada por el bloque 18. Los parámetros del filtro (forma, ancho de banda, estructura de ganancia, etc.) se configuran a través de una función de configuración dentro de la puerta coherente como se representa en el bloque de configuración 20. Cuando se encuentra en una configuración o modo de programación, los parámetros de la puerta coherente (incluida la frecuencia y la ganancia, entre otros) se pueden configurar para la pérdida auditiva particular del usuario. Esta función de

configuración puede ser controlada por un ordenador.

Como se representa por el bloque de control de ganancia 19, la ganancia suministrada por el audífono se puede determinar a partir de la señal de salida de la puerta coherente en la salida de la puerta 21 en una configuración de realimentación, y se puede usar para modificar la amplitud del filtro como se representa por la flecha de realimentación 23. La señal de salida puede convertirse entonces en una señal analógica mediante un convertidor digital a analógico 25, amplificada por el amplificador 27 y transmitida al transductor de salida (altavoz) 29. Se apreciará que el control de ganancia podría implementarse de otras maneras de lo descrito anteriormente, por ejemplo, utilizando una señal de avance.

De manera más adecuada, el transductor de entrada (micrófono) y el transductor de salida (altavoz) reproducirán la señal de audio con precisión sin agregar distorsión espectral o de fase. Esto requiere transductores lineales con una respuesta de fase plana y sin distorsión armónica hasta el nivel más alto de ganancia necesario. Dado que las pérdidas auditivas apropiadas para esta invención son leves a moderadas, el audífono rara vez deberá proporcionar niveles superiores a 80 dB SPL.

Una implementación física de un audífono de acuerdo con la invención se muestra en la figura 2. El micrófono 11 está conectado a un paquete electrónico que contiene la puerta coherente 15 y el transductor de salida 29 por un cable 31. Mientras que la electrónica de procesamiento (que incluye la puerta coherente) y el micrófono se muestran como componentes separados, se contempla que se pueden alojar juntos en una sola unidad portátil. Una fuente de alimentación tal como una batería 33 también puede alojarse junto con la electrónica de procesamiento o puede ubicarse por separado y unirse al circuito por un cable. Un medio de salida acústica que se puede insertar en el oído incluye un transductor de salida 29 y un inserto para el oído transparente acústicamente 37. Adecuadamente, el transductor está incrustado en el inserto para el oído. El inserto se mantiene en la parte exterior del canal auditivo 35, lo que significa que el sonido incidente no se atenúa apreciablemente y aún puede alcanzar el tímpano 39. Tal inserto de oído se denomina diseño de "oído abierto", en contraste con un inserto para el oído duro que bloquea completamente el canal auditivo y atenúa el sonido incidente. (Donde el contexto lo requiera, se entenderá que la referencia en esta memoria al "inserto para el oído" incluye el transductor 29.)

Tal inserto para el oído abierto permite que los sonidos incidentes alcancen el tímpano, como se muestra esquemáticamente en la figura 3. Cuando el dispositivo está desgastado e inactivo, el sonido percibido en el tímpano 39 (representado por la flecha de salida 41) es simplemente el sonido incidente (representado por la flecha de entrada 43). Cuando el dispositivo está activo, crea un sonido que a veces se denomina "sonido amplificado". Tanto el sonido amplificado (representado por la flecha 45) como el sonido incidente 43 excitan el tímpano; El sonido percibido por el cerebro es, de este modo, su suma.

Como se mencionó anteriormente, el espectro de frecuencia del sonido amplificado está determinado por los parámetros del filtro 17 de la puerta coherente 15, que puede ser controlado por un ordenador a través de la función de configuración de la puerta coherente 20. (Se puede proporcionar una interfaz informática para que determine de forma programática la forma del filtro de la puerta coherente.) El filtro se puede considerar como una curva de ecualización, que aplica la ganancia por separado a las bandas de frecuencia estrechas. La forma del filtro es altamente personalizable y puede adaptarse a la mayoría de los tipos de pérdida auditiva leve o moderada, aunque en última instancia está limitada por el diseño del algoritmo de puerta coherente. Por ejemplo, el filtro puede ser plano en todas las frecuencias, potenciado en determinadas frecuencias (paso alto, paso bajo o paso de banda), o bimodal (con un pico en dos frecuencias).

Las características de la puerta coherente 15 del circuito de procesamiento de la señal pueden establecerse primero estableciendo una curva de ganancia (ecualización) dependiente de la frecuencia, por lo tanto "filtro", adaptado a la pérdida auditiva medida particular del usuario. El filtro así establecido es preferiblemente un filtro de fase mínima, es decir, un filtro en donde la fase se altera solo en aquellas frecuencias que se amplifican. A medida que aumenta el nivel de entrada (sonido incidente) en una banda de frecuencia, la ganancia del filtro puede atenuarse gradualmente hasta que el sonido incidente se vuelva dominante. La ganancia puede atenuarse de tal manera que la respuesta de fase también disminuya gradualmente a cero. Las características precisas del filtro necesarias para compensar la pérdida auditiva de un individuo en particular pueden denominarse "algoritmo de ajuste".

Los algoritmos de ajuste para la pérdida auditiva particular de un usuario pueden determinarse probando la audición del usuario. El algoritmo de ajuste puede proporcionar un control de ganancia personalizado para el circuito de la puerta coherente (filtro): amplifica una banda de frecuencia determinada solo cuando está por debajo del umbral de audibilidad del usuario. Al amplificar sonidos suaves, el retardo de fase del filtro es aceptable para el usuario y la audibilidad para voz y música de bajo nivel se mejora considerablemente. Sin embargo, una vez que la señal de entrada alcanza el umbral del usuario, los efectos del filtro se eliminan, preferiblemente rápidamente, lo que también elimina la distorsión. (Si el filtro permanece activo por encima del umbral de audibilidad, el sonido resultante se escucha distorsionado y desagradable para el usuario: la percepción puede ser brillante o estrepitosa, según el tipo de pérdida auditiva).

Otras características de la puerta coherente son las propiedades dinámicas de cada filtro. Estas incluyen los tiempos de ataque y liberación, que son el tiempo requerido para que un filtro se active completamente cuando la intensidad

del sonido incidente aumenta por encima del umbral de audibilidad de la persona y se desactiva completamente a medida que la intensidad del sonido incidente cae por debajo de este umbral. Al emplear el control dinámico, (representado gráficamente por el bloque 18 en la figura 1), los tiempos de ataque y liberación se pueden establecer de tal manera que no se amplifiquen los eventos ruidosos repentinos, lo que requiere un tiempo de ataque rápido, y de tal manera que los sonidos suaves después de un evento sonoro alto permanezcan audibles, lo que requiere un tiempo de liberación moderadamente rápido. Si cualquiera de los parámetros es demasiado largo o demasiado corto, habrá una coloración del tono y una fluctuación de nivel notable; si el tiempo de liberación es demasiado corto, se notarán artefactos de bombeo. Los valores de la dinámica dependerán probablemente de la pérdida auditiva particular del usuario y de la retroalimentación subjetiva del usuario durante el proceso de adaptación. En general, el tiempo de ataque del filtro se establecería adecuadamente en algún lugar entre aproximadamente 15 microsegundos y aproximadamente 10 milisegundos, y preferiblemente menos de aproximadamente 1 milisegundo. El tiempo de liberación del filtro estaría preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 200 microsegundos a 30 milisegundos. Estas dinámicas serían más convenientemente establecidas por el fabricante o profesional capacitado.

Aunque el audífono descrito anteriormente es un dispositivo de un solo canal para un oído, debe entenderse que una combinación adecuada de dos de estos dispositivos podría usarse para ambos oídos. En tal caso, la combinación podría compartir un recinto físico para la electrónica y una batería, pero cada oído requeriría su propio inserto para el oído, y preferiblemente cada oído tendría su propio micrófono dedicado y una puerta coherente. Se recomiendan micrófonos separados para conservar las señales binaurales, que son diferentes en cada oído. La puerta coherente se establecerá de manera independiente para cada oído, ya que la pérdida de audición en cada oído a menudo es diferente (llamada pérdida de audición asimétrica). Los micrófonos se llevarán preferiblemente lo más cerca posible del oído.

Ahora se hace referencia a una forma de filtro ejemplar, que se representa en la figura 4 y que es un filtro de paso de banda con una frecuencia de pico ( $F_{peak}$ ) a 4 kHz. Tal filtro corresponde a una pérdida auditiva típica inducida por ruido de 20 dB a 4 kHz. De acuerdo con la invención, cualquier forma de filtro puede ser realizada por la puerta coherente. Primero, se debe considerar el sonido que llega y se suma al tímpano. Como se ilustra en la figura 3, esta es la combinación o suma del sonido incidente que pasa a través del inserto para el oído directamente al tímpano y al sonido amplificado. En el ejemplo de filtro que se muestra en la figura 4, el audífono aumenta las frecuencias solo alrededor de 4 kHz. Para una señal de entrada plana de 0 dB SPL, el sonido sumado en el tímpano a 4 kHz se aumenta a 20 dB SPL, lo que hace que esas frecuencias sean ahora audibles para el usuario. (Otras partes del espectro de frecuencias, ya audibles, no se amplifican). En los niveles de entrada más altos de 10 dB y 20 dB que se muestran en el gráfico, se puede ver que el grado de aumento se reduce progresivamente. Una vez que el nivel de entrada alcanza los 23 dB, el nivel de corte elegido o el umbral de audibilidad para un usuario hipotético, el audífono esencialmente no proporciona sonido amplificado a 4 kHz (la ganancia es inferior a -20 dB). Por encima de este umbral, el usuario percibirá el sonido incidente dentro del intervalo de frecuencia de pérdida auditiva sin compensación. En este ejemplo, el sonido incidente que produce las señales de entrada para el procesamiento se considera primero como estático, con un factor de intensidad y cresta que no varía en el tiempo.

Las figuras 5A muestran el nivel del sonido incidente (representado por la línea discontinua 49) y el sonido amplificado (representado por la línea discontinua 51, y el nivel de sonido en el tímpano resultante de la suma de los dos (representado por la línea continua 47), como una función del nivel de sonido de entrada (incidente); la figura 5B muestra cómo la ganancia del filtro (representada por la línea discontinua 50) cambia en función del nivel de sonido de entrada. A medida que cambia el nivel de sonido de entrada, los parámetros de ganancia del filtro están hechos para cambiar, dando como resultado un nivel de sonido en el tímpano que cambia. A niveles de sonido de entrada bajos (por debajo de aproximadamente 10 dB), el sonido que llega al tímpano y, en última instancia, el sonido percibido es dominado por el sonido amplificado. En la región de entrada, se observa que la ganancia del filtro disminuye casi linealmente. Sobre esta región se encuentra una "región de cruce" (indicada por el número 55 en la figura 5B) en donde la diferencia entre el sonido amplificado 51 y el sonido incidente 49 es menor de aproximadamente 8 dB. A niveles dentro de esta región de cruce tanto el sonido incidente como el amplificado contribuyen significativamente al sonido que llega al tímpano y al sonido percibido. Como resultado, puede haber una desviación deseable de la linealidad en la función de ganancia dentro de esta región (esta desviación en la región de cruce puede observarse en la figura 5B). No obstante, para evitar artefactos perceptivos en la región de cruce, los cambios en la función de ganancia deben ser graduales; es decir, debería ser monótonamente decreciente, sin discontinuidades, y suave (en el sentido matemático, con derivadas continuas). Efectivamente, tal función de ganancia bien definida asigna niveles de entrada similares a niveles de salida similares; un pequeño cambio en el nivel de entrada provoca un pequeño cambio en el nivel de salida. Aunque la función de ganancia óptima no es lineal, como se muestra en la figura 5B, se debe tener en cuenta que también se podría usar una función de ganancia lineal, que sea efectiva y más fácil de implementar.

La Figura 6 muestra el sonido incidente (representado por la línea 57) y el sonido amplificado (representado por la línea 59) y su suma (representada por la línea 61) en el tímpano para el sonido incidente que tiene un nivel de presión de sonido dentro de la región de cruce (nivel de entrada a 16 dB). En la región de cruce, las características de fase y retardo del sonido amplificado son particularmente importantes. La fase dependiente de la frecuencia debe acercarse gradualmente a cero a medida que la ganancia del filtro disminuye (al igual que la función de ganancia cambia). Al igual que con el nivel de presión de sonido amplificado, si la fase cambia drásticamente entre leves cambios en el nivel de entrada, el usuario del dispositivo lo notará.

En la figura 7 se ilustra una forma de evitar cambios de fase perceptibles e inaceptablemente grandes con pequeños cambios en el nivel de entrada, que muestra que la perturbación de la fase disminuye lentamente a cero a medida que el nivel de entrada aumenta y la ganancia del sistema disminuye. La figura 7 muestra la fase en función de la frecuencia en los niveles de ganancia indicados en la figura 5B. A medida que la ganancia disminuye por debajo de cero, la perturbación de fase también disminuye. Por ejemplo, con una ganancia de +20 dB, la perturbación de fase (representada por la línea 61 del gráfico) es grande en comparación con la perturbación de fase a 0 dB (representada por la línea 63 del gráfico). A -10 dB prácticamente no hay perturbación de fase. Aunque los filtros que proporcionan ganancia dependiente de la frecuencia introducen necesariamente un cambio de fase, este cambio se puede minimizar seleccionando una implementación de filtro apropiada (por ejemplo, filtros de fase mínima).

El otro parámetro importante del audífono es la latencia, el tiempo entre la llegada del sonido incidente al micrófono y la salida del sonido amplificado al altavoz. Este retraso debe mantenerse lo más pequeño posible, idealmente menos de 1 milisegundo. Los retardos de más de 5 milisegundos crean artefactos de coloración, mientras que los retardos de más de 1 milisegundo afectan a las señales de localización del sonido. Por lo tanto, preferiblemente, la latencia introducida por la puerta coherente 15 del circuito de procesamiento de señales ilustrado en la figura 1 será inferior a 1 milisegundo.

Para obtener los beneficios del esquema de procesamiento descrito anteriormente, el transductor de entrada (micrófono) y el transductor de salida (altavoz) deben ser capaces de reproducir la señal de audio con gran fidelidad. La respuesta de fase igual de la puerta coherente no se realizará a menos que tanto los transductores de entrada como los de salida sean lineales; es decir, a menos que tengan una respuesta de fase plana y una distorsión armónica baja (preferiblemente menos del 1%) al nivel de salida más alto esperado.

La figura 8 ilustra la metodología general de la realización de la invención descrita anteriormente, en donde el sonido incidente, representado por el bloque 101, puede llegar al tímpano del usuario a través de dos trayectorias, representadas por las flechas A y B, en donde se suma, como se representa por el bloque 103. Como se muestra en la figura 8, la primera ruta (ruta A) es una ruta de oído abierto directa al tímpano permitida por la configuración de oído abierto del inserto para el oído para el audífono. El sonido incidente siempre llegará al tímpano a través de este camino. La ruta (ruta B) es una ruta de señal procesada que proporciona al tímpano sonido amplificado que depende de la frecuencia y el nivel de sonido incidente. A través de esta ruta, el sonido incidente que se ha convertido en una señal de audio eléctrica se procesa mediante una función de activación de ganancia variable, que se muestra como una puerta coherente 15 en la figura 1, en donde el sonido incidente que llega al tímpano a través de la ruta A se amplifica el sonido llega a través de la ruta B. El nivel del sonido que llega desde la ruta B no solo depende de la banda de frecuencias en donde se produce la compensación de la pérdida auditiva, sino también del nivel de sonido incidente en cualquier momento. Las características de la función de ganancia variable para amplificar la señal de audio procesada a través de esta ruta se adaptarán al perfil de pérdida auditiva medido del usuario, incluido el umbral de audibilidad del usuario.

Más particularmente, en la ruta de señal procesada B, el sonido incidente se introduce en esta ruta a través del micrófono 105, que convierte el sonido en una señal de audio eléctrica que puede ser procesada por circuitos analógicos o, lo más preferiblemente, por procesamiento de señales digitales. Las etapas de procesamiento incluyen primero determinar la sonoridad del sonido incidente en la banda de frecuencia o bandas de interés (bloque 107). Si la sonoridad del sonido incidente captado por el micrófono está por debajo del umbral de audibilidad medido para el usuario (bloque 109), la ganancia necesaria para compensar la pérdida auditiva medida por el usuario, es decir, para llevar el sonido del umbral inferior a un nivel audible para el usuario se determina, por ejemplo, mediante un cálculo de ganancia (bloque 111). Sobre la base de esta ganancia determinada, el filtro de la puerta coherente se activa (bloque 113) para permitir que la señal de audio que pasa por la ruta B se amplifique a un nivel determinado por la ganancia. Como se describió anteriormente, la activación del filtro puede estar bajo control dinámico, de manera que el tiempo de ataque se puede establecer en los niveles deseados. El sonido amplificado resultante se utiliza para activar el altavoz 115 de un inserto para el oído. La salida del altavoz produce un sonido amplificado que se suma al sonido incidente en el tímpano.

Si, por otra parte, la intensidad del sonido incidente captado por el micrófono está por encima del umbral medido de audibilidad para el usuario (de vuelta al bloque 109), el filtro de la puerta coherente se desactiva (bloque 117), eliminando así cualquier señal de audio que pueda conducir al altavoz 115. Al igual que con el acoplamiento del filtro, el desenganche del filtro puede estar bajo control dinámico, en donde el tiempo de liberación se puede configurar como se describió anteriormente. Durante el lanzamiento, el sonido amplificado continuará activando el altavoz 115 durante un período de tiempo muy corto.

Aunque la invención se ha descrito en detalle en la especificación anterior, no se pretende que la invención se limite a tal detalle, excepto por las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un audífono de oído abierto (10) para compensar la pérdida de audición en el oído humano que comprende:
  - medios de entrada (11) para captar el sonido incidente (43) que debe ser recibido por el oído humano y convertirlo en una señal de audio eléctrica,
  - 5 medios de salida que incluyen un transductor de salida (29) posicionable dentro de un canal auditivo humano (35) para producir una salida de sonido (45) en respuesta al sonido incidente (43) captado por dichos medios de entrada (11), teniendo dichos medios de salida una forma que permite la transmisión de sonido incidente directamente al tímpano, en donde se combina con la salida de sonido (45) de dicho transductor de salida (29), resultando la combinación de sonido incidente y salida de sonido de dichos medios de salida en el sonido (41) percibido por el portador del audífono, y
  - 10 medios de procesamiento de señal (15) para procesar la señal de audio eléctrica desde dichos medios de entrada (11), en donde las características de la salida de sonido (45) de dicho transductor de salida (29) están determinadas al menos en parte por dichos medios de procesamiento de señal (15), produciendo dichos medios de procesamiento de señal (15) las siguientes características en la salida de sonido (45) que se combinan con el sonido incidente:
    - i) la salida de sonido (45) se amplifica dentro de un conjunto de bandas de frecuencia de acuerdo con las características de pérdida de audición del usuario;
    - ii) la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia depende de los niveles de presión de sonido del sonido incidente; y
    - 20 iii) el transductor de salida (29) no produce salida de sonido cuando el nivel de presión de sonido incidente supera un nivel de corte establecido, por lo que el sonido percibido por el usuario es totalmente el resultado de que el sonido incidente llega directamente al tímpano, caracterizado porque el nivel de corte se establece en el umbral de audibilidad del usuario.
2. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde los medios de procesamiento de señal (15) producen una salida de sonido desde dicho transductor de salida (29) caracterizado porque la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de la banda de frecuencia establecida disminuye desde una ganancia máxima a niveles bajos de presión de sonido incidente a una ganancia mínima en niveles de presión de sonido incidente cerca del nivel de presión de sonido de corte establecido para el sonido incidente.
3. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye linealmente al aumentar los niveles bajos de presión de sonido incidente a niveles de presión de sonido incidentes por debajo del nivel de presión de sonido de corte establecido para el sonido incidente.
4. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.
- 35 5. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye a menos de 0 dB en el nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.
6. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye monótonamente y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.
- 40 7. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la distorsión de fase de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia se acerca a cero cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente y se vuelve cero cuando el nivel de presión de sonido incidente supera el nivel de corte.
8. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde la distorsión de fase de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia se aproxima a cero monótonamente y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.
- 45 9. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde los medios de procesamiento de señal (15) producen la siguiente característica adicional en la salida de sonido que se combina con el sonido incidente: cuando se realiza la transición entre un estado en donde la salida de sonido se amplifica y en donde el transductor de salida (29) no produce salida de sonido, la transición está bajo control dinámico para producir los tiempos de ataque y liberación deseados.
- 50 10. El audífono de oído abierto de la reivindicación 2, en donde:



dichos medios de entrada (11) para captar el sonido incidente que va a ser recibido por el oído humano convierten el sonido incidente en una señal de audio digital,

los medios de salida incluyen además un procesador digital, y

5 dichos medios de procesamiento de señal (15) producen además las siguientes características en la salida de sonido que se combinan con el sonido incidente:

iv) cuando se realiza la transición entre un estado en donde la salida de sonido se amplifica y en donde el transductor de salida (29) no produce salida de sonido, la transición está bajo control dinámico para producir los tiempos de ataque y liberación deseados.

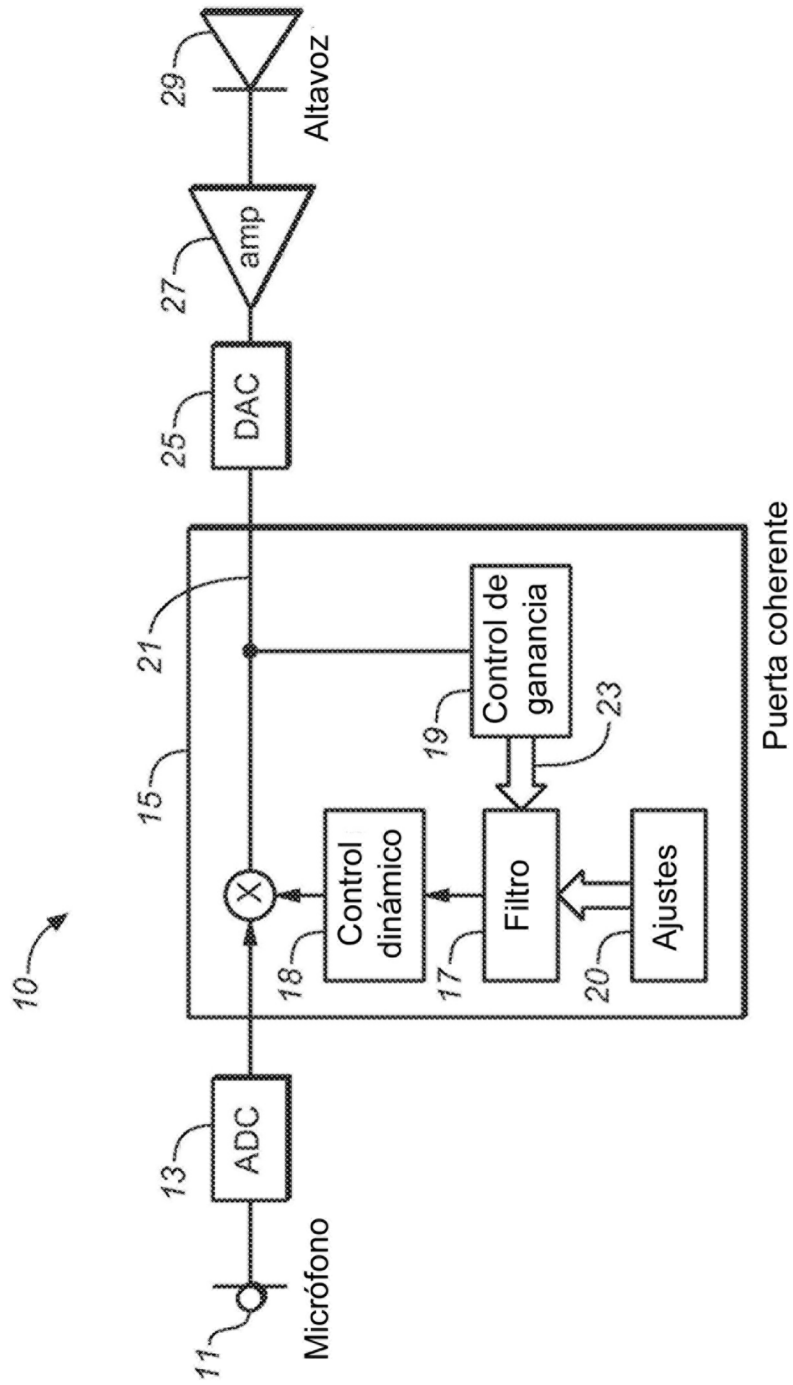
10 11. El audífono de oído abierto de la reivindicación 10, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye linealmente al aumentar los niveles bajos de presión de sonido incidente a niveles de presión de sonido incidente por debajo del nivel de presión de sonido de corte establecido para sonido incidente.

15 12. El audífono de oído abierto de la reivindicación 11, en donde la ganancia de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia disminuye monótonamente y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.

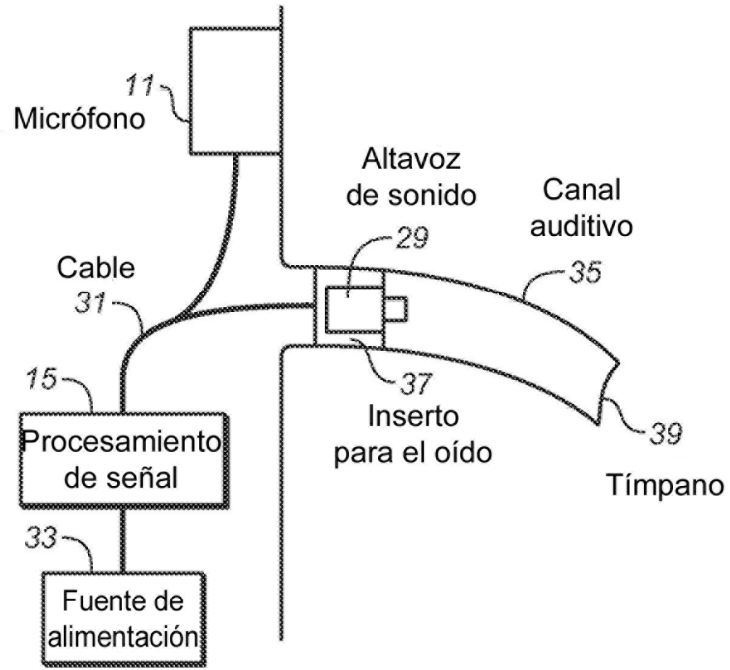
13. El audífono de oído abierto de la reivindicación 12, en donde la distorsión de fase de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia se acerca a cero cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente y se vuelve cero cuando el nivel de presión de sonido incidente supera el nivel de corte nivel.

20 14. El audífono de oído abierto de la reivindicación 13, en donde la distorsión de fase de la salida de sonido amplificada dentro de dicha banda de frecuencia se aproxima a cero monótonamente y sin discontinuidades cerca del nivel de presión de sonido de corte para el sonido incidente.

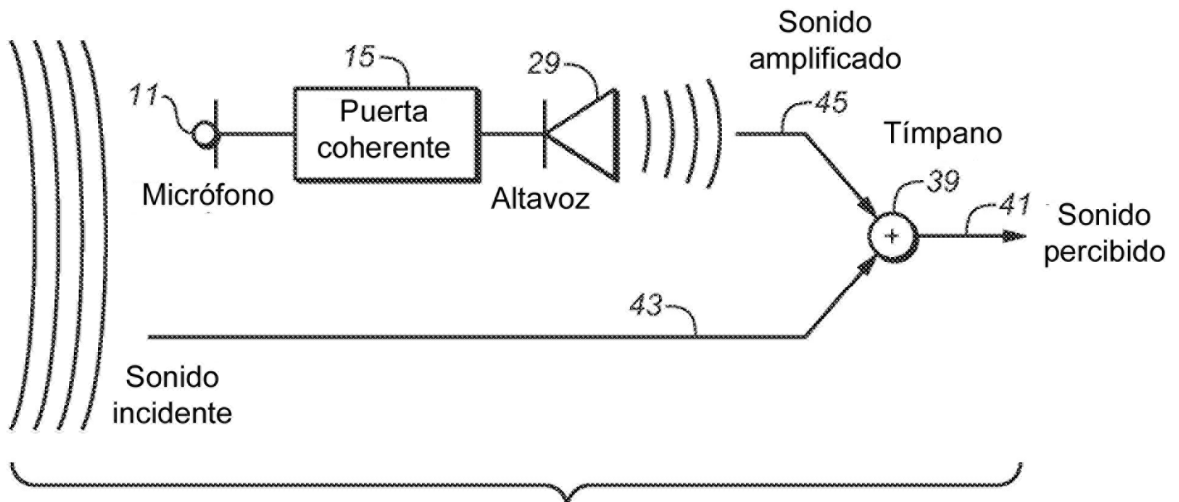
15. El audífono de oído abierto de la reivindicación 1, en donde dichos medios de procesamiento de señal (15) tienen una latencia inferior a 1 milisegundo.



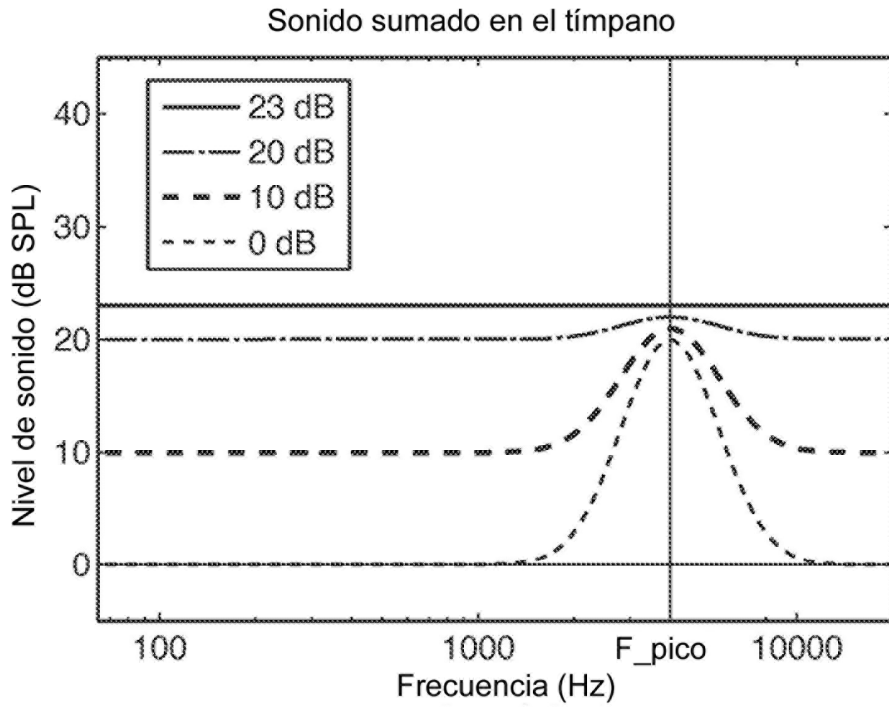
**FIG. 1**



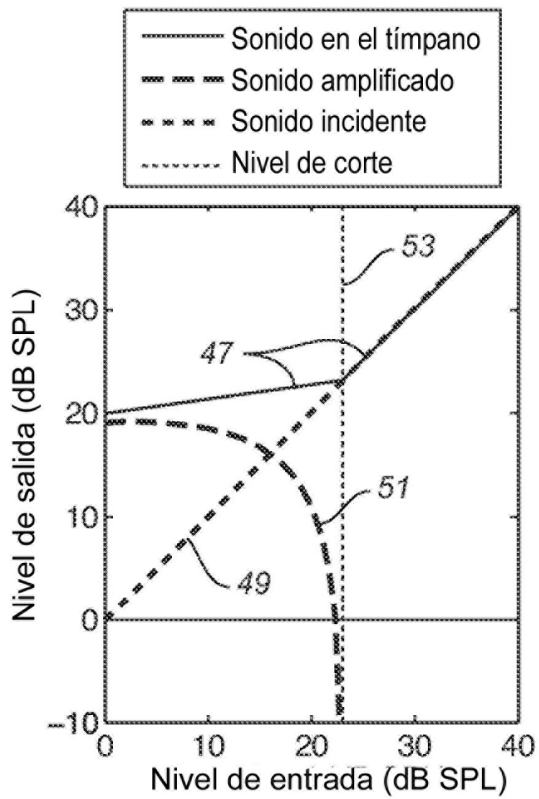
**FIG. 2**



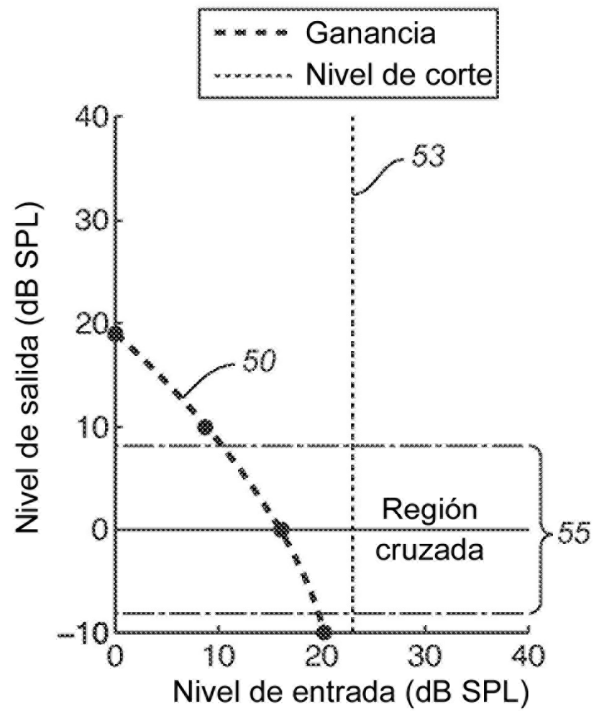
**FIG. 3**



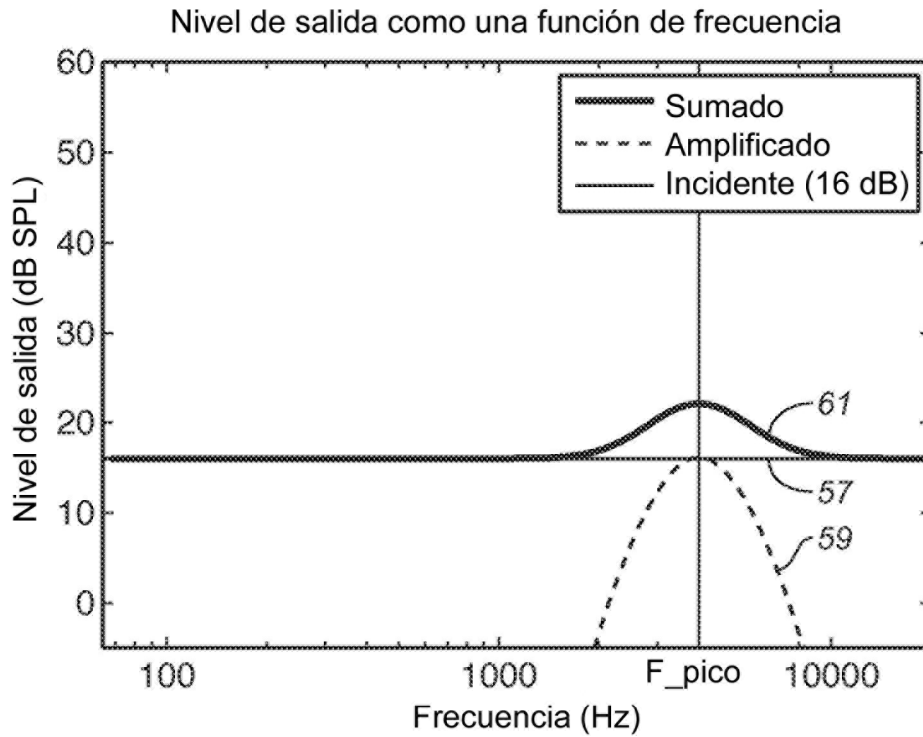
**FIG. 4**



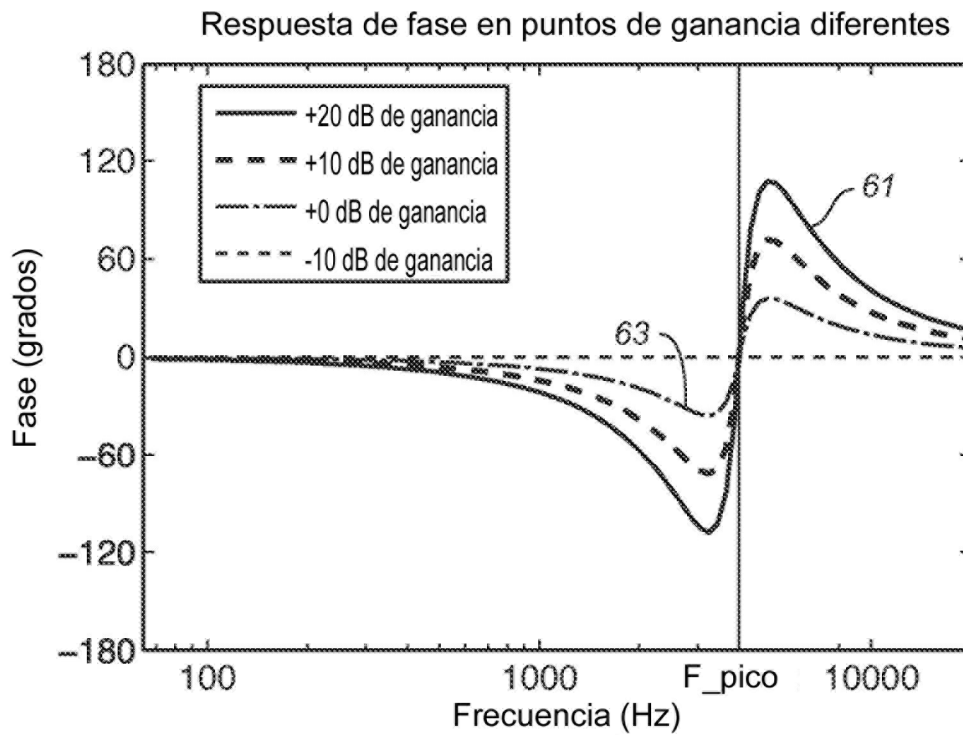
**FIG. 5A**



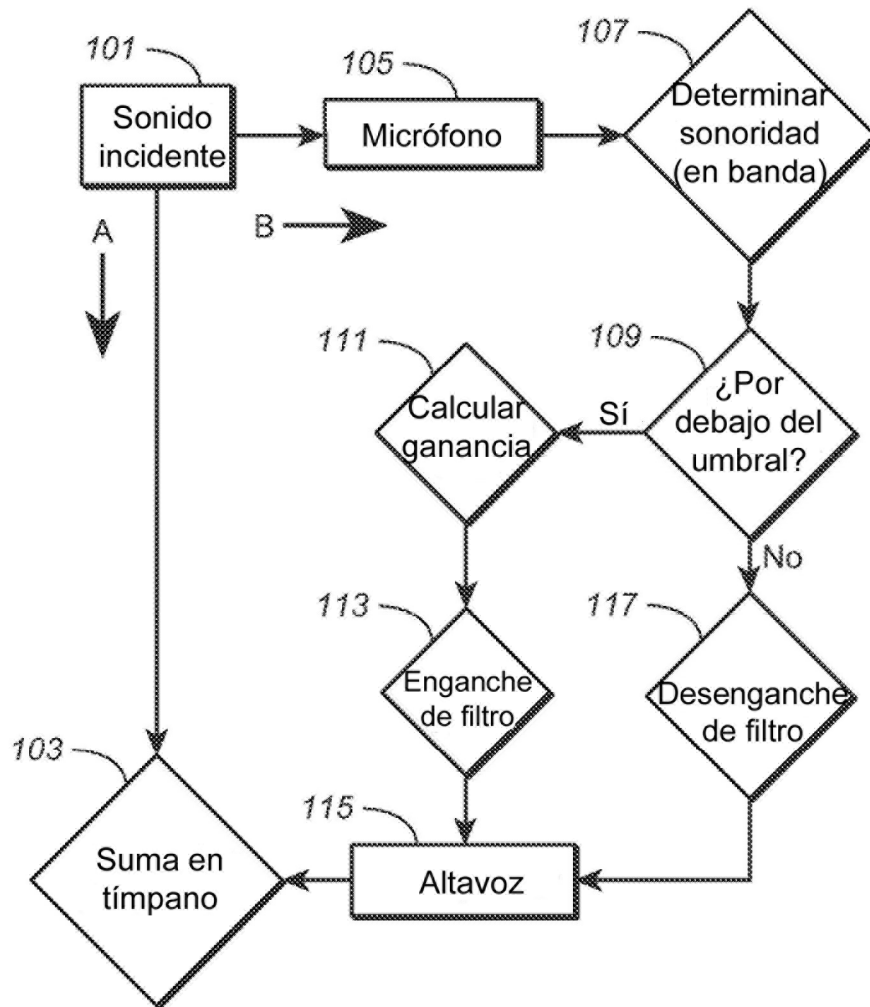
**FIG. 5B**



**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**