

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 214**

51 Int. Cl.:

F41H 13/00 (2006.01)
G10K 11/26 (2006.01)
G10K 13/00 (2006.01)
H04R 1/30 (2006.01)
H04R 3/00 (2006.01)
H04R 1/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.05.2014 PCT/GB2014/051657**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2014 WO14191761**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2014 E 14732293 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 3004788**

54 Título: **Aparato acústico y funcionamiento**

30 Prioridad:

31.05.2013 GB 201309746

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

12.02.2018

73 Titular/es:

**CERBERUS BLACK LTD (100.0%)
c/o Cole Marie Chartered Accountants Priory
House 45-51 High St Reigate
Surrey RH2 9AE, GB**

72 Inventor/es:

**HENRY, MATTHEW y
KINSELLA, EDWARD**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 654 214 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 acústico y funcionamiento

Antecedentes

Campo técnico de la invención

5 La Gestión de Conflictos es una función esencial de las agencias Policiales y del Orden Público en todo el mundo. Es también, cada vez más, una función de las fuerzas militares comprometidas en el mantenimiento de la paz y la reconstrucción nacional. La filosofía subyacente de la Gestión de Conflictos es posibilitar que la Policía minimice, en la medida de lo posible, el riesgo de dañar a todos los individuos que se encuentran en una situación conflictiva, gestionando esa situación de manera cuidadosa. A través de los años se ha desarrollado una variedad de
10 tecnologías para hacer frente a situaciones conflictivas y proporcionar herramientas nuevas a las Fuerzas del Orden Público con el fin de ayudar a gestionarlas de manera más eficaz. Estas tecnologías incluyen elementos, tales como porras, gas lacrimógeno, aerosoles irritantes, cañones de agua, dispositivos de electrochoque y pelotas de goma (bolas de goma). Todas estas tecnologías se han desarrollado para llenar el hueco entre los avisos pasivos y la necesidad de usar fuerza letal. Estas tecnologías se clasifican como Armas Menos Letales (LLWs).

15 La disponibilidad de las LLWs ha conducido al desarrollo de un marco conocido como Espectro de Intensificación de la Fuerza (en ocasiones denominado Uso Progresivo de la Fuerza) (*Force Continuum*) que se aplica a situaciones conflictivas que implican el riesgo de confrontación física, violencia, lesiones y muerte. Esta doctrina ampliamente aceptada fomenta una intensificación progresiva de la fuerza, por medio de la cual cualquier Agente de Policía que esté haciendo frente a una situación conflictiva intenta poner fin a esa situación con el mínimo uso de fuerza posible.
20 Esto beneficia al contrincante ofreciéndole el mayor número de oportunidades posible de desistir, antes de que el Agente se vea obligado a intensificar la fuerza usada hasta niveles peligrosos. Beneficia también a la Policía al mostrar, al público en general, un compromiso manifiesto de usar una fuerza mínima siempre que sea posible – lo cual tiene la ventaja consiguiente de ser legalmente defendible en caso de litigio posterior. Finalmente, el Espectro de Intensificación de la Fuerza es favorable políticamente ya que muestra claramente el compromiso de un gobierno
25 con el bienestar de sus ciudadanos logrando un equilibrio entre la necesidad de mantener la ley y el orden y los derechos humanos individuales. La Figura 1 muestra una representación del Espectro de Intensificación de la Fuerza – con un aviso (en este caso verbal) que precede al despliegue de opciones Menos Letales las cuales, a su vez, preceden a cualquier uso de fuerza letal.

30 El problema intrínseco de las tecnologías Menos Letales es que siguen constituyendo un peligro para sus objetivos (y, en ocasiones, para los usuarios y testigos). Ese peligro puede ser mucho menor que el riesgo de lesión importante o muerte planteado por las armas de fuego, aunque sigue siendo significativo. Por ello es que el término Arma no Letal ha perdido el beneplácito, y se ha extendido el término Arma Menos Letal. Si las Fuerzas Policiales no pueden garantizar que sus herramientas para Gestión de Conflictos no plantean riesgos, entonces no pueden describirlas de manera razonable como No Letales.

35 Las dos tecnologías usadas más comúnmente (en gran medida, debido a su escala, costes y practicidad) son los dispositivos de electrochoque y los aerosoles irritantes. Los dispositivos de electrochoque se conocen comúnmente como Tasers – nombre comercial utilizado por el fabricante dominante. Los aerosoles irritantes se presentan en varias formas, tales como o-clorobenciliden malonitrilo, CS, el cual se describe ampliamente como Gas Lacrimógeno, y cloroacetofenona, CN, el cual se conoce comúnmente con el nombre comercial Mace. Los dos son
40 irritantes; no obstante, han sido desbancados notablemente por la Oleoresina de Capsicum (OC) la cual se conoce más comúnmente como aerosol de pimienta. La OC se obtiene a partir de pimientos picantes del género Capsicum. Es un agente lacrimógeno con un efecto inflamatorio, y puede incapacitar al objetivo. Se ha convertido en el estándar industrial para aerosoles irritantes, ya que se cree que es menos tóxico, y manifiesta también una mayor consistencia de su efecto sobre los objetivos, incluyendo aquellos que están bajo la influencia de alcohol o drogas.

45 Aunque, sin duda, son opciones más moderadas que las armas de fuego, la seguridad de ambas tecnologías mencionadas ha sido cuestionada de forma regular, y las dos han estado relacionadas con incidentes que han dado como resultado lesiones y muertes. Amnistía Internacional implica los Tasers en la muerte bajo custodia de más de 300 personas en los Estados Unidos durante un periodo de siete años en su informe de 2008 “Less Than Lethal – The Use of Stun Weapons in US Law Enforcement”. Al mismo tiempo, un documento ampliamente citado en el *North Carolina Medical Journal*, volumen 60, n.º 5, de 1999, “Health Hazards of Pepper Spray”, plantea cuestiones importantes en relación con la seguridad de los aerosoles de pimienta – y cita al mismo tiempo incidentes en los que su uso puede haber contribuido a muertes.
50

Además, el uso indebido de tales herramientas ha traído una publicidad y una condena ampliamente extendidas: ejemplos recientes particularmente polémicos incluyen un hombre ciego al que la Policía de Reino Unido aplicó por error una electrodescarga en 2013, y el uso indiscriminado de aerosoles de pimienta sobre una manifestación pacífica de estudiantes en el campus de la Universidad de California en 2011.
55

Esta preocupación y crítica ilustran un hecho real para todas las tecnologías Menos Letales que están en uso actualmente – todas ellas constituyen un uso de fuerza sobre el objetivo – y, en cualquier uso de la fuerza,

independientemente de cómo se controle, existe un riesgo intrínseco.

El conocimiento de la existencia de riesgos resalta el hecho de que los Agentes de Policía padecen una escasez de opciones previas al uso de la fuerza en el Espectro de Intensificación de la Fuerza. Sufrir una descarga eléctrica parecería una opción mucho mejor que ser disparado, pero la aplicación de una descarga eléctrica o un aerosol de pimienta después de solamente un aviso verbal podría aparecer excesivo.

Por lo tanto, existe un hueco de competencia en este aspecto entre un aviso (verbal o visual) y el uso de la Fuerza – un hueco de competencia en el extremo más moderado del espectro – hueco que se podría llenar con una tecnología que proyecte un aviso enérgico aunque con un riesgo despreciable para el objetivo.

Descripción de la técnica relacionada

En los últimos años, la capacidad de proyectar un aviso de audio verbal se ha ampliado debido al desarrollo de los Dispositivos de Ráfagas Acústicas (AHDs). Diversas empresas han desarrollado AHDs que pueden generar niveles de sonido muy altos desde dispositivos relativamente compactos montados en vehículos. Estos dispositivos ofrecen la oportunidad de proyectar comunicaciones verbales a través de grandes distancias – cientos de metros o más – en función de las condiciones meteorológicas predominantes. Ofrecen también la capacidad de proyectar tonos de aviso de audio llamativos, similares a las sirenas de la policía. Podría decirse que dichos AHDs afrontan este hueco de competencia – al posibilitar un aviso proyectado –, aunque, en la práctica, estas tecnologías presentan un peligro de seguridad significativo y, por lo tanto, no pueden considerarse una opción libre de riesgo.

Una de las entidades comerciales principales en este sector es la LRAD Corporation de San Diego, California; conocida formalmente como la American Technology Corporation (ATC). Disponen de una cartera de patentes que describen cómo generar niveles muy altos de sonido a partir de matrices compactas, adaptadas en cuanto a fase, de transductores, realizados normalmente a partir de películas piezoeléctricas finas y acoplados por medio de mini-bocinas de adaptación de impedancia acústica. Una de las patentes centrales de su cartera es el documento US2004/0052387, de Norris y Croft III. Usando esta tecnología, han desarrollado productos, tales como el LRAD 1000X, del cual se especifica que produce un nivel máximo de presión sonora de 153 dB(A) a 1 m, y que es audible a 1.000 m en función de las condiciones meteorológicas y ambientales.

Otras empresas que ofrecen productos que aseguran funcionar a niveles similares usando una tecnología diferente incluyen Ultra Electronics de Columbia City, Indiana, que producen la gama Hyperspyke de AHDs; algunos de ellos incorporan tecnología protegida con patentes como el documento US7912234, de Curtis E. Graber, el cual describe una matriz de transductores posicionada en el foco de una antena parabólica la cual, a continuación, refleja su salida combinada en una dirección deseada. Su unidad HS24, que reclama para sí misma una salida máxima de 153 dB a 1 metro, con un alcance efectivo de 1.500 m, parece utilizar esta configuración.

Estas tecnologías son eficaces en la comunicación o señalización a larga distancia, y son mucho más compactas, móviles y prácticas que los sistemas convencionales de megafonía, pero presentan algunos inconvenientes significativos. Por ejemplo, dichos sistemas son típicamente bastante grandes, y deben montarse en vehículos y alimentarse.

No obstante, el inconveniente principal para su uso en la Gestión de Conflictos es que no son muy direccionales a las frecuencias de audio usadas para la comunicación verbal, lo cual, combinado con sus niveles de salida considerablemente altos, las hace extremadamente peligrosas a poca distancia del objetivo, de los testigos y los usuarios.

El nivel de sonido generado en la salida máxima para las unidades citadas, 153 dB con ponderación A(A), es más de cuatro veces mayor (en presión) que el límite instantáneo máximo de 140 dB con ponderación C(C), especificado por la legislación de Salud y Seguridad en Estados Unidos y Europa. Esto significa que cualquiera que experimente la fuente de sonido a corta distancia tiene la posibilidad de padecer daño auditivo permanente inmediato. Incluso a distancia, los niveles de sonido pueden ser tan altos que el tiempo de exposición diario seguro es de fracciones de un segundo. Por ejemplo, una salida de 153 dB (A) a 1 metro equivaldría a un nivel sonoro de aproximadamente 133 dB (A) a 10 m, el cual presenta un tiempo de exposición diario seguro de 0,7 segundos en la legislación de la Unión Europea. Esto requiere que el usuario lleve protección para los oídos, evitando una comunicación normal, y pone a los testigos – incluso aquellos que están detrás del dispositivo – en un serio riesgo de daño en un espacio de tiempo muy corto.

Otro de los problemas es que no existen medios para controlar o registrar la dosificación experimentada por el objetivo. Esto significa que no hay forma de demostrar que los niveles sonoros experimentados por el objetivo u otra persona se sitúan dentro de límites seguros. Esta posibilidad facilita que los usuarios de dichos dispositivos sean llevados a litigio por exponer objetivos, operadores y testigos por igual, a niveles peligrosos de sonido.

Esto significa que los AHDs, aunque son medios eficaces de comunicar un mensaje verbal, resultan tanto indiscriminados como peligrosos a corta distancia, con un potencial de provocar lesiones auditivas permanentes. Así, en la práctica, son tan peligrosos como otras LLWs, y, por tanto, no puede decirse que ofrezcan una opción puente más moderada en el Espectro de Intensificación de la Fuerza.

Tanto LRAD como Ultra Electronics ofrecen sistemas portátiles más pequeños, alimentados por batería – el LRAD 100X y el HS Micro respectivamente. Los mismos están diseñados para ser portátiles en el sentido de que pueden ser llevados de un lugar a otro; sin embargo, no en el sentido de que puedan ser llevados y usados como herramientas móviles. Estas unidades son significativamente menos potentes que sus equivalentes de mayor tamaño, con salidas máximas de 137 dB (A) y 140 dB (A), respectivamente, y alcances efectivos de 100 s de metros.

Sin embargo, siguen adoleciendo de la misma falta de control de discriminación y exposición que sus equivalentes de mayor tamaño, y su uso es todavía potencialmente peligroso. Por ejemplo, a una distancia de 4 m, el objetivo recibiría aproximadamente 126 dB (A) del HS Micro a potencia total. El tiempo de exposición diario seguro en este nivel con las leyes de la Unión Europea es solamente 3,6 s. Por lo tanto, es fácil imaginar cómo los objetivos, usuarios y testigos podrían verse expuestos rápidamente a niveles sonoros que superan el límite diario seguro – y sin su control o sin su monitorización resultaría difícil demostrar lo contrario.

La LRAD Corporation dispone también de propiedad intelectual relacionada referente a un esquema para generar ultrasonidos de elevada amplitud, altamente direccionales, los cuales, a continuación, se pueden percibir como sonido de nivel de audio en un objetivo debido a efectos no lineales locales del aire, siendo un ejemplo de patente de esto el documento US2003/0215103, de Norris y Croft III. Esta se utiliza en una gama de productos con el nombre comercial de Soundsabre, y ofrece el potencial de que son herramientas de comunicación altamente selectivas y discriminatorias. No obstante, el alcance está limitado debido a la elevada absorción de ultrasonidos en el aire y críticas externas sugieren que la calidad de la reproducción del audio en el objetivo es insuficiente para una comunicación verbal inteligible. En el momento de redactar la presente, parece que estos dispositivos no están disponibles comercialmente.

Se han planteado otros esquemas para el uso de tecnologías acústicas portátiles en situaciones de Gestión de Conflictos; por ejemplo, el documento US3557899, de Lucas y Porter, describe un sistema acústico que usa antenas parabólicas de mano para proyectar frecuencias de audio entre 8 y 13 kHz y que asegura que puede alterar las frecuencias estimuladoras del cerebro humano y animal induciendo rechazo – no obstante, no se ofrece ninguna explicación en cuanto al motivo por el que estas frecuencias tendrían ese efecto. Alternativamente, el documento US5973999, de Naff y Shea, describe un dispositivo de mano que utiliza una matriz de fuentes de compresión explosiva adaptadas en cuanto a fase, que crea una onda expansiva no lineal la cual se propaga durante una distancia útil, y podría usarse como LLW. Este dispositivo tiene el potencial de provocar daños auditivos instantáneos en cualquier objetivo, debido a los niveles de presión notablemente elevados que se reivindican. Ninguna de estas tecnologías propuestas parece haberse comercializado. Aunque en el documento US6574344 se da a conocer otro dispositivo, concretamente un sistema de altavoz de bocina direccional, el mismo también adolece de inconvenientes.

Sumario de la invención

La invención se expone en las reivindicaciones.

En líneas generales, se presenta un diseño para un dispositivo acústico portátil que proyecta una forma de onda acústica específica hacia un objetivo creando un haz estrecho de sonido que es altamente selectivo, minimizando la exposición para usuarios y testigos, al mismo tiempo que permitiendo la aplicación de una dosificación controlada de sonido al objetivo. Este cono estrecho de sonido actúa como un claro aviso de atención Policial a distancia, y, a medida que el objetivo se acerca, la intensidad aumenta creando un impedimento disuasorio que se intensifica de forma natural.

Se crea una forma de onda acústica única usando fundamentos del campo de la sico-acústica y estudios empíricos para producir un tono acústico que tiene un impacto máximo sobre el objetivo. Usando fundamentos fisiológicos y neurológicos del análisis de la audición humana, es posible crear un ruido que parece mucho más sonoro y penetrante de lo que realmente es. Esto significa que es posible hacer funcionar el dispositivo a niveles de presión sonora relativamente bajos, y, sin embargo, seguir logrando la impresión de gran intensidad en el objetivo. Trabajando a niveles sonoros relativamente bajos, resulta posible garantizar que el dispositivo funciona dentro de la legislación existente de salud y seguridad sobre la exposición al ruido – por ejemplo, la Directiva 2003/10/EC del Parlamento Europeo.

El dispositivo está diseñado en torno a esta forma de onda acústica específica. No está diseñado para proyectar comunicación verbal. Por lo tanto, es posible diseñar un sistema que produce un haz muy estrecho de sonido cuando se proyecta este tono acústico específico.

La tecnología utiliza un transductor comercial que se acopla a una bocina de adaptación de impedancia cuyo diseño innovador genera este haz estrecho de sonido. Esta bocina está diseñada para encontrar un equilibrio óptimo entre la provisión de una salida acústica altamente selectiva y unas dimensiones suficientemente pequeñas para garantizar que la misma es totalmente portátil y puede ser llevada de manera cómoda por el usuario durante un periodo de tiempo significativo. Esto se logra seleccionando cuidadosamente las dimensiones y el perfil tanto de la bocina como de su corrector de fase (*phase plug*) central, así como la utilización de espuma acústicamente

absorbente tanto interna como externamente.

Se observa que la simple creación de un haz central estrecho es insuficiente para lograr en la práctica la selectividad del objetivo. Se determina que, para lograr la selectividad deseada, también es necesario eliminar los lóbulos laterales perceptibles, lograr un ritmo muy alto de caída del nivel de presión sonora en los bordes del haz central y garantizar niveles mínimos de sonido fuera del eje.

Esto da como resultado una salida acústica en la que el usuario y los testigos experimentan menos de un 1% del nivel de presión sonora (SPL) experimentado por el objetivo a una distancia equivalente. Un nivel sonoro que permite una conversación normal entre el usuario y sus colegas, elimina la necesidad de protección auditiva del usuario, y se sitúa dentro de los niveles seguros de exposición diaria durante más de una hora de uso continuo.

El dispositivo incorpora también un telémetro láser comercialmente disponible. Antes de que se dispare la salida acústica, el telémetro láser mide la distancia al objetivo. Esta información se compara con una tabla de consulta de SPL versus distancia, y la salida del dispositivo se limita para garantizar que el SPL en el objetivo no supera nunca un valor preestablecido. Esto tiene lugar antes de que se genere la salida acústica, pero es muy rápido y, por lo tanto, imperceptible para el usuario que dispara el dispositivo. Esta función limitadora de seguridad garantiza que un objetivo no se vea expuesto nunca a niveles sonoros peligrosos, incluso a bocajarro, garantizando el cumplimiento de la ley sobre salud y seguridad.

Apuntar un dispositivo acústico direccional con exactitud es difícil ya que el usuario no puede precisar fácilmente su dirección desde detrás. Este dispositivo incorpora una cámara de vídeo que está alineada con el centro de la salida acústica. La señal de vídeo suministrada desde esta cámara se envía a una pantalla de panel plano y alto brillo montada en el dispositivo en una posición cómoda para que la vea el usuario. Además, sobre el vídeo se superponen retículos, permitiendo que el usuario apunte de manera sencilla y precisa el dispositivo al objetivo deseado. En la pantalla se aporta otro tipo de información para ayudar al usuario a utilizar el dispositivo de manera eficaz.

La señal de vídeo suministrada se registra también siempre que el dispositivo se dispara; se incorpora una memoria intermedia de vídeo tanto antes como después de que se active la salida de audio para aportar información contextual. En el dispositivo se incorpora también una unidad del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). En combinación con los datos del telémetro láser, esto aporta un registro probatorio muy sólido para justificar el uso del dispositivo, así como demostrar que cumple con la legislación existente sobre salud y seguridad. La grabación de vídeo, la distancia, el nivel sonoro en el objetivo, el tiempo de exposición, la localización GPS, la hora y la fecha se graban, todos ellos, en unos medios de almacenamiento de memoria extraíble dentro del dispositivo siempre que el mismo se activa; se proporciona así un registro exhaustivo de utilización, que puede actuar en calidad tanto de registro de auditoría interna como de evidencia en cualquier investigación subsiguiente.

Al dispositivo se le ha dado el nombre comercial Acoustic – Warning Signal Projector™ (Proyector de Señales Acústicas de Aviso) o A-WaSP™. Debido a sus niveles extremadamente altos de selectividad, y a su capacidad de funcionar eficazmente como aviso proyectado aunque permaneciendo dentro de los límites seguros de exposición diaria para el objetivo, el usuario y los testigos, el dispositivo encaja lentamente dentro del hueco de competencia citado entre un aviso pasivo y LLWs más peligrosas en el Espectro de Intensificación de la Fuerza – tal como se muestra en la Figura 2.

Breve descripción de los dibujos

Los anteriores objetivos descritos en la presente se pueden entender mejor en referencia a los siguientes dibujos, que tienen fines únicamente ejemplificativos.

La Figura 1 muestra una representación gráfica del Espectro de Intensificación de la Fuerza

la Figura 2 muestra la posición prevista del A-WaSP™ en el Espectro de Intensificación de la Fuerza

la Figura 3 muestra una representación de curvas de sonoridad con respecto a un tono de referencia de onda sinusoidal de 1 kHz, con diferentes niveles de presión sonora

la Figura 4 muestra una gráfica que compara la intensidad relativa de una señal acústica modulada en frecuencia a diversas velocidades de modulación

la Figura 5 muestra una gráfica que compara la intensidad relativa de una señal acústica modulada en frecuencia, según la dirección de modulación

la Figura 6 muestra una gráfica de frecuencias de señales acústicas superpuestas que varían con el tiempo

la Figura 7 muestra las impresiones auditivas relativas de consonancia y disonancia de dos ondas sinusoidales superpuestas con separaciones de frecuencia variables definidas por el ancho de banda crítico

la Figura 8 muestra la disonancia relativa de dos ondas sinusoidales superpuestas en función del ancho de banda

crítico, en donde la primera onda sinusoidal está fijada en 3.500 Hz

la Figura 9 muestra una gráfica de frecuencias de señales acústicas superpuestas que varían con el tiempo

la Figura 10 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -24 dB, comparando la directividad de bocinas exponenciales, parabólicas y cónicas

5 la Figura 11 muestra una sección transversal dimensionada de la bocina cónica optimizada

la Figura 12 muestra un perfil polar de 360 grados, de 0 a -24 dB, que compara la directividad del dispositivo sin y con un corrector de fase adecuado

la Figura 13 muestra una sección transversal dimensionada del corrector de fase optimizado y de su posición con respecto a la bocina principal

10 la Figura 14 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -48 dB, que compara la directividad y las emisiones fuera de eje provenientes del dispositivo, con y sin diferentes anillos de espuma acústica en torno a la apertura de salida de la bocina

la Figura 15 muestra una sección transversal dimensionada del anillo de espuma optimizado y de su posición con respecto a la bocina principal

15 la Figura 16 muestra un perfil polar de 180 grados, desde 0 a -24 dB, que resalta la presencia de lóbulos fuera del eje a 45 grados desde el cono de sonido central en una condición no optimizada

la Figura 17 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -48 dB, que compara la directividad y las emisiones fuera de eje provenientes del dispositivo, con y sin un anillo de espuma acústica situado en torno al corrector de fase

20 la Figura 18 muestra una sección transversal dimensionada del anillo de espuma del corrector de fase optimizado y de su posición con respecto al corrector de fase

la Figura 19 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -48 dB, que compara la directividad y las emisiones fuera de eje provenientes del dispositivo, con y sin una envoltura de género optimizada para el anillo de espuma en torno a la apertura

25 la Figura 20 muestra una representación de la directividad para el dispositivo optimizado sobre el intervalo de frecuencias de 500 a 10.000 Hz en una escala de 0 a -25 dB, con un análisis polar de -180 a 180 grados; se resalta el rendimiento en el intervalo de frecuencias de interés de 3.500 a 4.000 Hz

la Figura 21 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -24 dB, que muestra la directividad del haz central del dispositivo optimizado

30 la Figura 22 muestra un perfil polar de 360 grados, desde 0 a -48 dB, que muestra la directividad del dispositivo optimizado incluyendo emisiones fuera del eje

la Figura 23 muestra un esquema de la sección transversal del dispositivo optimizado, que muestra la posición relativa de componentes clave

la Figura 24 muestra un dibujo CAD de un dispositivo de prototipo real

35 la Figura 25 muestra una gráfica logarítmica que muestra el tiempo de exposición diario permisible en segundos según el nivel de presión sonora, para la legislación de la Unión Europea y las dos agencias de los Estados Unidos responsables de la salud y la seguridad en el trabajo

la Figura 26 muestra el nivel de presión sonora producido por el dispositivo a distancias de 1 a 120 m, más el efecto de la función limitadora de seguridad en el control del nivel máximo de presión sonora a corta distancia

40 la Figura 27 muestra una gráfica que ilustra la señal de vídeo alimentada y la superposición que puede observar el usuario del dispositivo en la pantalla de panel plano integral, para ayudarle a apuntar y usar de manera eficaz el dispositivo

la Figura 28 es una representación esquemática de cómo el dispositivo crea y almacena un registro probatorio de su uso

Descripción detallada de la realización preferida

En líneas generales se presenta un diseño para un dispositivo acústico portátil que proyecta una forma de onda acústica específica hacia un objetivo, creando un haz estrecho de sonido que es altamente selectivo, minimizando la exposición para usuarios y testigos, al mismo tiempo que posibilitando la aplicación de una dosificación controlada de sonido al objetivo. Este estrecho cono de sonido actúa como un claro aviso de atención policial a distancia, y, a medida que el objetivo se acerca, la intensidad aumenta creando un impedimento disuasorio que se intensifica de forma natural. La forma de onda acústica se especifica usando fundamentos del campo de la sico-acústica combinada con estudios humanos empíricos. El diseño del dispositivo está personalizado para esta forma de onda, lo cual permite lograr un grado muy alto de directividad. No está destinado a usarse como herramienta para la comunicación de mensajes verbales. Esta forma de onda logra un impacto y una intensidad máximos en el objetivo aunque usando un nivel de presión sonora relativamente bajo. Esto significa que los niveles de exposición se pueden controlar para garantizar que los mismos se sitúan dentro de la legislación existente de salud y seguridad. Se incluye un telémetro láser que mide la distancia al objetivo, y limita automáticamente el nivel de sonido que se experimenta, a un nivel predeterminado. Se usa una cámara integrada para mostrar una señal alimentada en vivo al usuario, por medio de una pantalla integral de panel plano con el fin de ayudar a apuntar con el dispositivo. Esta grabación de video se registra siempre que se activa el dispositivo, junto con el nivel de sonido según determine el telémetro láser, la duración de la exposición, la hora, la fecha y las coordenadas GPS. Esto proporciona un registro que puede mostrar claramente el contexto de uso y el cumplimiento con las leyes sobre salud y seguridad. La intención es crear una herramienta completa para ofrecer a las agencias Policiales y de Orden Público una nueva opción en el Espectro de Intensificación de la Fuerza, que llene el hueco entre un aviso pasivo y un arma menos letal.

La obtención de una forma de onda acústica optimizada se realiza a partir de un análisis de fundamentos sico-acústicos en combinación con pruebas realizadas por voluntarios y validadas con las mismas. El objetivo de esta señal acústica es lograr el impacto y la intensidad máximos posibles en el objetivo, aunque con el menor SPL requerido para generar este efecto.

La Figura 3 muestra una representación del famoso conjunto de curvas de sonoridad de Fletcher-Munson obtenido por primera vez en 1933 y perfeccionado por Robinson y Dadson en la década de los 50. Muestra la sensibilidad del oído humano sobre una amplia gama de frecuencias con respecto a un tono de referencia de onda sinusoidal de 1 kHz (en la unidad fonios que no es del SI). Las curvas muestran qué sonoridad debe tener un tono de una frecuencia dada en términos de nivel de presión sonora medida para ser percibido como si poseyera la misma sonoridad que el tono de 1 kHz para un SLP dado. Se obtienen diferentes curvas con diferentes SPLs con respecto al tono de 1 kHz que se aumenta en incrementos de 10 dB desde el comienzo de la audición en 0 dB hasta sonidos muy fuertes en 120 dB. Las curvas de sonoridad muestran cómo la audición humana media varía de manera no lineal tanto con la frecuencia como con el SPL.

Estas curvas muestran claramente que la audición humana media tiene una agudeza de pico entre 3 y 5 kHz y, más específicamente, entre 3,5 y 4 kHz. Esto se corresponde con la primera resonancia del canal auditivo cuando una onda estacionaria puede desarrollarse dentro del propio canal del oído. Las curvas muestran que el oído humano puede percibir, en esta región, sonido como de hasta 15 dB más alto que a 1 kHz. Por lo tanto, para crear la impresión máxima de intensidad con el SPL posible más bajo, la forma de onda se debe basar en esta región de agudeza auditiva de pico.

La fisiología humana varía y, por tanto, la frecuencia precisa que logra la resonancia varía según el sujeto, con lo cual, para garantizar que se logra la resonancia, la señal acústica debe incluir una modulación en frecuencia de 3,5 a 4 kHz. Por tanto, la realización preferida es una onda sinusoidal, con amplitud constante, que se modula en frecuencia de 3,5 a 4 kHz durante un periodo de tiempo. Las pruebas con voluntarios respaldan esto como el intervalo óptimo para lograr la máxima intensidad para un SPL dado.

Esto es similar al efecto de una sirena de la Policía aunque durante un intervalo de frecuencias mucho más corto. Las sirenas de los servicios de emergencias se pueden modular desde frecuencias tan bajas como 0,5 kHz hasta 4 kHz, debido a que los sonidos de frecuencias menores se pueden oír a una mayor distancia por la mayor difracción y la menor absorción de tonos audibles de longitudes de onda más grandes. Esto significa que los vehículos que se están aproximando se pueden oír desde más lejos pero que la intensidad aumenta a medida que se aproximan. Esto funciona bien para un aviso acústico omnidireccional, aunque la realización propuesta está destinada a lo contrario, es decir un aviso direccional selectivo, por lo que el intervalo propuesto es el más apropiado.

La velocidad de modulación de 3,5 a 4 kHz tiene un efecto significativo sobre la intensidad percibida del sonido. La Figura 4 muestra los resultados de pruebas empíricas para un intervalo de tiempos de modulación de 0,05 a 0,5 segundos con un SPL constante, durante una serie de segundos. Se observa que la percepción de sonoridad y la percepción de intensidad en términos de impacto varían de manera independiente con la velocidad de modulación. La línea gris de trazos indica sonoridad relativa según el tiempo de modulación. La línea negra indica impacto relativo según el tiempo de modulación.

La sonoridad, en este caso, es simplemente una determinación realizada por el sujeto bajo prueba, en relación con qué velocidad de modulación tiene el mayor volumen percibido con respecto a las otras, para cualquier proporción de la exposición al sonido. Por comparación, el impacto es una determinación subjetiva de cómo de enérgico es el tono de la señal durante el espacio completo que dura la exposición al sonido.

5 Se observa que la sonoridad relativa aumenta a un máximo con un tiempo de modulación más largo. Se cree que esto es debido a que una menor velocidad de modulación significa que el punto de resonancia de pico en el canal auditivo dura más. No obstante, el impacto es menor que con una velocidad de modulación mayor. Esto es debido a que solamente una pequeña parte del tiempo de modulación se encuentra en o cerca del punto de resonancia. Así,
10 a medida que la frecuencia realiza la modulación, la sonoridad alcanza un pico pero ese pico es breve con respecto al resto del ciclo de modulación.

Por comparación, un tiempo de modulación en frecuencia menor hace que aumente el impacto. Se cree que esto es debido a que, para un tiempo de exposición dado, la frecuencia pasa a través del punto de resonancia más frecuentemente, por ejemplo, un tiempo de modulación en frecuencia de 0,2 s (una velocidad de 5 Hz) se sitúa en resonancia el doble de veces que un tiempo de modulación en frecuencia de 0,4 s (una velocidad de 2,5 Hz) durante
15 el mismo periodo de tiempo. Una resonancia mayor se corresponde con un impacto mayor. Los sujetos informan de una sensación como si tuvieran un “zumbido” en su cabeza cuando la velocidad de modulación se optimiza, lo cual indica una resonancia máxima del canal auditivo.

No obstante, si el tiempo de modulación es demasiado corto, como 0,05 s (una velocidad de 20 Hz), tanto el impacto percibido como la sonoridad disminuyen. Se cree que esto es debido a que se dispone de un tiempo insuficiente
20 para que se desarrolle una onda estacionaria y que la misma sea percibida por el oído interno.

Por lo tanto, debe seleccionarse una velocidad de modulación que maximice tanto el impacto relativo como la sonoridad para lograr una intensidad máxima correspondiente. Esto se muestra en la figura 4 como un anillo de trazos. Por lo tanto, la realización preferida de la forma de onda es una onda sinusoidal que se modula repetidamente de una frecuencia de 3,5 a 4 kHz durante un periodo de tiempo de 0,2 s (velocidad de modulación de
25 5 Hz). Se observa que la modulación de frecuencia óptima es lineal con el tiempo, aunque también pueden resultar adecuadas otras modulaciones no lineales.

La Figura 5 muestra pruebas efectuadas sobre el efecto de la dirección de modulación en la intensidad de la señal acústica para sujetos humanos, usando la anterior realización preferida con un SPL constante. Tal como anteriormente, se observan que el impacto y la sonoridad se pueden separar por el efecto. La línea de rayas y
30 puntos se corresponde con el impacto relativo, la línea continua gris se corresponde con la sonoridad relativa. Se llevaron a cabo tres pruebas; la primera en la que la modulación en frecuencia va de un valor bajo a un valor alto, 3.500 a 4.000 Hz, se describe como “creciente”; la segunda en la cual la modulación en frecuencia va de un valor alto a un valor bajo, 4.000 a 3.500 Hz, se describe como “decreciente”; y la tercera en la cual la modulación en frecuencia va de un valor bajo a un valor alto, y a continuación vuelve a un valor bajo, de 3.500 a 4.000 y a 3.500 Hz,
35 se describe como “oscilante”. En todos los casos, la velocidad de modulación es 5 Hz (tiempo de modulación de 0,2 s) excepto para “oscilante” donde es 2,5 Hz para garantizar que la velocidad de modulación según el cambio de frecuencia es constante. Los tres tonos repiten su modulación durante varios segundos en las pruebas – al mismo tiempo, la dirección de modulación permanece constante.

Se observa que una dirección de modulación única presenta la mayor sensación de sonoridad, con independencia de la dirección, mientras que el tono oscilante presenta la más reducida. Se observa también que el tono oscilante presenta la sensación mínima de impacto, mientras que la dirección de modulación creciente presenta un impacto mayor que el correspondiente de la decreciente.

Se especula que el impacto del tono oscilante es menor que los otros dos ya que no se produce ningún cambio repentino de frecuencia, mientras que, por ejemplo, el tono creciente presenta un salto instantáneo de 4.000 Hz a 3.500 Hz a medida que se repite el ciclo de modulación en frecuencia. Este cambio repentino de frecuencia se puede percibir más “molesto” en el oído que el cambio progresivo de la modulación oscilante. Queda por clarificar el motivo por el que la modulación creciente tiene un mayor impacto que la decreciente.

Sin embargo, la modulación creciente se identifica como la que posee la mayor intensidad (según se muestra con la flecha en la figura 5) por lo que la realización preferida de la forma de onda es una onda sinusoidal que se modula repetidamente desde una frecuencia de 3,5 a 4 kHz durante un periodo de tiempo de 0,2 s (velocidad de modulación de 5 Hz) en una única dirección de frecuencia creciente de 3.500 Hz a 4.000 Hz. Esto se muestra gráficamente en la figura 6 la cual muestra una representación de la frecuencia con respecto al tiempo, y muestra la modulación repetitiva por frecuencia durante un periodo de tiempo de 1 segundo. La línea de puntos muestra esta realización preferida.

55 Una frecuencia de onda sinusoidal modulada sobre la región de sensibilidad auditiva humana de pico con características de modulación optimizadas es muy penetrante e intensa en relación con cualquier otro sonido ambiente. No obstante, es posible aumentar adicionalmente su intensidad penetrante, molesta, invirtiendo el concepto sico-acústico de consonancia.

Existe un amplio consenso por el que el sistema auditivo humano lleva a cabo su análisis de frecuencia del sonido separando diferentes componentes de frecuencia en vibraciones, en diferentes ubicaciones sobre la membrana Basilar dentro del oído interno. Así, puede percibir instantáneamente sonidos complejos descomponiéndolos en diferentes elementos de frecuencia, lo cual permite que los humanos diferencien sonidos repetitivos y no repetitivos extremadamente complejos, en términos del timbre y la altura tonal.

Un concepto clave en la cuantificación de este efecto es el Ancho de Banda Crítico (CB) el cual se define como el punto en el cual dos ondas sinusoidales tienen una separación de frecuencia suficiente para ser percibidas como dos tonos diferenciados por oposición a un único tono complejo. En 1990, Glasberg y Moore propusieron una ecuación para predecir este umbral para dos tonos cualesquiera dentro del intervalo auditivo humano principal (100 Hz a 10.000 Hz). Esto define el análisis de frecuencia logrado por la membrana Basilar en términos de una secuencia de filtros pasa-banda con una respuesta en frecuencia rectangular, ideal. Se la denomina Ancho de Banda Rectangular Equivalente o ERB, y la ecuación se muestra a continuación.

$$ERB = 24.7 \left[(4.37 f_c) + 1 \right]$$

Donde ERB = ancho de banda rectangular equivalente en Hz; y f_c = la frecuencia central del filtro en kHz.

Cuando dos ondas sinusoidales se oyen juntas dentro del CB (o ERB ya que, en este caso, los dos son sinónimos), la diferencia entre sus frecuencias influye en cómo de agradable – consonante –, o desagradable – disonante –, es el sonido total para el oyente. La Figura 7 es una representación de los resultados de un experimento llevado a cabo por Plomp y Levelt en 1965, donde dos ondas sinusoidales de tono puro y de amplitud constante se reproducen juntas, y su separación en frecuencia variaba en función del ancho de banda crítico. Cuando las dos frecuencias son iguales, se determina que las mismas son perfectamente consonantes. Cuando la separación en frecuencia es superior o igual a un ancho de banda crítico, se determina también que las mismas son consonantes. Para diferencias en frecuencia entre el 5 y el 50% del ancho de banda crítico, se considera que el intervalo es predominantemente disonante. Se considera que la disonancia máxima se produce con una diferencia en frecuencia de un cuarto del ancho de banda crítico.

Utilizando este principio de disonancia, resulta posible aumentar la molestia percibida de la forma de onda acústica, incrementando su intensidad sin necesidad de aumentar el SPL. La Figura 8 muestra pruebas empíricas de este planteamiento en donde una onda sinusoidal de amplitud equivalente se superpone sobre una onda sinusoidal de 3.500 Hz con varias separaciones en frecuencia en función del ancho de banda crítico según se calcula usando la ecuación de Glasberg-Moore. La separación en frecuencia para la disonancia máxima se corresponde exactamente con los hallazgos de Plomp-Levelt – situándose a $\frac{1}{4}$ del ancho de banda crítico de la onda sinusoidal principal.

Esto se explica de manera efectiva cuando se añade una modulación en frecuencia a las dos ondas sinusoidales, y se observa que la señal acústica resultante es significativamente más desagradable, y, por lo tanto, intensa, que la onda sinusoidal principal sola. La directividad del dispositivo se incrementa con la frecuencia, por lo que la realización óptima se corresponde con que la onda sinusoidal superpuesta, adicional, esté un cuarto del ancho de banda crítico por encima de la onda sinusoidal principal, y con que la separación permanezca constante durante toda la modulación.

Por lo tanto, la realización preferida de la forma de onda es una onda sinusoidal que se modula repetidamente desde una frecuencia de 3.500 a 4.000 Hz durante un periodo de tiempo de 0,2 s (velocidad de modulación de 5 Hz) en una única dirección de frecuencia creciente de 3.500 Hz a 4.000 Hz, con una onda sinusoidal superpuesta correspondiente de la misma amplitud que se modula desde una frecuencia de 3.600,6 Hz a 4.114,1 Hz con características de modulación por otro lado idénticas.

Esto se muestra gráficamente en la figura 6, según la cual la línea de puntos es la onda sinusoidal central que se modula de 3.500 a 4.000 Hz cada 0,2 s, y la línea de trazos es la onda sinusoidal superpuesta correspondiente que se modula de 3.600,6 Hz a 4.114,1 Hz.

Pruebas empíricas muestran que se prefiere una realización adicional, final, para la forma de onda acústica. La misma consiste en dos ondas sinusoidales de la misma amplitud que se modulan en direcciones opuestas, es decir, la primera onda sinusoidal se modula de 3.500 a 4.000 Hz en 0,2 s mientras que la segunda onda sinusoidal se modula de 4.000 a 3.500 Hz en 0,2 s, repitiéndose este ciclo durante el espacio de tiempo deseado. Se cree que esto presenta una mayor intensidad debido a que la primera resonancia del canal auditivo se estimula dos veces en cada ciclo. Además, las ondas sinusoidales con modulación cruzada consumen una proporción significativa del ciclo con sus frecuencias separadas entre sí una fracción disonante de su CB; por lo tanto, esta forma de onda sigue siendo considerablemente disonante.

Esto se muestra gráficamente en la figura 9 en una representación de la frecuencia con respecto al tiempo, según la cual la línea de puntos es la primera onda sinusoidal que se modula de 3.500 a 4.000 Hz cada 0,2 s, y la línea gris de trazos es la segunda onda sinusoidal que se modula en la dirección opuesta, de 4.000 Hz a 3.500 Hz.

Se observa que experimentos con tres o más ondas sinusoidales en la máxima disonancia son ineficaces en la medida en la que la intensidad se reduce. También se observa que es ineficaz el planteamiento de añadir una o más ondas sinusoidales modulantes o constantes a frecuencias bastante por encima del ancho de banda crítico, para incrementar la estimulación de la membrana basilar por toda su longitud, incrementando así la percepción de sonoridad. En la práctica, la claridad de la señal principal se reduce por la adición de estos sobretonos y se reduce la intensidad total.

Un planteamiento alternativo consiste en añadir ruido rosa a ERBs por encima del CB principal para incrementar la estimulación de la membrana Basilar con el fin de aumentar la sensación de sonoridad sin afectar al SPL, pero los resultados son todavía ambiguos en cuanto a la percepción de la intensidad.

En una de las realizaciones, las formas de onda optimizadas que se muestran en las figuras 6 y 9 también se podrían utilizar en aplicaciones más allá del uso del A-WaSP™. Una aplicación alternativa para las mismas, si se emiten a través de equipos convencionales o existentes de generación de sonido con una salida de baja directividad u omnidireccional, sería la de repeler asaltantes o intrusos de una zona dada al crear una región de máxima intensidad sonora. Esto se podría utilizar para proteger vehículos motorizados, embarcaciones, edificios y estructuras temporales.

Con la forma de onda óptima establecida, a continuación el diseño mecánico del dispositivo se optimiza para esa forma de onda con el fin de maximizar la direccionalidad de la salida acústica con vistas a posibilitar una exposición controlada al sonido en el objetivo y minimizar la exposición para los testigos y el usuario. Se utiliza un software privativo de Análisis por Elementos Finitos en combinación con pruebas empíricas en una cámara anecoica utilizando una serie de pruebas con software acústico CLIO, una plataforma giratoria y micrófonos calibrados según las normas del Laboratorio Nacional de Física. Esto conduce a una optimización empíricamente cualificada del diseño mecánico del dispositivo.

Se utiliza un transductor disponible comercialmente, en este caso, un excitador de compresión Radian 745 NEO PB con un diámetro de la garganta de salida de 1,4". Esta unidad representa un equilibrio óptimo entre masa y rendimiento en el intervalo de frecuencias pertinente. El transductor se conecta a una bocina divergente, que es el método más eficiente conocido para el acoplamiento de energía de una fuente acústica al entorno ambiental. Funciona por medio de una adaptación progresiva de la impedancia acústica. Los excitadores de compresión con cargas de bocina se han reconocido ampliamente como los sistemas más eficientes para convertir energía eléctrica en energía acústica en la banda audible humana. Este fenómeno se describe en trabajos tan influyentes como *Acoustical Engineering*, de Harry F. Olsen (1957). Así, esto representa el planteamiento óptimo para crear un dispositivo acústico de alta eficiencia y alta salida, que sea al mismo tiempo portátil y alimentado por batería.

La estructura de la bocina controla la direccionalidad de la salida acústica y, por lo tanto, su diseño es crítico para el rendimiento del dispositivo propuesto. La figura 10 muestra un perfil polar de 360 grados de la salida para tres perfiles de bocina diferentes, todos ellos con una frecuencia de salida de 4 kHz, y normalizados a 0 dB sobre un intervalo de 0 a -24 dB para permitir una comparación directa. La línea gris continua 1001 es la salida de una bocina exponencial, la línea de trazos 1002 es la salida de una bocina parabólica y la línea continua negra 1003 es la salida de una bocina cónica. Todas tienen dimensiones similares y se identifican como posibles candidatos para la forma de la bocina central del dispositivo. Puede observarse que la bocina exponencial 1001 produce una salida asimétrica con una amplia directividad y, por lo tanto, no es adecuada. El perfil de bocina parabólica 1002 produce una salida simétrica con un haz central mucho más estrecho, aunque se observa que el óptimo es el perfil de bocina cónica 1003 el cual produce el haz central más estrecho y, por lo tanto, la salida más direccional.

La figura 11 muestra un perfil de sección transversal de la bocina cónica de la cual se ha observado que es óptima para el dispositivo propuesto. Se podría fabricar a partir de cualquier material adecuado; metal; cerámica, plástico piedra, fibra de carbono, o espuma endurecida; no obstante, se observa que la realización preferida es o bien un plástico moldeado por inyección, tal como Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) o Polipropileno (PP), o bien una espuma moldeada por inyección con reacción, tal como Poliuretano (PU). Estos materiales ofrecen un equilibrio óptimo entre una baja densidad y una alta resistencia, para posibilitar un dispositivo de baja masa aunque robusto. La boca de la bocina 1101 tendría un diámetro de apertura diáfana de entre 100 y 1.000 mm, o más preferentemente 311 mm. La garganta de la bocina 1102 tendría un diámetro de apertura diáfana de entre 10 y 100 mm, o, más preferentemente, 37 mm. La longitud de la bocina 1103 estaría entre 200 mm y 1.500 mm, o, más preferentemente, 676 mm.

Otra de las adiciones comunes a cualquier excitador de compresión con carga de bocina es un corrector de fase. Este es un componente que se asienta dentro de los límites de la propia bocina. Actúa como guía de ondas para controlar mejor la onda sonora que se propaga, desde el transductor, a medida que pasa a través de la bocina de adaptación de impedancia. Esta guía de ondas tiene dos funciones principales: la primera es evitar una interferencia destructiva localizada cerca del dispositivo por componentes de onda acústica desviados espacialmente que se puedan recombinar fuera de fase. La segunda es controlar mejor la directividad de la salida acústica. Esta técnica es ampliamente conocida para sistemas de audio diseñados para una salida de banda ancha en la reproducción de música y voz, aunque la dimensionalidad de un corrector de fase para aumentar al máximo la direccionalidad para un dispositivo que emite la forma de onda especificada de banda estrecha es novedosa.

La figura 12 muestra un perfil polar de 360 grados, de la salida del dispositivo con y sin un corrector de fase optimizado, todo ello con una frecuencia de salida de 4 kHz, y normalizado a 0 dB sobre un intervalo de 0 a -24 dB para permitir una comparación directa. La línea gris texturizada 1201 muestra la salida de la bocina optimizada sin corrector de fase. La línea negra 1202 muestra la salida con la adición de un corrector de fase optimizado. Puede observarse que la adición del corrector de fase hace que mejore significativamente la directividad del dispositivo, eliminando virtualmente los “hombros” simétricos que, por otro lado, están presentes a partir de -15 dB o un valor aproximado, y que, efectivamente, ensanchan la salida principal en muchos grados.

La figura 13 muestra un perfil en sección transversal del corrector de fase, del cual se ha observado que es óptimo para el dispositivo propuesto, tanto dentro de la bocina cónica con vistas a contextualizar, como por separado para ilustrar sus dimensiones clave. Se podría fabricar a partir de cualquier material adecuado; metal, cerámica, plástico piedra, fibra de vidrio o espuma endurecida; no obstante, se observa que la realización preferida es o bien un plástico moldeado por inyección, tal como Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) o Polipropileno (PP), o bien una espuma moldeada por inyección con reacción, tal como Poliuretano (PU). Estos materiales ofrecen un equilibrio óptimo entre una baja densidad y una alta resistencia, para permitir un dispositivo con una baja masa aunque robusto. El corrector 1301 de fase se muestra en su posición óptima coaxial a la bocina. Tiene un perfil bicónico. El radio izquierdo 1306 está desplazado con respecto a la garganta de la bocina, en una distancia de entre 0 y 500 mm, o, más preferentemente, en 4,5 mm. La longitud del corrector 1302 de fase estaría entre 100 y 1.000 mm, o, más preferentemente, 670 mm. El diámetro central máximo del corrector 1303 de fase estaría entre 50 y 500 mm, o, más preferentemente, 141 mm. El perfil en el extremo 1304 de la boca tendría un radio entre 1 y 100 mm, o, más preferentemente, 1,5 mm. El perfil en el vértice 1305 tendría un radio de entre 1 y 200 mm, o, más preferentemente, 8,5 mm. El perfil en el extremo 1306 de la garganta tendría un radio entre 1 y 100 mm, o, más preferentemente, 6 mm.

El control de las emisiones del dispositivo fuera de eje es tan importante como el estrechamiento de la salida del haz central para su funcionalidad. Esto es esencial para garantizar que el usuario, que estará llevando el dispositivo con una correa del hombro, así como los colegas y testigos cercanos, experimentarán niveles de sonido mínimos en comparación con el objetivo. Esto forma parte de la optimización de la directividad como el estrechamiento del haz de salida principal.

Se ha observado que la adición de una capa de espuma acústicamente absorbente en torno a la apertura del dispositivo puede atenuar significativamente las emisiones fuera de eje. Esto se podría aplicar eficazmente a cualquier forma de la apertura de salida. En este caso la bocina es cónica y, por lo tanto, el planteamiento óptimo consiste en disponer un anillo de espuma en torno a la apertura o boca de la bocina. Puede resultar aplicable cualquier espuma acústicamente absorbente con un intervalo de densidades de entre 5 kg/m^3 y 500 kg/m^3 , aunque, más preferentemente, espuma de melamina de poro abierto Basotec UF la cual tiene una densidad de 11 kg/m^3 .

La figura 14 muestra un perfil polar de 360 grados, de la salida del dispositivo sin anillo de espuma en torno a la apertura, con un anillo no optimizado y con un anillo optimizado, todo ello a una frecuencia de salida de 4 kHz, y normalizado a 0 dB sobre un intervalo de 0 a -48 dB para permitir una comparación directa. La escala de 48 dB muestra emisiones fuera de eje provenientes del dispositivo, fuera de eje, perpendiculares a, y por detrás del haz central. La línea gris 1401 muestra la salida del dispositivo sin anillo de espuma. La línea de trazos 1402 muestra la salida del dispositivo con un anillo de espuma que no está optimizado. La línea negra 1403 muestra la salida del dispositivo con el anillo de espuma optimizado. Puede observarse que el anillo de espuma tiene un efecto mínimo sobre la salida frontal sobre un intervalo de +/- 15 grados. No obstante, a partir de ese punto, el mismo puede reducir significativamente las emisiones. El anillo 1202 de espuma no optimizado está nivelado con la apertura de la bocina y, aunque se produce una mejora menor particularmente en la parte posterior del dispositivo, el efecto no es considerable. Por comparación, el anillo 1203 de espuma optimizado sobresale de la apertura de la bocina, y la reducción en las emisiones fuera de eje es muy significativa. Varios dB en la región de 15 a 60 grados fuera de eje a cada lado del haz principal; aunque principalmente en los laterales y parte posterior del dispositivo desde 60 a menos 60 grados donde se logran reducciones de hasta 6 dB o mayores, con respecto a los niveles sonoros sin la espuma. Esto es particularmente importante para reducir el nivel de sonido experimentado por el usuario que llevará el dispositivo con una correa al hombro, y los colegas y testigos, en la parte posterior o en paralelo al mismo. Una reducción de 6 dB es una reducción a la mitad del nivel sonoro en términos de presión.

La figura 15 muestra un perfil en sección transversal del anillo de espuma, del cual se ha observado que es óptimo para el dispositivo propuesto, tanto montado en la bocina cónica con corrector de fase con vistas a contextualizar, como por separado, a la derecha, para ilustrar sus dimensiones clave. El perfil y la posición del anillo 1501 de espuma se muestran en torno a la apertura de la bocina. Podría ser aplicable cualquier forma de anillo de espuma, aunque se ha observado que resulta óptimo que el anillo de espuma tenga la forma de un cono truncado el cual sigue los contornos exteriores de la bocina. Esto ofrece el mejor compromiso entre la reducción al mínimo del volumen del dispositivo, para permitir que el mismo sea llevado de manera cómoda por el usuario, y la materialización de las reducciones deseadas en emisiones acústicas fuera de eje. La línea de trazos indica la posición relativa de la apertura de la bocina. El grosor del anillo 1502 de espuma estaría entre 5 y 250 mm, o, más preferentemente, 50 mm. La longitud del anillo 1503 de espuma estaría entre 10 y 500 mm, o, más preferentemente, 200 mm. La proporción del anillo de espuma por detrás de la apertura 1504 de la bocina estaría entre 0 mm y 500 mm, o, más preferentemente, 150 mm. La proporción del anillo de espuma que sobresale de la apertura 1505 de la

bobina estaría entre 0 mm y 500 mm, o, más preferentemente, 50 mm.

En una realización, podría usarse un anillo de espuma acústica o envoltura en torno a la apertura de una fuente acústica, en aplicaciones más allá de la correspondiente del A-WaSP™. Por ejemplo, si se aplica a elementos en un sistema de megafonía (PA), puede resultar posible reducir las emisiones fuera de eje hacia la parte posterior, reduciendo así los niveles sonoros por detrás o cerca del sistema de PA. Esto sería ventajoso en la instalación de escenarios en conciertos musicales, mítines u otras concentraciones en donde la reducción del SPL en escenario ayudaría a conseguir una mayor claridad para los participantes, reduciría la necesidad de monitorización y reduciría la tendencia de acople. Este planteamiento se podría aplicar a cualquier elemento que se use en sistemas convencionales de PA; por ejemplo, todos los altavoces, los excitadores de compresión con carga de bocina y altavoces de agudos (*tweeters*). También se podría usar en publicidad de audio dirigida en donde es deseable conseguir que la información de audio sea lo más localizada posible.

Una cuestión clave en la consecución de una buena direccionalidad se encuentra en la supresión de los lóbulos fuera de eje. La figura 16 muestra un perfil polar de 180 grados de 0 a -24 dB a 4 kHz para una salida no optimizada. La flecha indica la presencia de dos lóbulos simétricos fuera de eje con un SPL en torno a -21 dB con respecto al máximo del haz principal a 45 grados del haz principal. Una reducción de -21 dB significa que estos lóbulos se encuentran a menos del 10% del nivel de presión en el haz principal. No obstante, la respuesta acústica humana es no lineal y, en pruebas empíricas, se observa que lóbulos fuera de eje tales como los mencionados pueden ser percibidos, aunque no habitualmente como regiones discretas de mayor intensidad en segundo plano, sino que un ensanchamiento del haz principal. De este modo, la presencia de lóbulos puede reducir profundamente la sensación de directividad del dispositivo en la práctica. En el ejemplo anterior, la sensación de anchura del haz incrementa en más de 45 grados.

El umbral en el cual dichos lóbulos resultan imperceptibles está en torno a -24 dB (ó 6 % del nivel de presión máximo). En este punto, los sujetos bajo prueba no pudieron percibir los lóbulos, y, por tanto, no percibieron un ensanchamiento de la salida del dispositivo. Por lo tanto, para maximizar la directividad, es tan importante reducir lóbulos por debajo de este umbral como lograr un haz central estrecho.

Se ha descubierto empíricamente que un planteamiento muy contraintuitivo para suprimir los lóbulos así como para reducir las emisiones fuera de eje, es montar un anillo de espuma *dentro* de la bocina en torno al extremo de la boca de la misma correspondiente al corrector de fase. Esto no resulta evidente ya que la colocación de un anillo de espuma absorbente dentro de una matriz de bocinas podría suponerse de manera razonable que reduciría drásticamente la salida y deterioraría la directividad, no que la mejoraría. No obstante, si la posición de la espuma, su naturaleza y sus dimensiones se seleccionan cuidadosamente, se observa que el efecto es muy beneficioso para la directividad global con una pérdida mínima en la salida.

La figura 17 muestra un perfil polar de 360 grados, de la salida del dispositivo, con y sin un anillo de espuma interno, a una frecuencia de salida de 4 kHz, y normalizado a 0 dB sobre un intervalo de 0 a -48 dB para permitir una comparación directa. La línea gris 1701 muestra la salida optimizada del dispositivo sin un anillo de espuma interno, y la línea negra 1702 muestra la salida con un anillo de espuma interno optimizado, posicionado en el lado alejado del corrector de fase. Tal como puede observarse, la ventaja de este anillo de espuma interno es muy notable. Se eliminan los "hombros" a aproximadamente -18 dB, reduciéndose significativamente la anchura eficaz del haz principal. Los lóbulos laterales se reducen a niveles varios decibelios por debajo de -24 dB haciendo que sean imperceptibles. De 60 a 90 grados (en los dos lados) las emisiones se reducen en hasta 6 dB a niveles en torno a menos 40 dB o por debajo (1% de los niveles de presión en el eje). Hacia los laterales y por detrás del dispositivo (de +90 a -90 grados), los niveles de sonido se reducen hasta bastante por debajo de -42 dB (menos del 0,8% de los niveles de presión en el eje). El haz central en -6 dB a -18 dB se ha ensanchado en unos pocos grados, pero, más que el desplazamiento, es la eliminación de los hombros lo que hace que el haz percibido sea mucho más estrecho.

Se cree que el mecanismo por el cual este anillo de espuma interno hace que mejore la directividad es por la absorción de parte de la fracción del frente de onda acústico propagado, que es difractado por el vértice del corrector de fase. Este frente de onda difractado impactaría, en parte, sobre el extremo de la apertura del corrector de fase con un ángulo agudo, y sería reflejado en forma de hombros/lóbulos fuera de eje. Además, a continuación esta emisión reflejada fuera de eje se vería difractada adicionalmente de forma parcial por la apertura diáfana de la bocina que incrementa el nivel de emisiones hacia los laterales y la parte posterior del dispositivo. La adición del anillo de espuma interno reduce este efecto significativamente, absorbiendo parte del frente de onda difractado incidente que impacta en el corrector de fase. No obstante, es muy importante garantizar que las dimensiones y el posicionamiento del anillo de espuma internos sean precisos. Un volumen demasiado grande, y las pérdidas de salida se harán inaceptables. Demasiado pequeño y la mejora de la directividad será despreciable.

La figura 18 muestra un perfil en sección transversal del anillo de espuma interno que se ha observado que es óptimo para el dispositivo propuesto, tanto montado en el corrector de fase, mostrándose la bocina y el anillo de espuma externo de cara a contextualizar, como por separado a la derecha para ilustrar sus dimensiones clave. El perfil y la posición del anillo 1801 de espuma se muestra en torno al extremo del corrector de fase correspondiente a la boca. Cualquier forma del perfil podría ser pertinente en función de la estructura del corrector de fase (particularmente, un cono truncado), pero, en este caso, se ha observado que lo que mejor funciona es una tira de

sección transversal rectangular envuelta en torno al corrector de fase. La distancia 1802 es la distancia desde el vértice del corrector de fase bicónico a la posición óptima del anillo de espuma interno. La distancia 1802 estaría entre 0 y 500 mm, o, más preferentemente, 95 mm. La longitud del anillo 1803 de espuma estaría entre 10 y 500 mm, o, más preferentemente, 50 mm. El grosor del anillo 1804 de espuma interna estaría entre 10 y 200 mm, o, más preferentemente, 18 mm. Sería aplicable cualquier espuma acústicamente absorbente con un intervalo de densidades entre 5 kg/m³ y 500 kg/m³, aunque, más preferentemente, espuma de melamina de poro abierto Basotec UF que tiene una densidad de 11 kg/m³.

En una de las realizaciones, en aplicaciones más allá de la correspondiente del A-WaSP™ podría usarse un anillo de espuma acústica posicionado en torno a un corrector de fase. Por ejemplo, si se aplica a elementos en un sistema de megafonía (PA), puede resultar posible reducir las emisiones fuera de eje hacia la parte posterior, reduciéndose así los niveles de sonido por detrás o cerca del sistema PA en ciertos intervalos de frecuencia. Esto podría ser ventajoso en la instalación de escenarios en conciertos musicales, mítines u otras concentraciones en las que la reducción del SPL en el escenario ayudaría a mejorar la claridad para los participantes, reduciría la necesidad de monitorización y reduciría la tendencia de acople. Se podría usar también en publicidad de audio dirigida o puntos de información en los que es deseable conseguir que la información de audio sea lo más localizada posible y, por lo tanto, es deseable una alta directividad.

Una reducción adicional de las emisiones hacia los laterales y la parte posterior del dispositivo se puede lograr envolviendo el anillo de espuma exterior en un género. Este género puede ser cualquier material flexible aunque, más preferentemente, un nailon duradero. Críticamente, el género debe quedar suelto sobre la espuma. Si está ajustado, entonces las emisiones laterales se pueden incrementar debido a reflexiones provenientes de la superficie del género. Si está suelto, el efecto es neutro o absorbente. Además, el borde del género no se debe extender más allá de la apertura de la bocina – véase la línea de trazos en la figura 15. Si lo hace, entonces crea una apertura secundaria y la directividad se reduce por la difracción. Por lo tanto, el anillo de espuma debe permanecer descubierto por la envoltura desde el punto en el que sobresale más allá de la apertura, dimensión 1505 de la figura 15.

La figura 19 muestra un perfil polar de 360 grados, de la salida del dispositivo, con y sin una envoltura del anillo de espuma externo, a una frecuencia de salida de 4 kHz, normalizado a 0 dB sobre un intervalo de 0 a -48 dB para permitir una comparación directa. La línea gris 1901 muestra la salida optimizada del dispositivo sin envoltura, y la línea negra 1902 muestra la salida con envoltura optimizada del anillo de espuma externo. El efecto en el hemisferio frontal de emisión es despreciable. El efecto en el hemisferio posterior reduce emisiones en esta área a aproximadamente -45 dB o por debajo del SPL en el eje (menos del 0,6% de los niveles de presión en el eje). La envoltura tiene la ventaja añadida de proporcionar protección física para el anillo de espuma exterior mientras se está usando.

La figura 20 muestra una representación de la directividad del dispositivo acústico optimizado sobre 360 grados (+/- 180 grados centrados en 0 grados), aunque sobre un intervalo amplio de frecuencias de 500 a 10.000 Hz. Esto se muestra sobre una escala de falso color de 0 a -25 dB. El intervalo de frecuencias de interés de 3.500 a 4.000 Hz se indica mediante las dos líneas de rayas y puntos y las flechas. Tal como puede observarse en este intervalo de frecuencia no hay lóbulos laterales perceptibles y la velocidad de caída del SPL es muy rápida una vez que te mueves fuera del eje. Puede observarse que el haz de salida se estrecha a medida que crece la frecuencia. Esto se puede atribuir a efectos de difracción disminuidos a medida que la longitud de onda se acorta. La figura 20 sirve para mostrar que la salida del dispositivo es altamente direccional en el intervalo de frecuencias de interés, y no solamente a 4 kHz tal como se muestra en los perfiles polares.

Debe indicarse que la salida de esta configuración de bocina, corrector de fase y anillos de espuma interior y exterior, es extremadamente direccional según los estándares de cualquier sistema de PA convencional. Aunque resulta inadecuada para la reproducción de música, puede encontrar aplicación para la proyección de mensajes verbales direccionales si estas señales se procesan digitalmente con el fin de complementar las características de salida del dispositivo. Este sería un uso distinto con respecto a los criterios del A-WaSP™, y podría encontrar aplicación en publicidad de audio dirigida, comunicación verbal acotada o puntos de información en los que es deseable hacer que la información de audio esté lo más localizada posible y, por lo tanto, sea deseable una alta directividad.

La Figura 21 muestra un perfil polar de 360 grados de la salida del dispositivo totalmente optimizado a una frecuencia de salida de 4 kHz sobre un intervalo de 0 a -24 dB que resalta la directividad extremadamente alta de la salida principal. Puede observarse que no hay evidencia de lóbulos laterales u hombros por encima de -24 dB. El haz central es muy estrecho con una divergencia de solamente +/- 7,5 grados a -3 dB. Esto es principalmente ventajoso ya que aquellos a los que no se enfoque directamente únicamente experimentarán una fracción del SPL experimentado por el objetivo.

Se observa que otro elemento clave de la percepción de la directividad es la velocidad de caída del SPL por grado en los bordes del haz sonoro principal. La figura 21 muestra que la velocidad media de caída está en torno a -1,4 dB por grado de -3 dB a -24 dB; y, aproximadamente, -1,8 dB por grado de -6 dB a -24 dB, lo cual equivale a una reducción en la presión de aproximadamente un 23% por grado.

Esto tiene el efecto acústico de un inicio muy repentino y alarmante de la intensidad acústica a medida que un objetivo se mueve hacia el haz y a la inversa cuando un objetivo se mueve saliendo del mismo. Esto significa que, si un objetivo se mueve instintivamente alejándose del haz, entonces tendrá conocimiento inmediato de que se está moviendo saliendo del mismo. Se aplicará el mecanismo inverso si alguien se mueve hacia el haz, fomentando su retroceso rápido fuera del mismo. Igualmente, si el usuario realiza un barrido del dispositivo sobre un grupo de personas, la sensación de ser enfocado por el haz central a medida que el mismo realiza una pasada es inequívoca.

La figura 22 muestra un perfil polar de 360 grados, de la salida del dispositivo totalmente optimizado, a una frecuencia de salida de 4 kHz sobre un intervalo de 0 a -48 dB, que resalta los niveles extremadamente bajos de los lóbulos y las emisiones laterales. Los lóbulos laterales a +/- 45 grados tienen un SPL máximo de aproximadamente -26 dB de la central, o un 5% en función de la presión – un nivel bajo que no es nítido y, por tanto, no disminuye la percepción de direccionalidad. A medida que te mueves adicionalmente fuera del eje el nivel de sonido relativo cae todavía más, por debajo de -36 dB desde +/- 50 grados y hasta aproximadamente -40 dB de 60 grados a 90 grados fuera del eje, o un 1% del nivel de presión en el haz central. Esto muestra que cualquier testigo que esté fuera del haz central experimenta un SPL mucho menor que el objetivo, y este nivel continúa disminuyendo rápidamente a medida que te mueves adicionalmente fuera del eje. Hacia los laterales y la parte posterior del dispositivo, el SPL relativo se reduce todavía más, alcanzando niveles en torno a -44 dB, o un 0,6% del nivel de presión en el haz central. Esto es particularmente beneficioso para el usuario del dispositivo el cual experimentará un nivel de presión 150 veces menor de lo que lo haría el objetivo a una distancia de 1 m. El mismo nivel bajo se aplica a colegas o testigos que estén junto al dispositivo. El bajo SPL mencionado, fuera del eje, significa que la protección auditiva es innecesaria para el usuario y sus colegas, incluso durante un uso prolongado, y que es posible una conversación normal incluso cuando el dispositivo está funcionando con la salida máxima.

La figura 23 muestra una sección transversal del dispositivo según componentes y localización. El transductor 2301, un excitador de compresión de tipo Radian 745 NEO PB, está conectado a la garganta de la bocina. Tanto la bobina principal del dispositivo acústico como el corrector de fase montado coaxial a la misma 2306, presentan un sombreado horizontal. El anillo 2305 de espuma, exterior, y el anillo de espuma interior en torno al corrector 2304 de fase tienen, ambos, un sombreado diagonal. El cuero del dispositivo 2302 se muestra con un contorno blanco. Podría fabricarse a partir de cualquier material adecuado; metal, cerámica, plástico piedra, fibra de carbono o espuma endurecida; no obstante, se observa que la realización preferida es o bien un plástico moldeado por inyección, tal como Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) o Polipropileno (PP), o bien una espuma moldeada por inyección con reacción, tal como Poliuretano (PU). La pantalla de panel plano que muestra la señal alimentada de la cámara está alojada en 2303, y una unidad adecuada sería una pantalla de alto brillo de 5,7", tal como la DET057VGHNT0-1A de Densitron PLC. La batería se posicionaría en la localización 2309, y un modelo de unidad adecuado sería una batería recargable de Iones de Litio L96e de PAG Ltd. El mango y el gatillo para controlar el dispositivo están situados en la posición 2308. El conjunto electrónico de control está situado dentro de una cavidad en el dispositivo situada en la posición 2307. Este incorporaría una PCB de control la cual incluiría el conjunto electrónico de reproducción sonora y el amplificador que excitan el transductor. La forma de onda se registra en forma de un archivo WAV a una velocidad de muestreo de 96 kHz y una resolución de 16 bits. Se almacena en el chip de la CPU en una memoria *flash* integral. Un códec de audio adecuado sería un WM8523GEDT realizado por Wolfson Microelectronics. Un preamplificador adecuado sería un OPA1632DG4 realizado por Texas Instruments. Un amplificador de potencia adecuado sería un TAS5630B realizado por Texas Instruments. La cámara y el telémetro láser no se muestran ya que están empotrados dentro del anillo de espuma exterior 2305; modelos adecuados serían una cámara de tipo bala (*bullet*) VB21EH-W de RF Concepts Ltd, y un telémetro láser ILM150 Clase 1 de MDL Ltd.

El diseño preferido se corresponde con un elemento moldeado de múltiples piezas que se une entre sí con pernos para crear una unidad independiente. Dentro de esta unidad se crean canales para el cableado eléctrico con el fin de conectar entre sí los componentes eléctricos. La figura 24 muestra la representación CAD de un dispositivo de prototipo real que se ha sometido a prueba y se ha mostrado satisfactoriamente a terceros. Se lleva o bien sobre el pecho del usuario, o bien posicionado a la altura de la cintura. Se sostiene con una correa (no mostrada) al hombro, y puede ser llevado de manera cómoda durante más de media hora cada vez.

Una de las características clave de este dispositivo es la capacidad de que el mismo funcione dentro del marco legislativo existente sobre salud y seguridad. La forma de onda acústica de salida está diseñada para maximizar la sensación de intensidad de sonido en el objetivo. Esto significa que el SPL real se puede minimizar lo más posible para garantizar que la dosis experimentada por el objetivo se sitúa dentro de límites legales, pero se sigue percibiendo como un aviso enérgico que atraviesa cualquier ruido ambiente. La direccionalidad extremadamente alta del dispositivo cuando se proyecta esta forma de onda sónica significa que la dosis se aplica selectivamente al objetivo y se puede controlar de manera cuidadosa. Es igualmente importante que los testigos y el usuario experimentan un nivel de sonido muy bajo por comparación, y, por tanto, incluso con una utilización prolongada, no experimentarán una dosis que supere límites legales. Se cree que el cumplimiento de la legislación pre-existente sobre salud y seguridad es singular en relación con cualquier tecnología usada actualmente en el Espectro de Intensificación de la Fuerza para gestionar conflictos.

La legislación pertinente es la correspondiente al control de ruido en el trabajo. La legislación europea en esta área es la DIRECTIVA 2003/10/EC DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 6 de febrero de 2003, sobre

los requisitos mínimos de salud y seguridad en relación con la exposición de trabajadores a los riesgos provenientes de agentes físicos (ruido) (Decimoséptima Directiva individual dentro del concepto del Artículo 16(1) de la directiva 89/391/EEC). Esta se guía por la normativa ISO; Acústica -- Determinación de la exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido, ISO 1999:1990. La legislación de los Estados Unidos se deriva también de esta normativa ISO y existen dos organizaciones nacionales, la Administración de Seguridad y Salud Laboral (OSHA) y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laboral (NIOSH), que plantean normas ligeramente diferentes para la Exposición al Ruido en el Trabajo para los Estados Unidos.

El dispositivo acústico tiene una salida máxima limitada 137 dB(A) a 1 m, que es la mitad del nivel de potencia de límite instantáneo de 140 dB(C) especificado en todas las normas anteriores. Esto garantiza que, incluso una exposición accidental a potencia completa y a bocajarro, no violaría las normas anteriores suponiendo que la misma se interrumpe inmediatamente.

La exposición permisible al ruido se basa en un día laboral de 8 horas y es acumulativa. Por tanto, bajo las leyes de la Unión Europea, una persona se puede exponer a un nivel sonoro medio máximo, durante un periodo de 8 horas, de 87 dB L_{Aeq} , pero el mismo puede presentarse en ráfagas más cortas con niveles sonoros más altos, siempre que no se supere el valor medio. La Figura 25 muestra los límites de la exposición máxima diaria permisible en segundos, Sobre una escala logarítmica, en función del SPL en dB(A). La línea de puntos muestra el umbral para la legislación de la Unión Europea (Reino Unido), mientras que la línea de trazos se corresponde con los Estados Unidos (OSHA) y la línea de rayas y puntos con los Estados Unidos (NIOSH). Todos siguen el mismo fundamento, pero los límites máximos varían. Si el objetivo, el usuario y los testigos no superan la dosis acumulada pertinente en un periodo de 8 horas, entonces no puede decirse que los mismos se hayan situado bajo riesgo alguno de lesión, lo cual hace que el uso del dispositivo sea altamente defendible.

Un elemento clave para el cumplimiento de la legislación sobre salud y seguridad es la adición de un telémetro láser. Un modelo adecuado sería un telémetro láser ILM150 Clase 1 de MDL Ltd. El usuario apunta el dispositivo y pulsa el botón del gatillo, momento en el cual un telémetro láser incorporado mide instantáneamente la distancia al objetivo. En el dispositivo se programa un nivel sonoro máximo predeterminado. La salida del dispositivo se ajustará automáticamente por referencia a una tabla de consulta en el software de control antes de que comience la emisión acústica, de manera que el nivel de sonido no supere el nivel máximo a la distancia medida. Esto es muy rápido y prácticamente imperceptible para el usuario. Esta función limitadora se muestra en la figura 26 la cual representa el SPL en dB(A) sobre un intervalo de distancias de 1 a 120 m. El SPL se reduce de manera natural a medida que el cono de sonido diverge con la distancia y también con la absorción atmosférica. La línea gris de trazos muestra la salida no limitada con un SPL de pico de 137 dB(A) a 1 m. La línea gris continua la muestra limitada a un nivel predeterminado (en este caso 115 dB L_{Aeq} según especifica el Servicio de la Policía del Reino Unido). Esto se corresponde con una distancia de 13 m con respecto al dispositivo. De este modo, para cualquier objetivo a menos de 13 m, el SPL no puede superar 115 dB L_{Aeq} . Este nivel máximo se puede ajustar para adecuarse a requisitos específicos de cada usuario.

Para controlar adicionalmente la exposición, el dispositivo se limita para dar salida a ráfagas de 3 s de emisión acústica, antes de que se interrumpa automáticamente durante 1 s previamente a que la salida acústica se pueda disparar de nuevo. Esto obliga al usuario a utilizar el dispositivo por ráfagas, y evita que el mismo "barra" un objetivo – fomentando un planteamiento de dosis progresivas controladas. Además, se ha observado que las ráfagas son más eficaces que una exposición constante a la hora de comunicar un aviso de atención Policial, ya que una ráfaga de sonido capta más la atención.

Con la legislación de la Unión Europea, un nivel sonoro de 115 dB L_{Aeq} es permisible durante 45 s por día. Esto equivale a 15 ráfagas de 3 s – bastante por encima de lo que se requiere para persuadir a un objetivo de que desista. Si el objetivo continúa después de incluso 5 ráfagas, entonces el usuario debe considerar una subida en el espectro de Intensificación de la Fuerza. Además, en un entorno abierto, el usuario y los testigos adyacentes experimentarían, típicamente, un máximo de 95 dB L_{Aeq} con la salida máxima – que equivale a un límite de dosificación diaria de 1 hora 16 minutos o más de 1.500 ráfagas de 3 segundos, una gran cantidad de margen.

Uno de los problemas al utilizar cualquier dispositivo acústico es apuntar el mismo de manera precisa. Con ese fin, en el dispositivo se monta una cámara de vídeo alineada con la salida acústica. Una de las realizaciones preferidas es que esta cámara funcione adecuadamente en condiciones tanto de luz brillante como de baja luz. Un modelo adecuado sería una cámara de tipo bala (*bullet*) VB21EH-W de RF Concepts Ltd. A continuación, la señal alimentada de vídeo se envía a una pantalla de panel plano y alto brillo, la cual se monta en el dispositivo de tal manera que el usuario pueda verla fácilmente. Es deseable un brillo elevado para que la misma pueda verse incluso bajo la luz directa del sol. Un modelo adecuado sería una pantalla de alto brillo de 5,7", tal como la DET057VGHNT0-1A de Densitron PLC.

La figura 27 muestra una representación gráfica de la imagen que vería el usuario en la pantalla de panel plano. Sobre la señal alimentada de vídeo en vivo se superponen retículos 2701 para ayudar al usuario a apuntar el dispositivo de manera precisa y sencilla. Sobre la pantalla se superpone información adicional para ayudar al usuario. Se muestran la distancia medida al objetivo y la duración máxima de exposición segura con el nivel de presión sonora correspondiente, para ayudar al usuario a evaluar y controlar la dosis para cualquier objetivo dado

2702. Se muestra también un indicador 2703 de carga de batería así como información 2704 de hora y fecha.

- 5 La grabación de cómo se usa el dispositivo es crítica a la hora de justificar su cumplimiento con las leyes locales sobre salud y seguridad, aunque también para demostrar que se ha usado de manera proporcionada en la gestión del conflicto. Con ese fin, dentro del dispositivo se incorpora una unidad del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Un modelo adecuado sería un W2SG0008i realizado por Wi2Wi. Esta unidad de GPS puede proporcionar coordenadas de localización en tiempo real, así como fecha y hora precisas. Esto, combinado con la señal alimentada de vídeo proveniente de la cámara y la distancia, más el correspondiente nivel de sonido y la dosis, según se determine a partir del telémetro láser, crea un contundente volumen de información que se registra automáticamente con cada pulsación del gatillo del dispositivo.
- 10 La figura 28 muestra un diagrama de flujo de cómo funciona esto. La distancia, el nivel de exposición al sonido en el objetivo, el tiempo de exposición, la hora, la fecha y las coordenadas GPS (localización) del dispositivo se registran, todos ellos, con cada pulsación del gatillo. Estos datos se almacenan en forma de un archivo de valores separados por comas. En paralelo, se registra una grabación de vídeo de la cámara integral, y además se utiliza una función de memoria intermedia de vídeo de tal manera que cuando se pulsa el gatillo, los 20 s previos de grabación de cámara se incluyen sin interrupciones en el archivo de vídeo para proporcionar un contexto de utilización. Una vez que se suelta el gatillo, el vídeo continúa memorizando durante otros 60 s para aportar contexto adicional. Esto se almacena como un único archivo de vídeo MPEG4. Los dos archivos se almacenan en una unidad interna de memoria *flash* extraíble.
- 15
- 20 Estos archivos proporcionan un registro exhaustivo de utilización y aportan al usuario una evidencia muy sólida para rechazar cualquier alegato de uso indebido del dispositivo, disuadiendo a miembros del público de iniciar costosas acciones jurídicas. Además, también disuaden del uso indebido de la unidad ya que el operario sabe que todos sus usos quedarán registrados de manera exhaustiva, y que surgirán sospechas en caso de que se observe que dichos registros faltan.
- 25 Debe entenderse que, para aquellos versados en la materia, se pondrán de manifiesto fácilmente diversas modificaciones sobre la realización preferida y los principios y características genéricos descritos en la presente. Así, el presente sistema no está destinado a limitarse a la realización mostrada, y tales modificaciones y variantes se sitúan también dentro del espíritu y el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de aviso acústico direccional, adecuado para crear una presión sonora mayor en un objetivo seleccionado que en torno al objetivo, en donde el dispositivo tiene una fuente generadora de presión sonora acoplada a una estructura de guiado del sonido, en donde la fuente generadora de presión sonora comprende un sistema generador de señales eléctricas conectado a un transductor (2301), teniendo el transductor (2301) la capacidad de convertir señales electrónicas del sistema generador de señales en ondas de presión sonora, y, en donde el sistema generador de señales está dispuesto para producir una primera señal que tiene una forma de onda con una frecuencia que se hace variar en torno a la primera frecuencia de resonancia del canal auditivo humano, y en donde

5

10

la estructura de guiado del sonido incluye

una bocina en forma de cono y de extremos abiertos, que tiene un extremo estrecho y un extremo ancho, en donde el extremo estrecho de la bocina está situado hacia la fuente generadora de presión sonora y

un anillo (2305) de bocina, exterior, de material acústicamente absorbente, previsto en el extremo ancho de la bocina, y

15

un corrector (2306) de fase previsto dentro de la bocina,

y caracterizado además por que comprende:

un anillo (2304) de corrector de fase, de material acústicamente absorbente, previsto en torno a una parte del corrector (2306) de fase,

20

en donde

las dimensiones de la bocina y del corrector (2306) de fase y la posición y las dimensiones del anillo (2305) de bocina y el anillo (2304) de corrector de fase se seleccionan para maximizar la direccionalidad del sonido y minimizar la exposición al nivel sonoro para un usuario del dispositivo y testigos, en frecuencias en torno a la primera frecuencia de resonancia del canal auditivo humano, definidas como el intervalo de 3 kHz a 5 kHz.
2. Dispositivo de aviso acústico direccional según la reivindicación 1, en el que el sistema generador de señales está dispuesto para producir una señal que tiene una forma de onda con una frecuencia que está modulada entre un límite inferior y un límite superior, en donde el límite inferior es 3 kHz y el límite superior es 5 kHz, o en donde el límite inferior es 3,5 kHz y el límite superior es 4,0 kHz.
3. Dispositivo de aviso acústico direccional según la reivindicación 2, en el que la frecuencia está modulada entre límite inferior y el límite superior de manera repetida a una velocidad de modulación constante, opcionalmente en donde la velocidad de modulación está dentro del intervalo de 0,1 a 0,5 segundos, o en donde la velocidad de modulación está dentro del intervalo de 0,15 a 0,25 segundos.
4. Dispositivo de aviso acústico direccional según la reivindicación 2 ó 3, en el que la frecuencia está modulada de tal manera que se incrementa desde el límite inferior al límite superior en cada ciclo de modulación.
5. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema generador de señales está dispuesto para producir una segunda señal simultáneamente con la primera señal, y en donde la frecuencia de la segunda señal está relacionada con la frecuencia para la primera señal, en donde la frecuencia de la segunda señal está modulada de tal manera que disminuye desde el límite superior al límite inferior de la frecuencia de la primera señal a medida que la primera señal se incrementa desde el límite inferior al límite superior.
6. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema generador de señales está dispuesto para producir también una señal de ruido rosa.
7. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que el corrector (2306) de fase es una forma bicónica, constituida a partir de un primer y un segundo conos de paredes rectas, presentando cada cono un extremo de la punta y un extremo de base que es más ancho que el extremo de la punta, en donde los conos están unidos por sus extremos de base para formar un vértice de la forma bicónica, y montados dentro de la bocina de tal manera que un primer cono del corrector (2306) de fase tiene un extremo de la punta hacia la garganta del cono de la bocina, y/o en donde la longitud del corrector (2306) de fase es sustancialmente igual a la longitud del cono hueco de paredes rectas.
8. Dispositivo de aviso acústico direccional según la reivindicación 7, en el que

45

50

(i) el extremo de la punta del corrector (2306) de fase cerca de la garganta de la bocina está

- redondeado, opcionalmente en donde el radio de curvatura del extremo de la punta está entre 0,1 cm y 10 cm, o en donde el radio de curvatura del extremo de la punta está entre 0,1 cm y 1,0 cm, o
- 5 (ii) el extremo de la punta del corrector (2306) de fase cerca de la boca de la bocina está redondeado, opcionalmente en donde el radio de curvatura del extremo de la punta está entre 0,1 cm y 10 cm, o en donde el radio de curvatura del extremo de la punta está entre 0,1 cm y 1,0 cm, o
- (iii) el vértice en el que los extremos de base de los conos del corrector (2306) de fase se unen es redondeado, opcionalmente en donde el radio de curvatura en el vértice del corrector (2306) de fase está entre 0,1 y 20 cm, o en donde el radio de curvatura en el vértice del corrector (2306) de fase está entre 0,5 y 2,0 cm, o
- 10 (iv) el extremo de la punta del corrector (2306) de fase cerca de la garganta de la bocina es redondeado, y/o el extremo de la punta del corrector (2306) de fase cerca de la boca de la bocina es redondeado, y/o el vértice en el que los extremos de base de los conos del corrector (2306) de fase se unen es redondeado.
9. Dispositivo de aviso acústico direccional, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que
- 15 (i) la longitud total del corrector (2306) de fase está entre 10 y 100 cm, y/o en donde la longitud total del corrector (2306) de fase está entre 65,0 y 75,0 cm, o
- (ii) el diámetro del corrector (2306) de fase está entre 5 y 50 cm, y/o en donde el diámetro del corrector (2306) de fase está entre 14,0 y 15,0 cm, o
- (iii) el anillo (2305) de la bocina tiene un grosor de
- 20 (a) entre 0,5 cm y 25 cm y/o sobresale entre 0 cm y 50 cm por la parte frontal de la boca de la bocina y/o se prolonga entre 0 cm y 50 cm por la parte posterior de la boca de la bocina, o
- (b) entre 4,0 cm y 6,0 cm y/o sobresale entre 4,0 cm y 6,0 cm por la parte frontal de la boca de la bocina y/o se prolonga entre 10,0 cm y 20,0 cm por la parte posterior de la boca de la bocina, o
- (iv) el anillo (2305) de la bocina está montado en el exterior de la bocina.
- 25 10. Dispositivo de aviso acústico direccional según la reivindicación 7, en el que el segundo cono del corrector (2306) de fase tiene un anillo (2304) de espuma acústicamente absorbente montado coaxialmente en su superficie, o en donde el anillo (2304) de la bocina está posicionado entre 0 cm y 50 cm del vértice del corrector de fase, o en donde el anillo (2304) de la bocina está posicionado entre 9,0 cm y 10,0 cm del vértice del corrector de fase.
- 30 11. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que
- (a) la bocina con forma de cono es un cono hueco de paredes rectas, que tiene un extremo de garganta conectado al transductor (2301) y un extremo de boca abierto, opcionalmente en donde
- (i) el diámetro de la garganta está en el intervalo de 1 centímetro a 10 centímetros, o en donde el diámetro de la garganta está en el intervalo de 3,5 cm a 4,0 cm, o
- 35 (ii) el diámetro de la boca está en el intervalo de 10 cm a 100 cm, o en donde el diámetro de la boca está en el intervalo de 30,5 cm a 31,5 cm, o
- (iii) la distancia entre la garganta y la boca está en el intervalo de 20 cm a 150 cm, o en donde la distancia entre la garganta y la boca está en el intervalo de 67,0 cm a 68,0 cm, y/o
- 40 (b) el material acústicamente absorbente es espuma acústicamente absorbente, opcionalmente en donde una parte del anillo (2305) de la bocina está cubierto con género holgado, y/o en donde el corrector (2306) de fase está montado dentro de la bocina y separado de la pared interior de la bocina.
12. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que
- (i) el anillo (2304) de la bocina está entre 1 cm y 50 cm en cuanto a anchura y/o entre 1 cm y 20 cm en cuanto a grosor, o
- 45 (ii) el anillo (2304) de la bocina está entre 4,0 cm y 6,0 cm en cuanto a anchura y/o entre 1,5 cm y 2,5 cm en cuanto a grosor.
13. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que está previsto un

limitador de sonido en comunicación con el sistema generador de señales, el cual está dispuesto para limitar el nivel de presión sonora en el objetivo, opcionalmente en donde está previsto un telémetro láser para determinar la distancia entre el dispositivo y un objetivo, y el limitador de sonido está dispuesto para limitar el nivel de sonido en el objetivo basándose en la distancia entre el dispositivo y el objetivo según determine el telémetro láser, y/o en donde limitador de sonido está dispuesto para limitar la duración de las señales producidas por el generador de señales y/o el periodo entre el uso del dispositivo.

- 5
14. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que está prevista una cámara de vídeo para apuntar el dispositivo, opcionalmente en donde la salida de la cámara de vídeo se registra, y/o en donde se incorpora una unidad de posición GPS para determinar la posición geográfica del dispositivo, y en donde el dispositivo tiene la capacidad además de registrar la posición GPS, la hora, la fecha, la distancia del objetivo y la duración de exposición del objetivo a la presión sonora producida por el dispositivo y la grabación de vídeo del dispositivo, con fines probatorios.
- 10
15. Dispositivo de aviso acústico direccional según cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo es portátil.
- 15

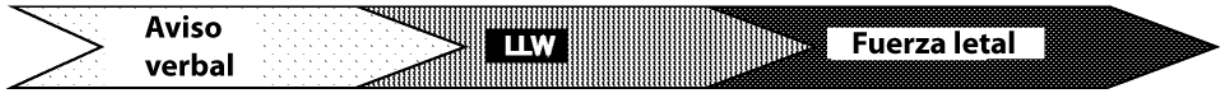


Figura 1



Figura 2

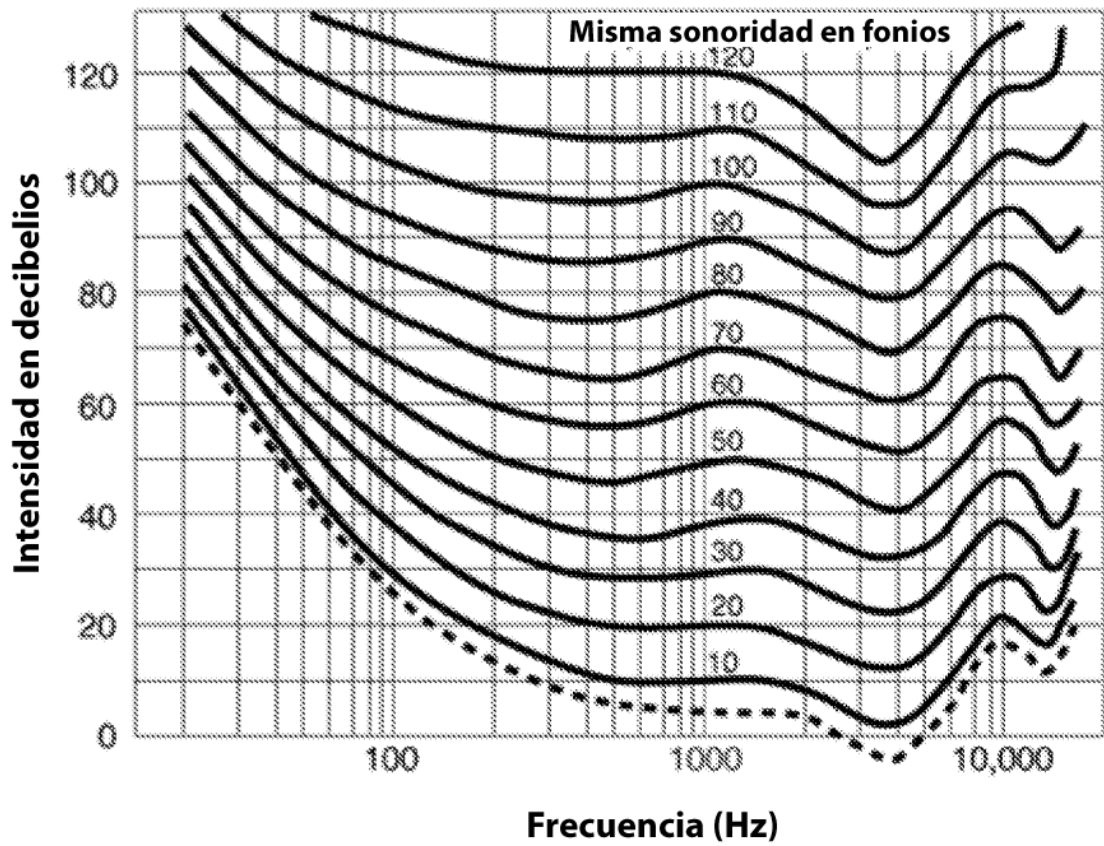


Figura 3

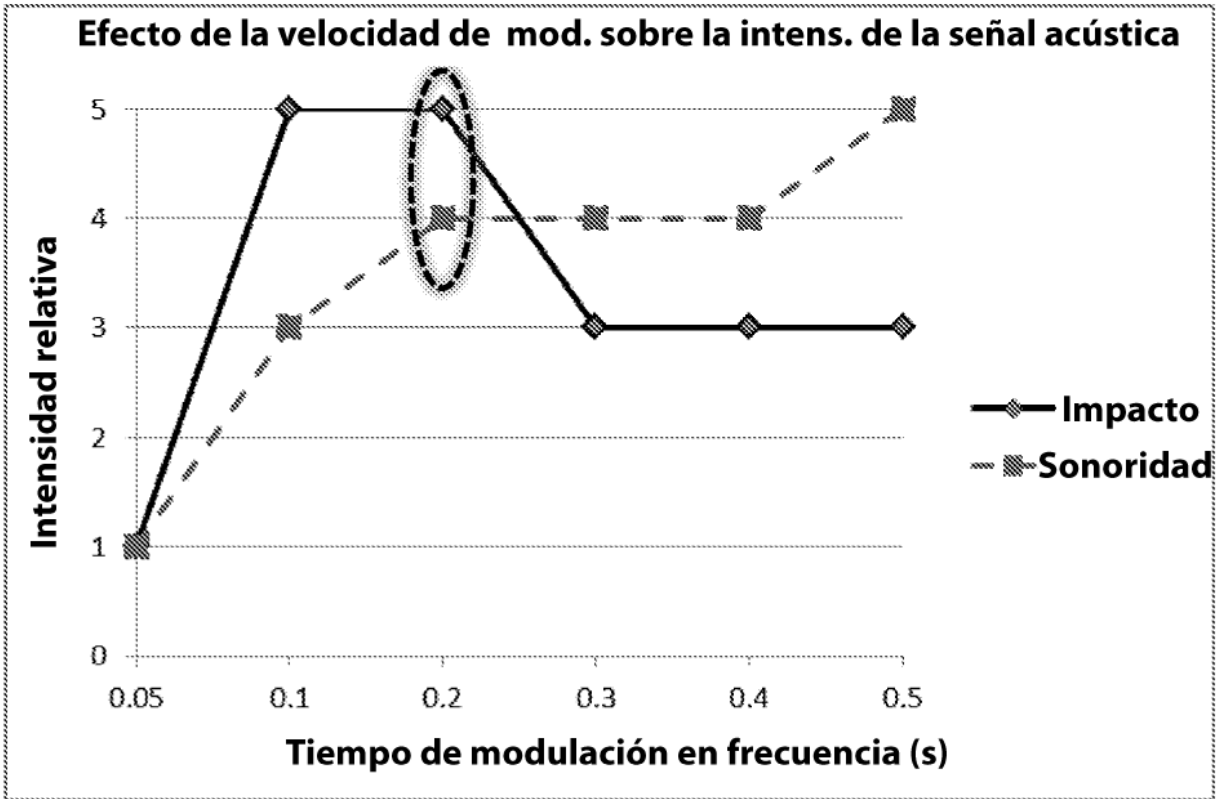


Figura 4

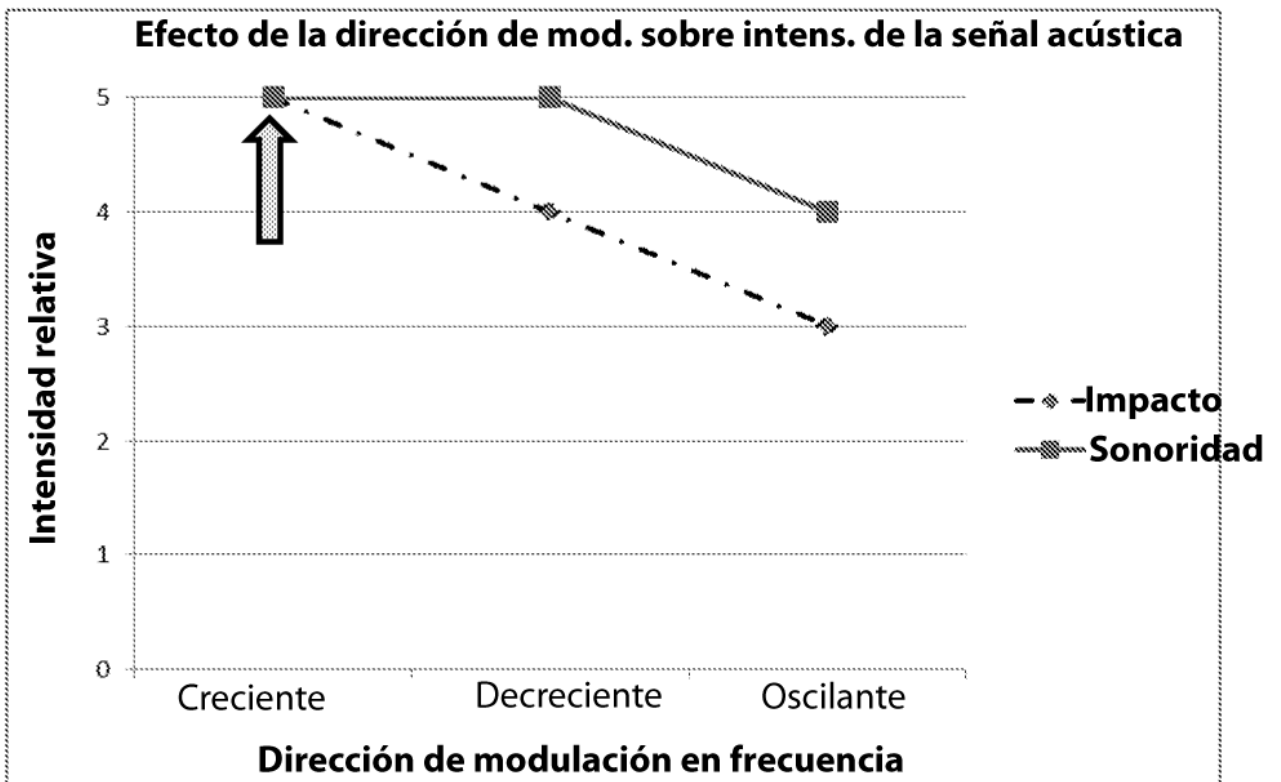


Figura 5

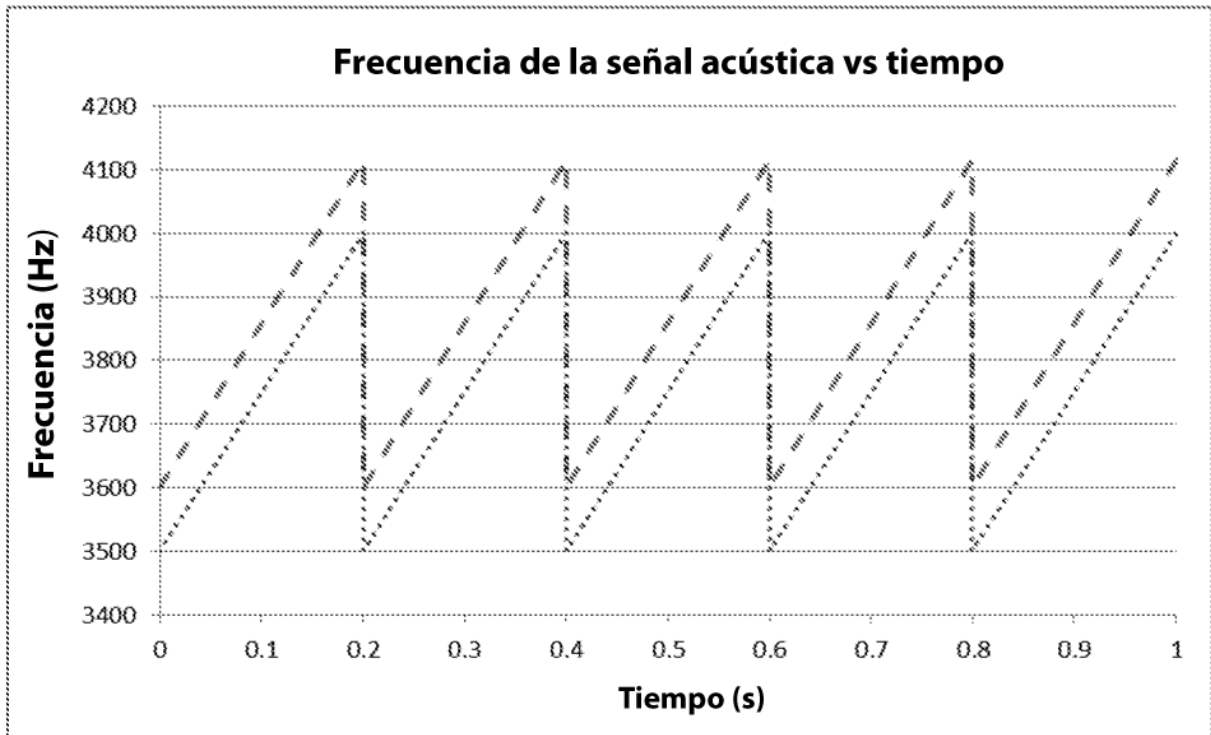


Figura 6

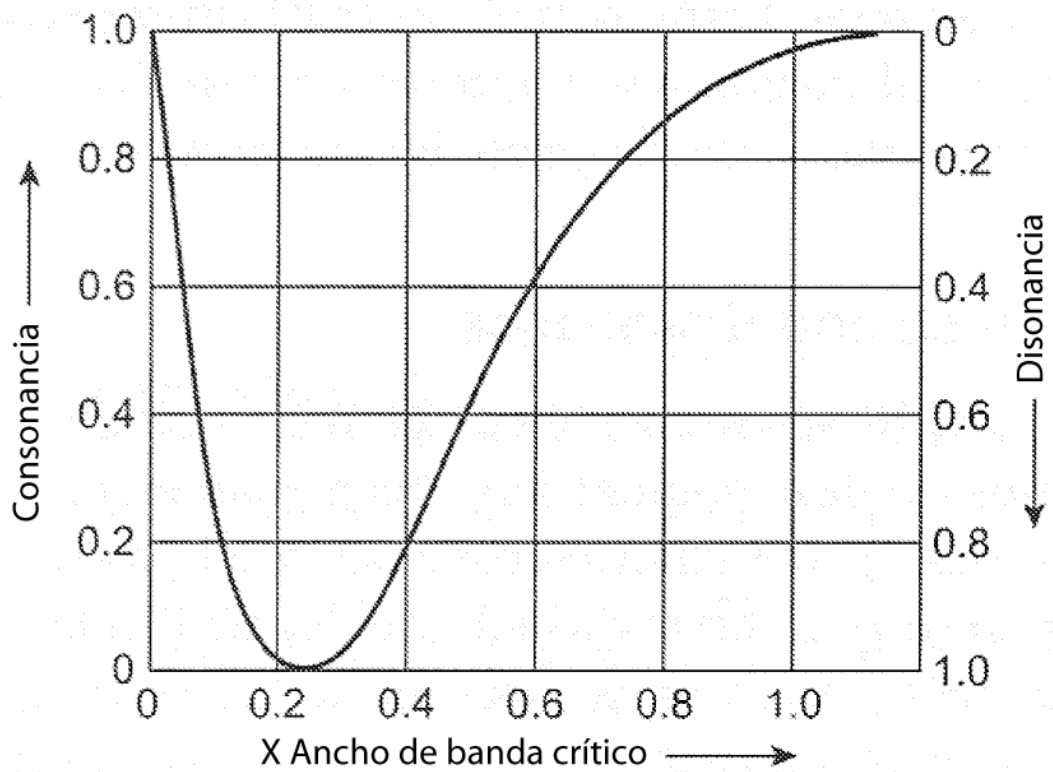


Figura 7

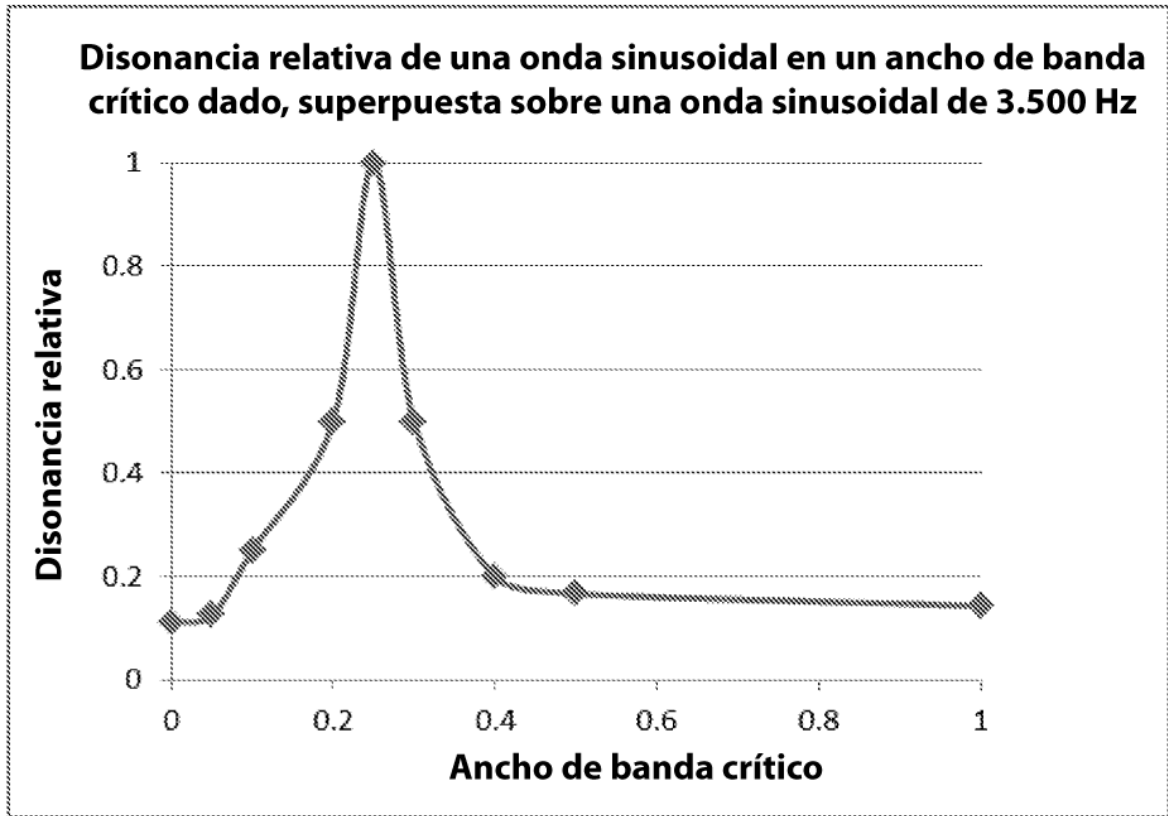


Figura 8

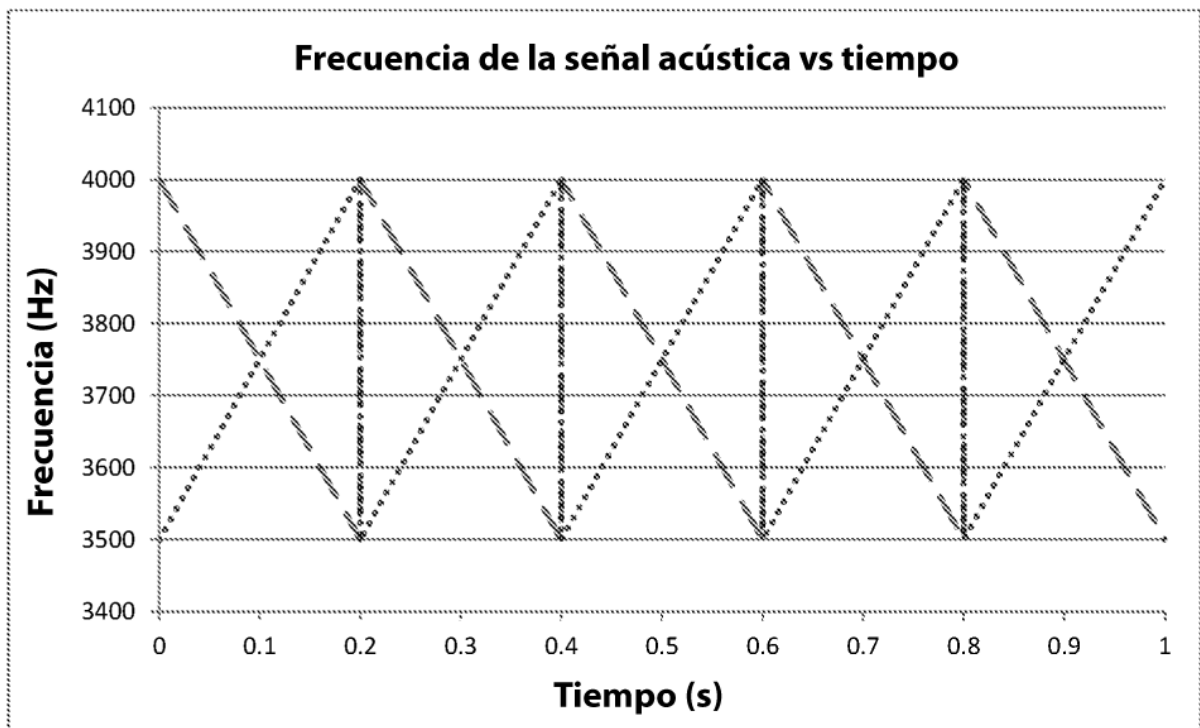


Figura 9

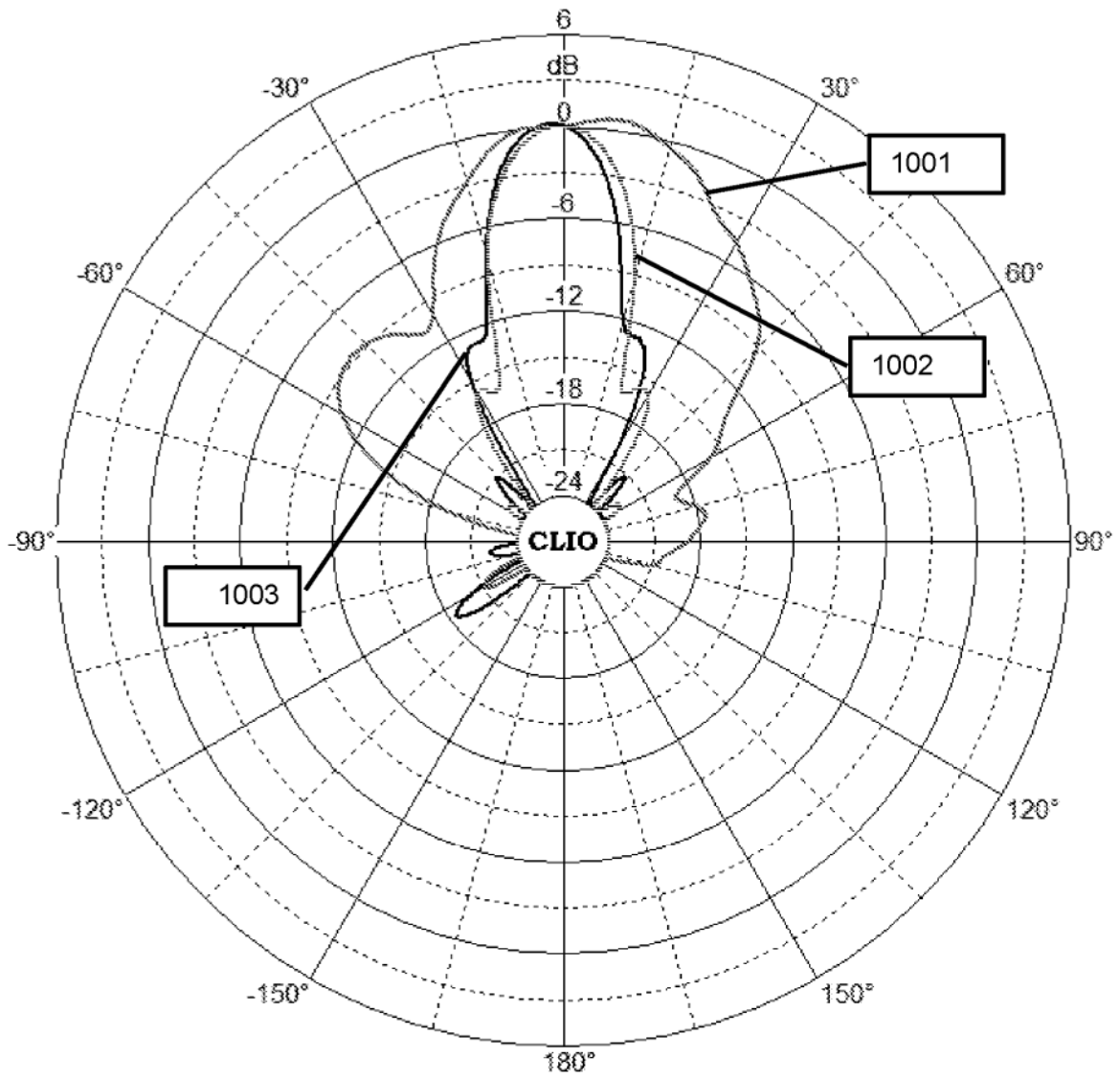


Figura 10

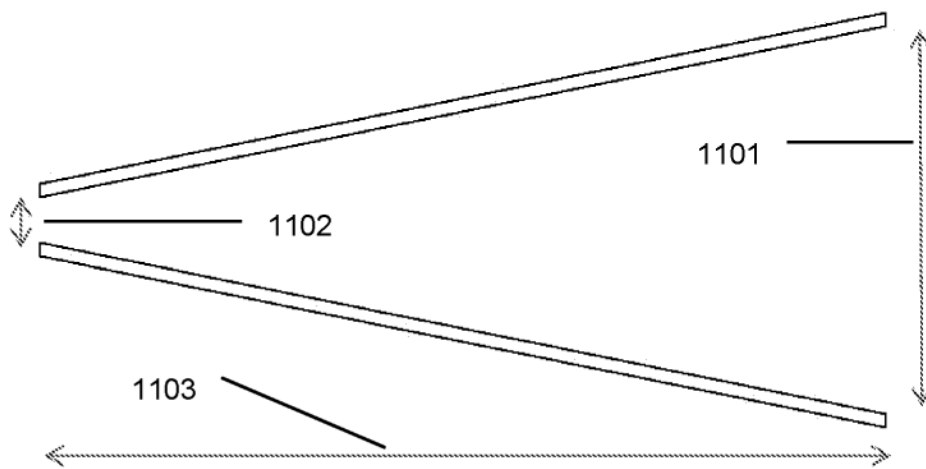


Figura 11

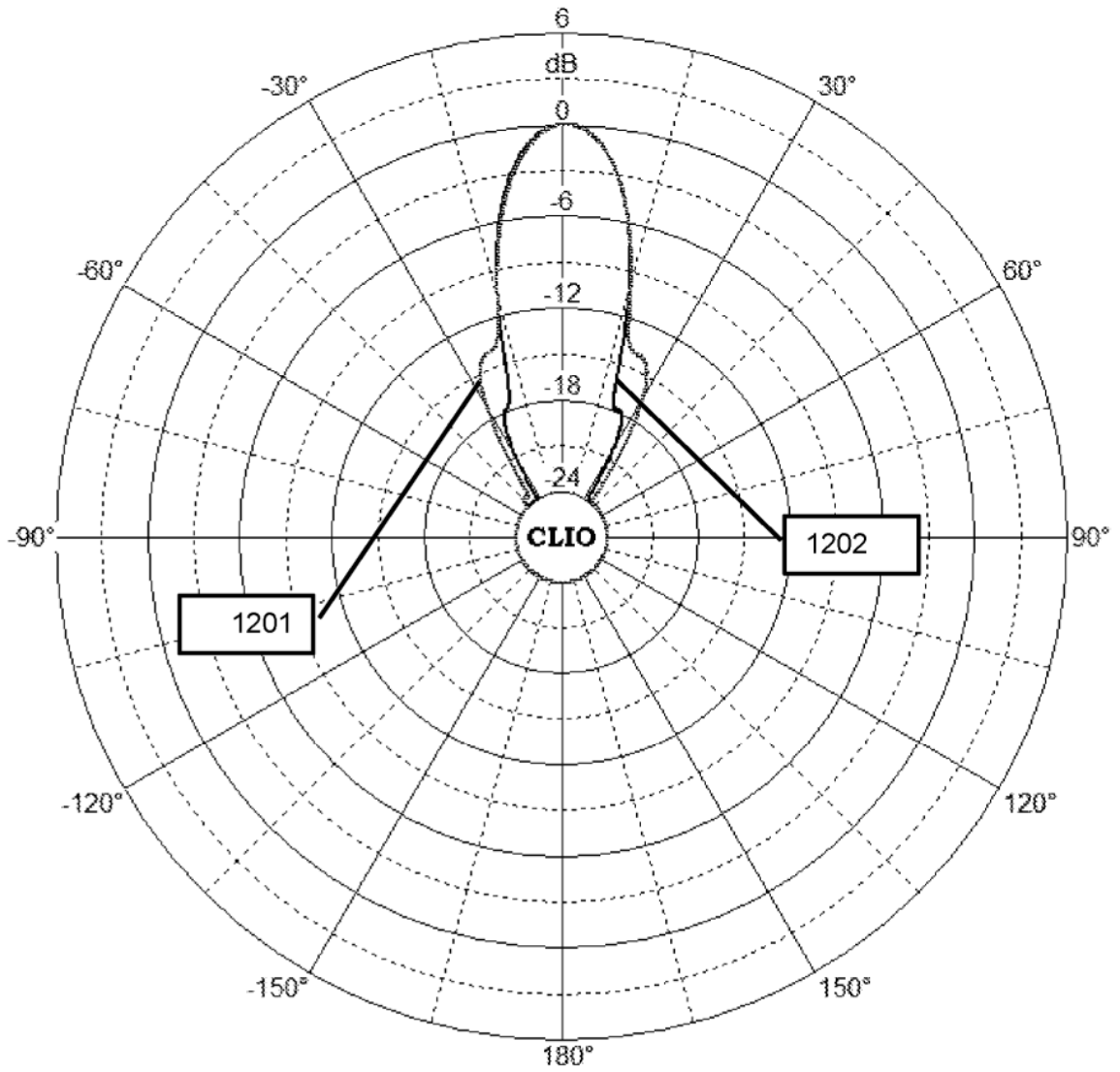


Figura 12

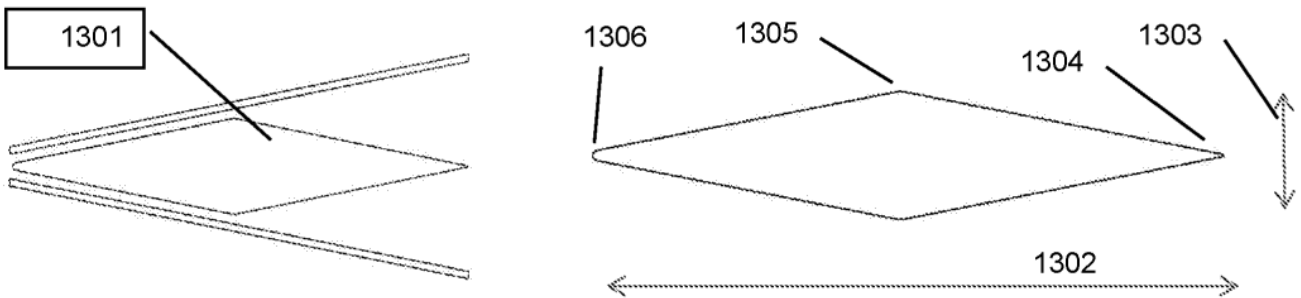


Figura 13

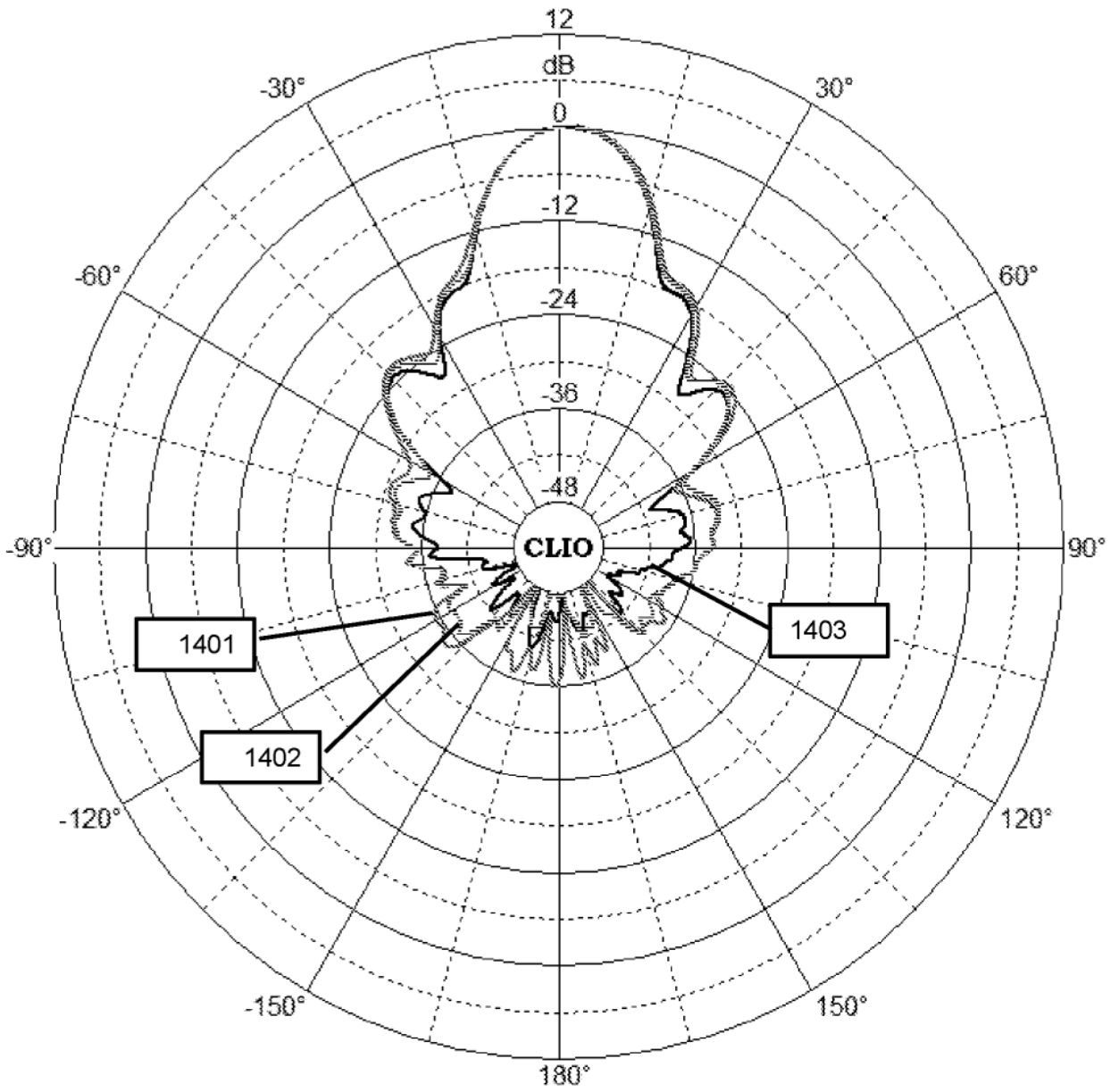


Figura 14

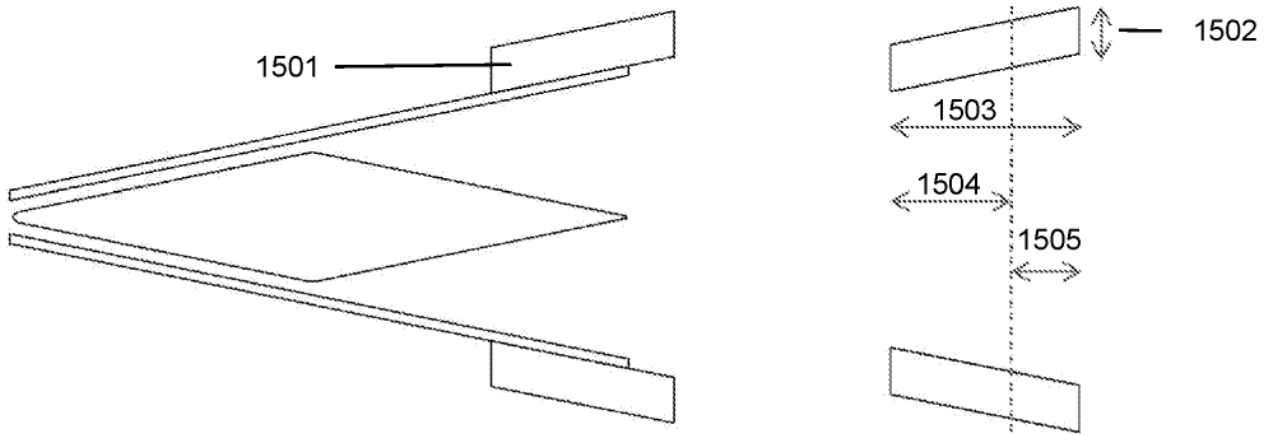


Figura 15

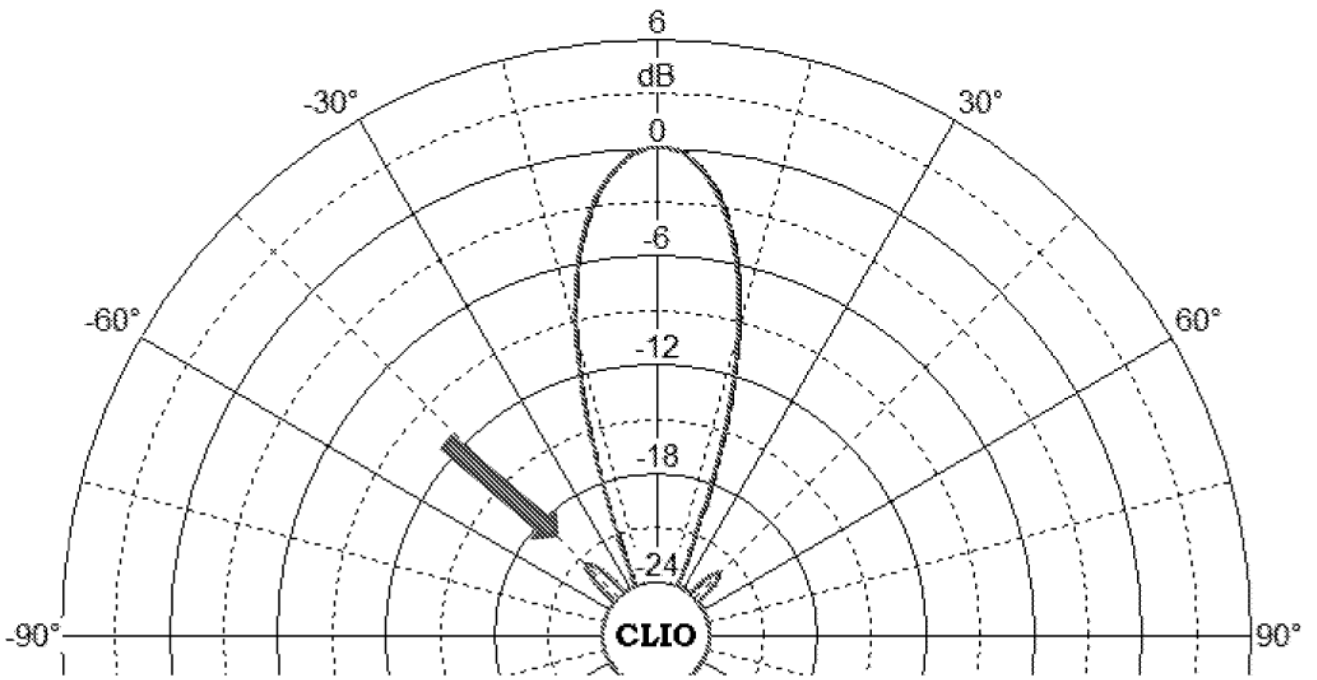


Figura 16

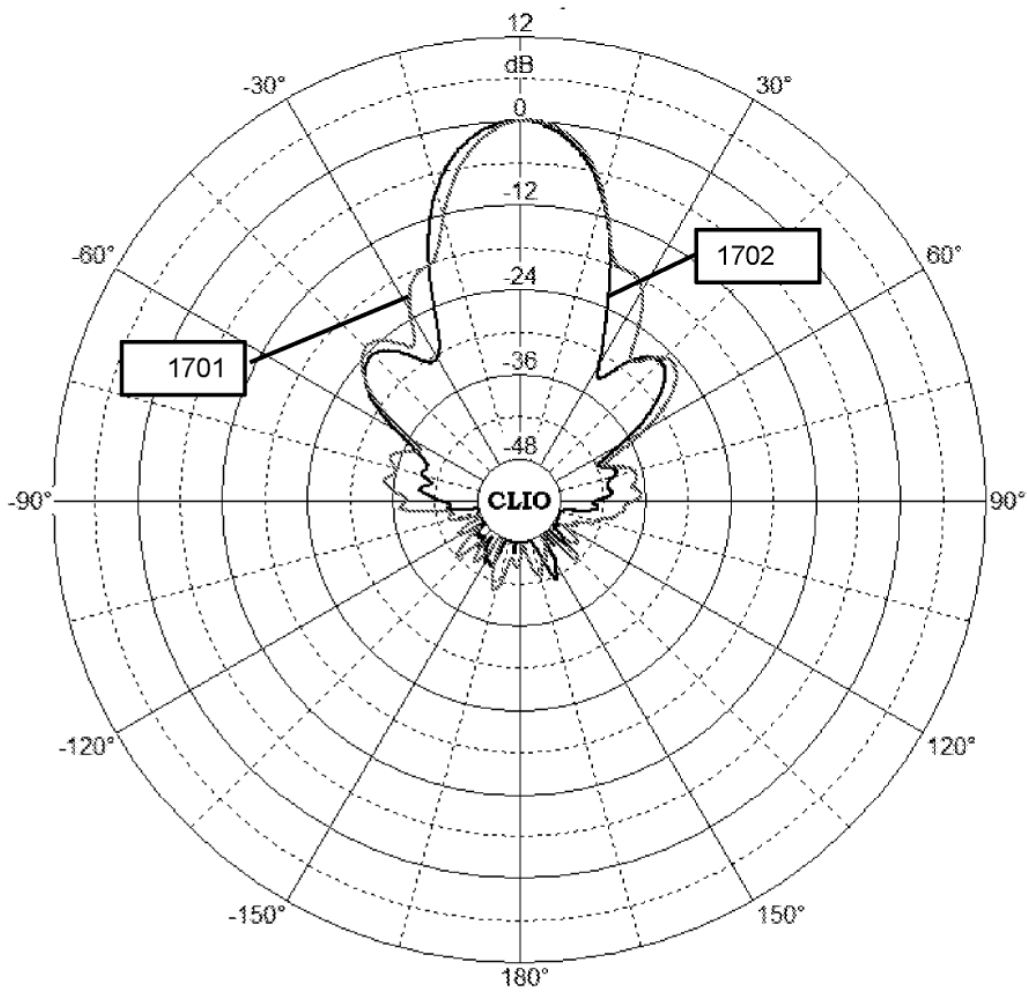


Figura 17

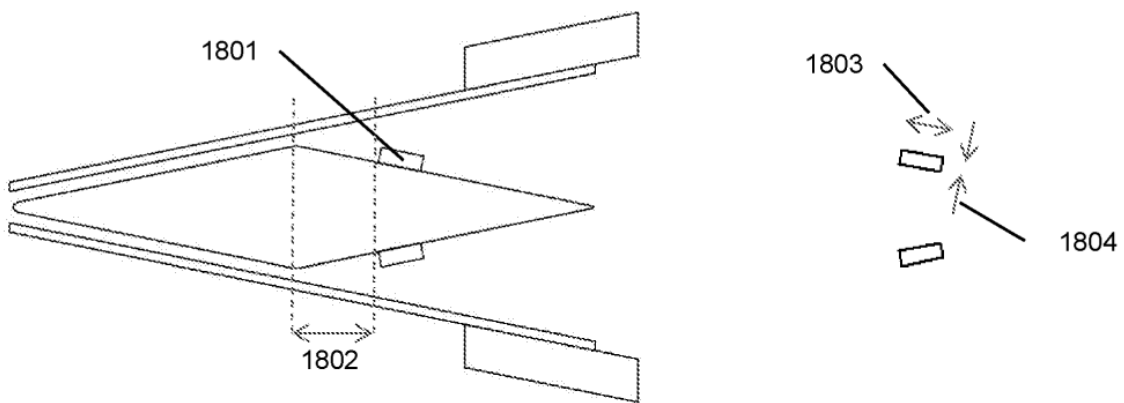


Figura 18

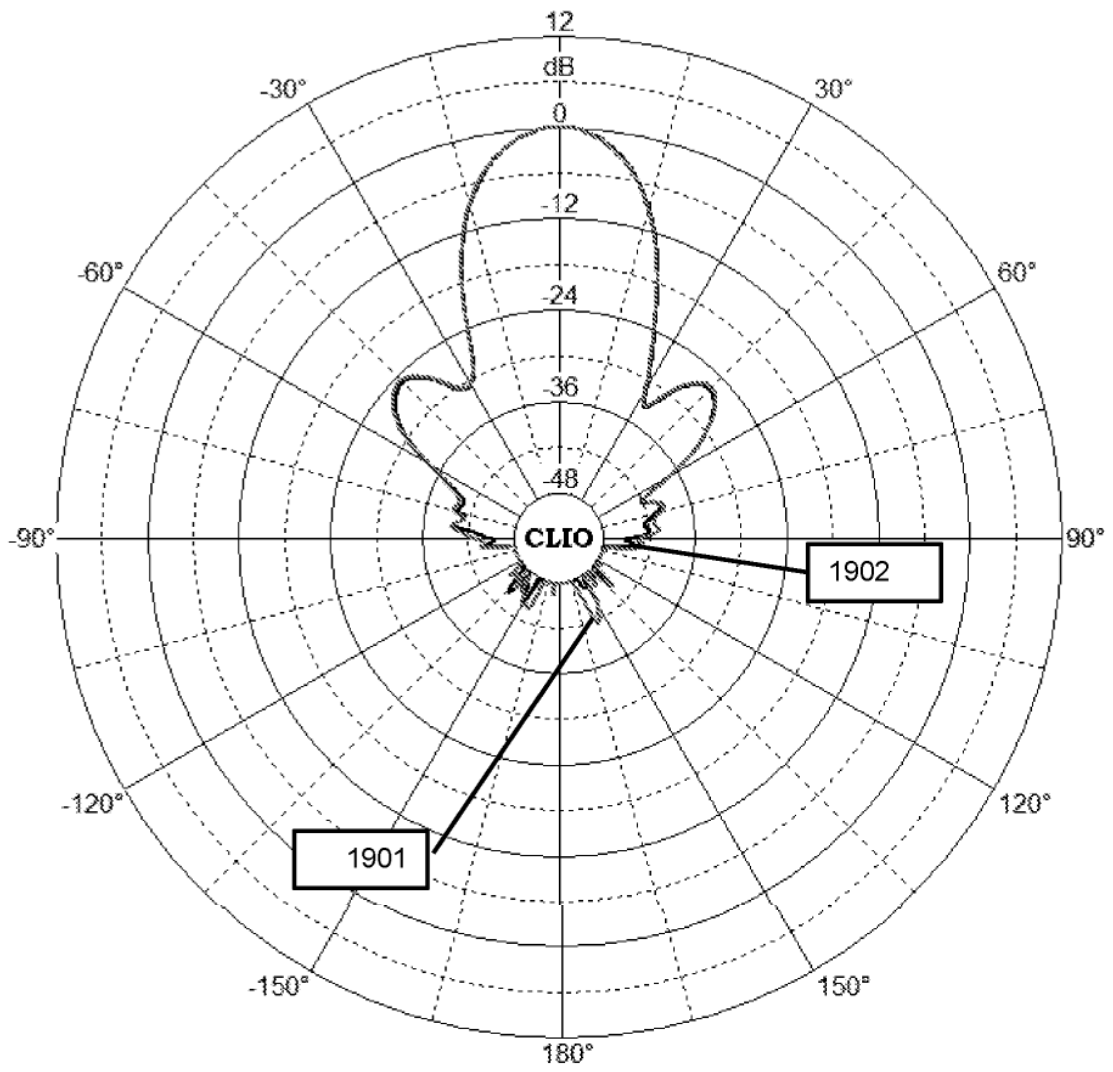


Figura 19

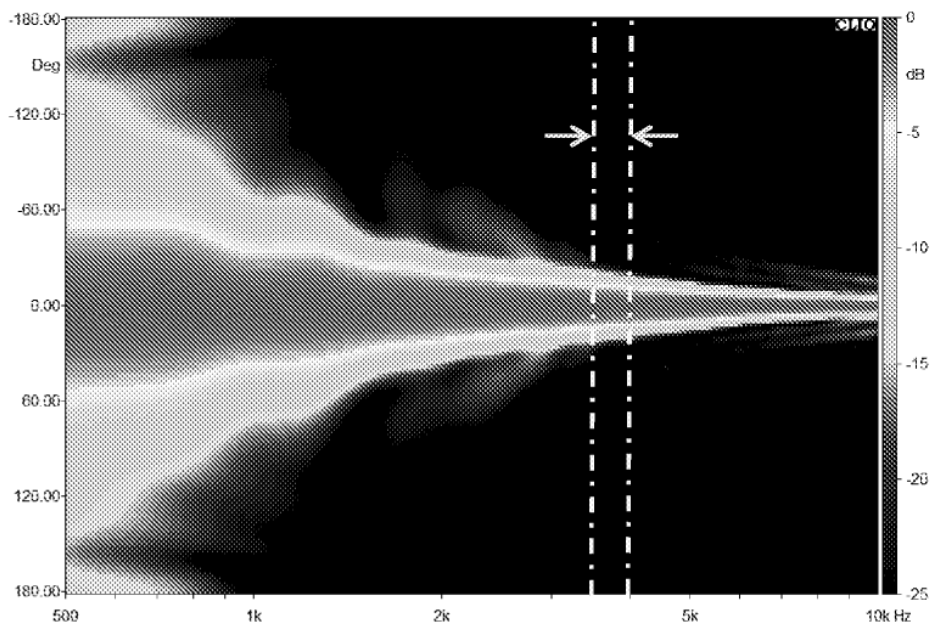


Figura 20

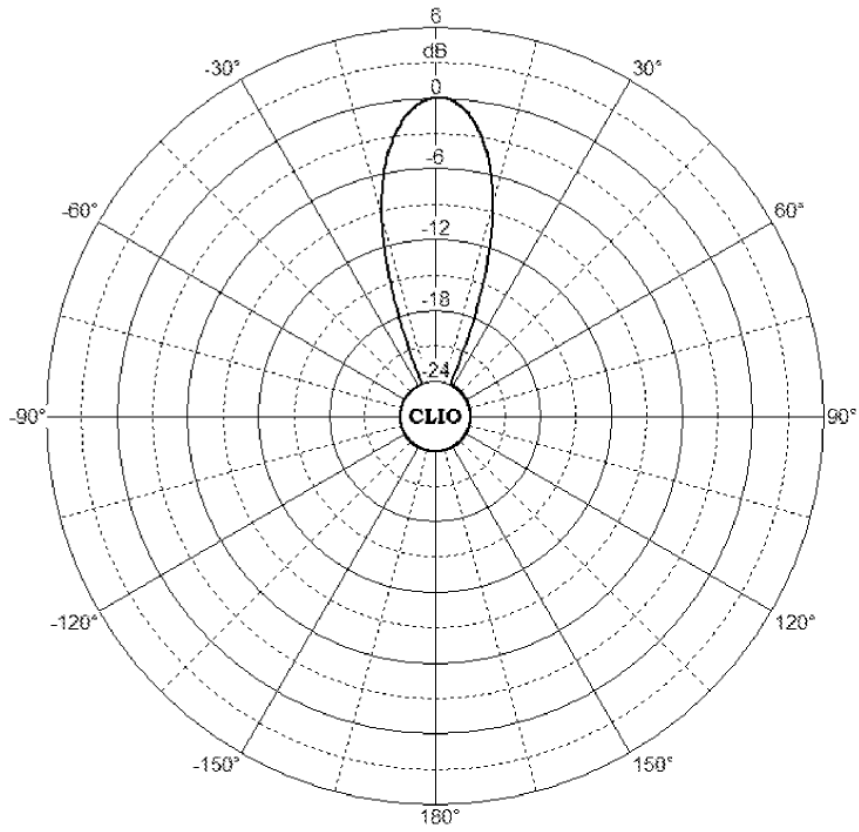


Figura 21

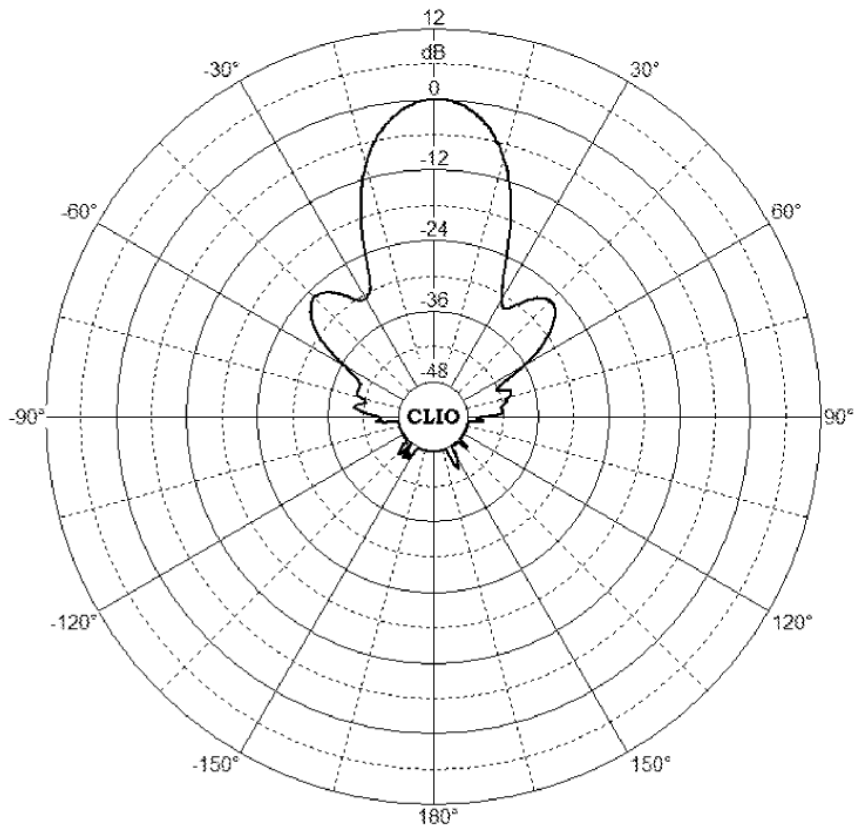


Figura 22

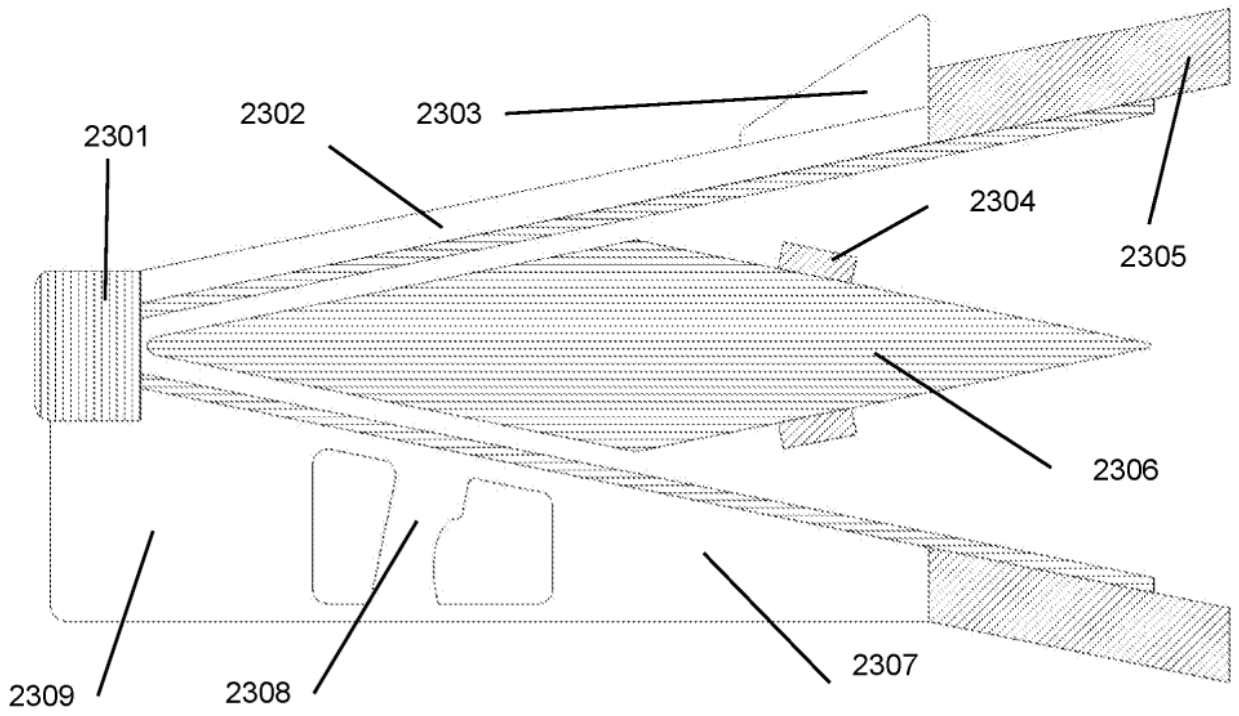


Figura 23

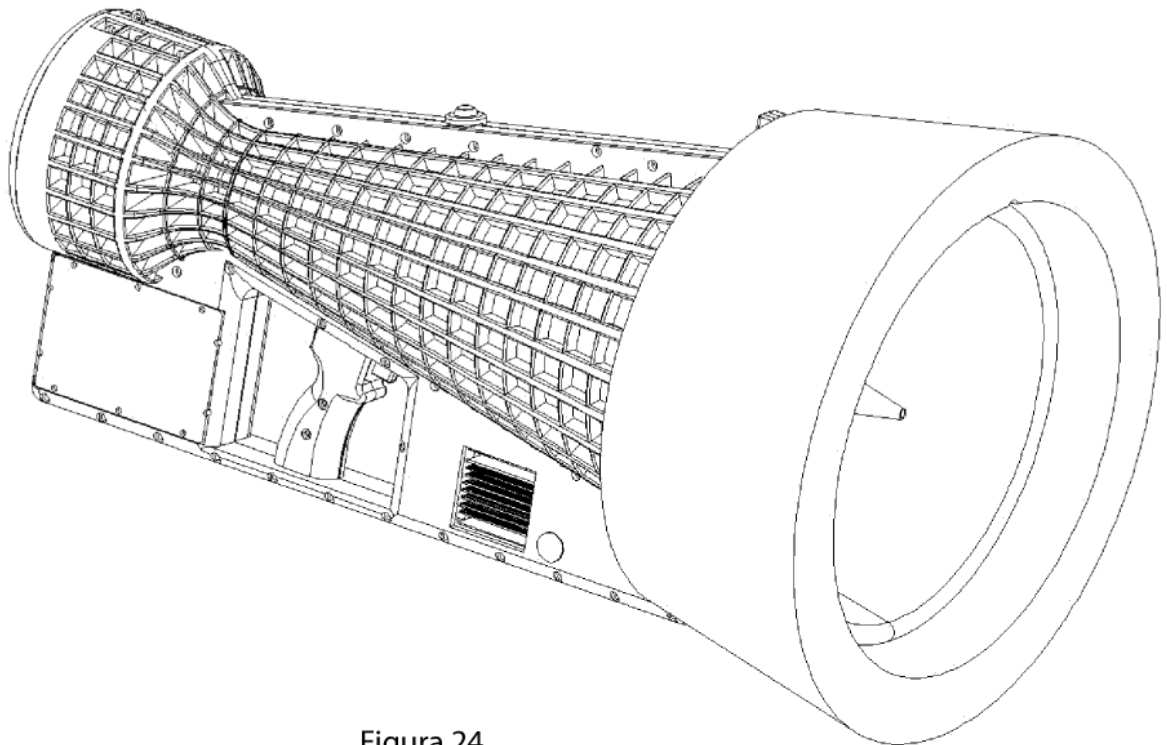


Figura 24

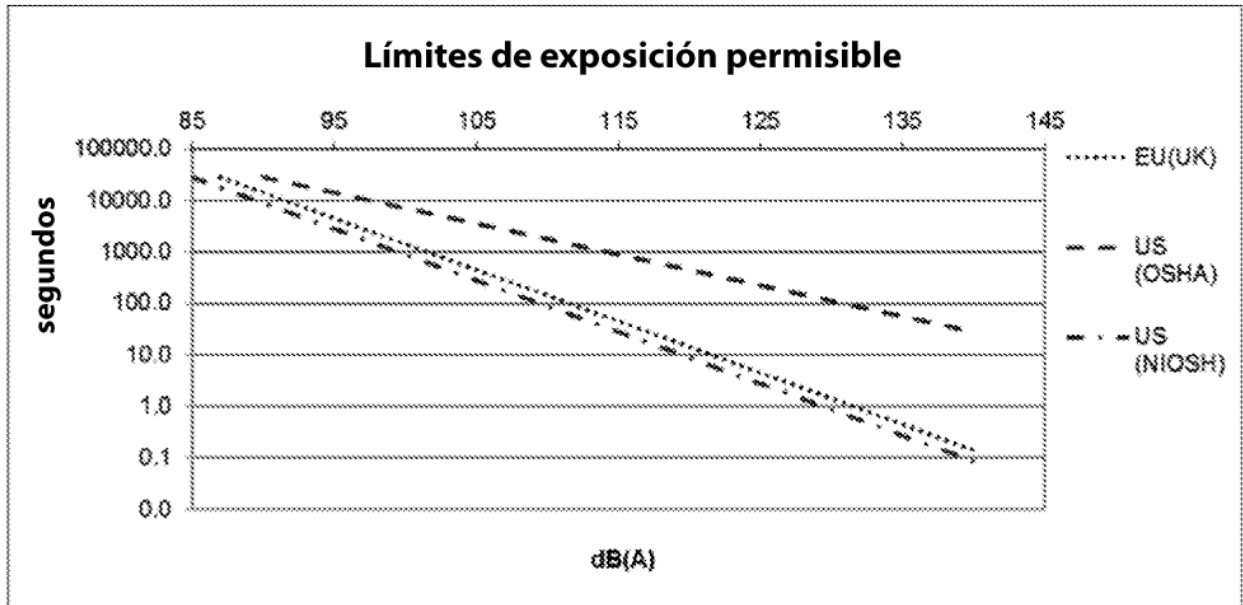


Figura 25

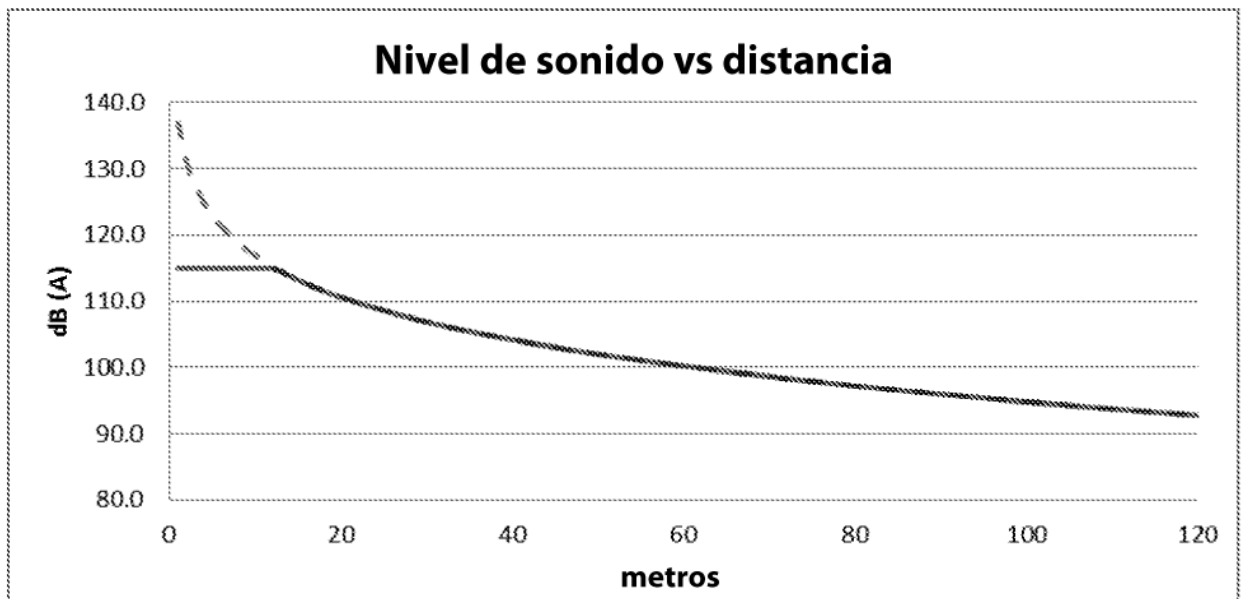


Figura 26

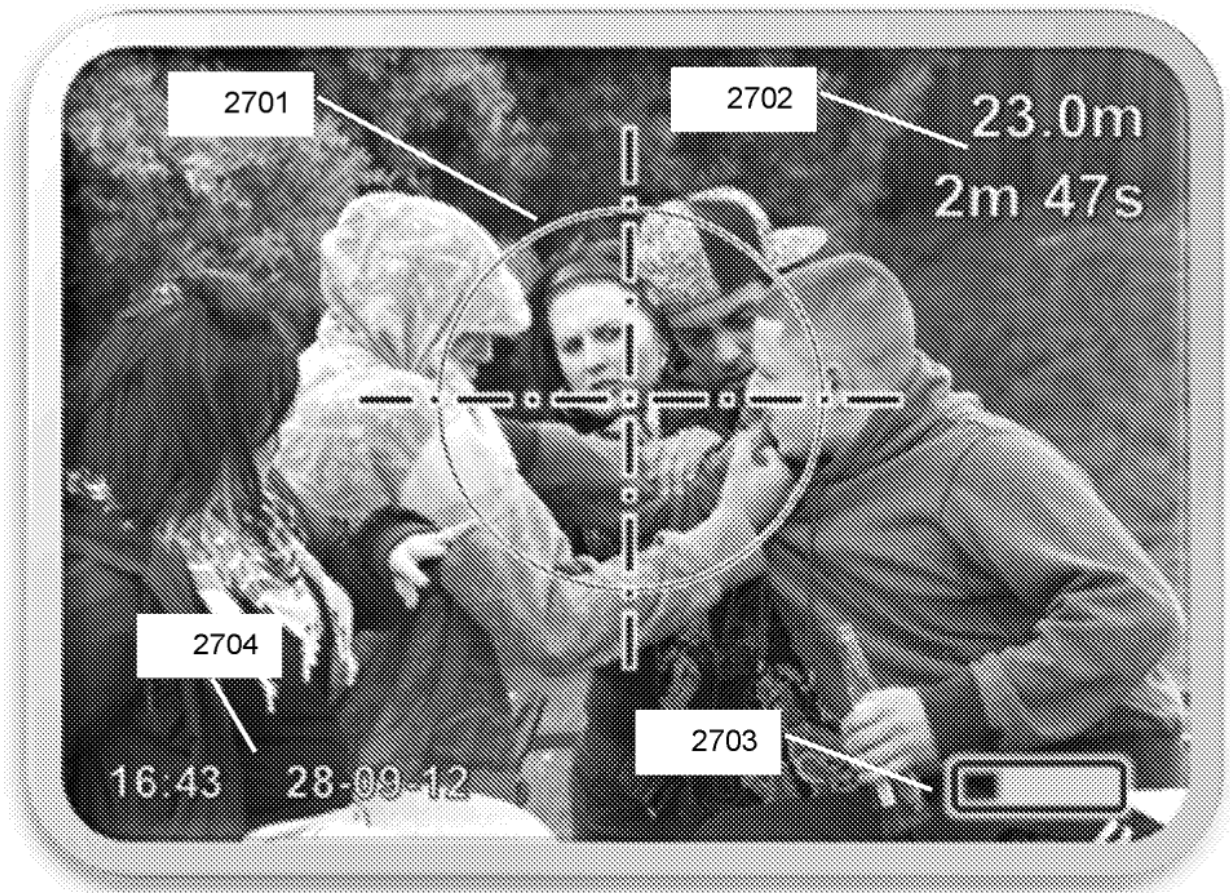


Figura 27

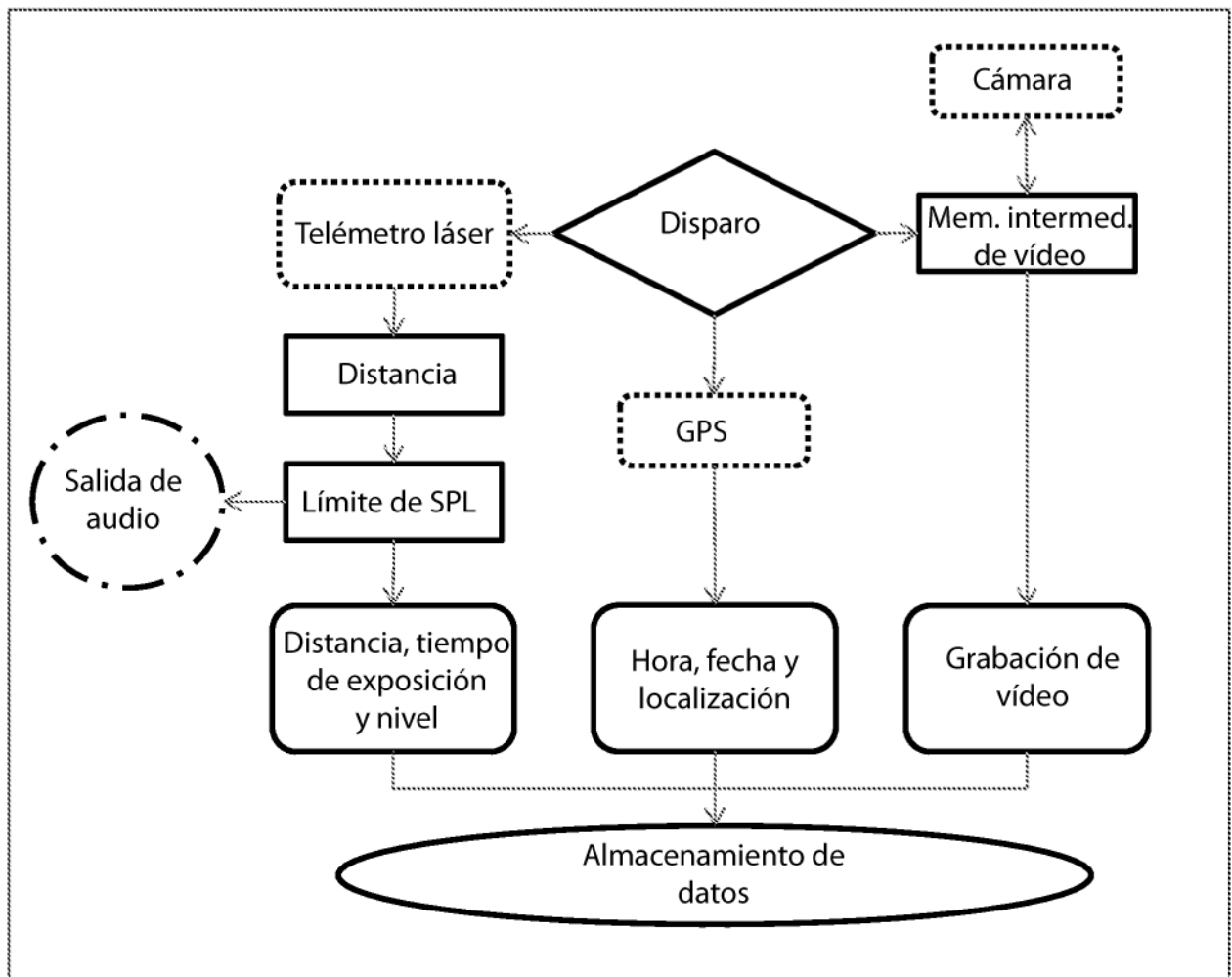


Figura 28