

PatrAc

PSE-380000-2008-7

Patrimonio Accesible: I+D+i para una cultura sin barreras

E2.14.1 – SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA
INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



PLAN NACIONAL
DE I+D+I

C 2030
Construcción
I+D+i

Índice

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y TEORÍA BÁSICA.	- 4 -
2. SOLUCIONES COMERCIALES.	- 10 -
2.1. SISTEMAS DE REFUERZO SONORO TRADICIONAL.	- 10 -
2.1.1. FUNCIONAMIENTO.	- 10 -
2.1.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES.	- 14 -
2.2. TECNOLOGÍA DE REFUERZO SONORO (LINE ARRAYS).	- 16 -
2.2.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.	- 16 -
2.2.2. LINE ARRAYS – SOLUCIONES COMERCIALES.	- 21 -
2.2.2.1. AXYS® INTELLIVOX.	- 21 -
2.2.2.1.1. DIGITAL DIRECTIVITY CONTROL (DDC).	- 22 -
2.2.2.1.2. DIGITAL DIRECTIVITY SÍNTESIS (DDS).	- 24 -
2.2.2.1.3. EJEMPLOS DE INSTALACIONES.	- 26 -
2.2.2.1.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES.	- 30 -
2.2.2.2. ICONYX® RENKUS-HEINZ.	- 31 -
2.2.2.2.1. EJEMPLOS DE INSTALACIONES.	- 33 -
2.2.2.2.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES.	- 34 -
2.3. SISTEMAS DE FOCALIZACIÓN DE SONIDO.	- 36 -
2.3.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.	- 36 -

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

2.3.2. APLICACIONES.....	- 39 -
2.3.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	- 40 -
3. SOLUCIONES EN DESARROLLO.....	- 42 -
3.1. SENSORIZACIÓN DEL ESPACIO.....	- 42 -
3.2. ACTUACIÓN SOBRE EL MENSAJE EMITIDO.....	- 44 -
3.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS SOLUCIONES PRESENTADAS.-	47 -
ANEXO – PATENTES MENCIONADAS.....	- 49 -

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y TEORÍA BÁSICA.

El objeto del presente estudio es realizar un análisis de las soluciones de mejora electroacústica existentes comercialmente y en desarrollo cuya utilización puede estar especialmente indicada para edificios y recintos cuya utilización hace que sea necesaria la actuación sobre la acústica de los mismos, pero sus características históricas y patrimoniales hacen que sea imposible aplicar métodos de acondicionamiento acústico mecánicos que implicarían el tratamiento o modificación de la geometría de los recintos y/o el tratamiento de los materiales que recubren las superficies de los mismos.

Antes de pasar a describir cada una de las soluciones, se va a hacer una pequeña descripción teórica de los principales parámetros y definiciones que se utilizarán en la descripción de las soluciones técnicas.

La inteligibilidad es la relación entre las palabras entendidas por una audiencia respecto de la totalidad de las palabras emitidas por un interlocutor dentro de un recinto. El método clásico para ponderar la inteligibilidad consiste en que una persona de excelente dicción lea una serie de palabras distintas y pida a un grupo seleccionado de oyentes que las escriban. El promedio de las palabras correctamente entendidas dividido por el número de palabras emitida da un valor de inteligibilidad. Se expresa generalmente en porcentaje.

Los principales factores que influyen en la inteligibilidad de un mensaje son:

- las características de la fuente (ancho de banda y relación señal-ruido).
- la relación entre el sonido directo y el reverberante (que dependerá de la ubicación del oyente dentro de la sala).
- el tiempo de reverberación.
- las reflexiones de gran magnitud (ecos).
- el ruido de fondo.
- la atención del oyente.

De todos estos factores, habitualmente es posible influir sobre el ruido de fondo presente en el lugar y sobre el tiempo de reverberación del recinto.

El tiempo de reverberación (RT60) es el tiempo que tarda un sonido en atenuarse 60dB dentro de un recinto después de que la fuente sonora ha dejado de emitir. Su unidad de medida es el segundo.

En la siguiente figura se muestra la relación entre la señal anecoica (en rojo) y la señal agregada por la reverberación (en verde).

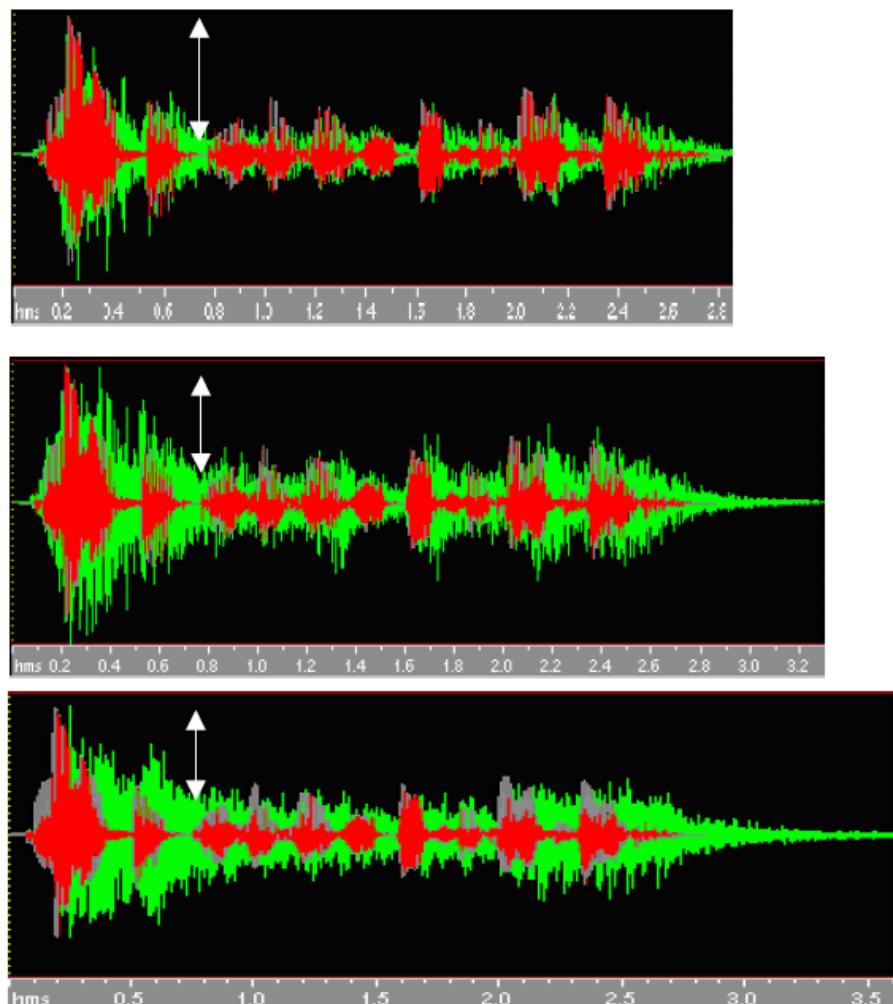


Fig. 1 - Señal anecoica y reverberación.

Pese a que el conocimiento del tiempo de reverberación en un recinto puede dar una idea de su inteligibilidad, es posible cuantificarla mediante el uso de los siguientes parámetros:

- %ALCons.
- STI.
- RASTI.

%ALCons

%ALCons representa las siglas de “Articulation Loss of Consonants”, es decir, es el porcentaje de pérdida de la articulación de las consonantes. Por tanto, cuanto mayor sea, menor será la inteligibilidad de la palabra.

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

Es un término definido por el investigador holandés V.M.A. Peutz, que obtuvo una serie de informes de distintas salas, basados en encuestas realizadas a un conjunto de espectadores. Éstos debían escuchar una lista de "logatomos" (consonante-vocal-consonante) y escribir lo que habían entendido.

De acuerdo con los resultados, se podía deducir el porcentaje de aciertos y, por tanto, cómo era la inteligibilidad de la palabra en la sala. Pero, Peutz quería obtener una expresión matemática para medirla, sin necesidad de llevar a cabo laboriosas investigaciones. Para ello, apoyándose en la teoría estadística consiguió obtener una relación con el tiempo de reverberación:

$$\%ALCons \equiv \frac{200 \cdot r^2 \cdot RT^2}{V \cdot Q} \quad \text{si } r \leq 3,16 \text{ Dc}$$

$$\%ALCons \equiv 9 \cdot RT \quad \text{si } r > 3,16 \text{ Dc}$$

siendo:

r: distancia a la fuente sonora (en metros).

V: volumen de la sala (en m^3).

Q: directividad de la fuente. En el caso de la voz humana, para una posición frontal a la fuente, Q=2.

RT: tiempo de reverberación (en segundos).

Dc es la distancia crítica que limita qué ecuación debe usarse. Se calcula mediante:

$$D_c \equiv 0,14 \sqrt{Q \cdot R}$$

Donde R es la constante característica de la sala, definida como:

$$R \equiv - \frac{S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}{(1 - \bar{\alpha})}$$

En la práctica, se suele escoger como valor representativo el de la banda de octava centrada en 2kHz, pues es el que más influye en la inteligibilidad de la palabra.

STI

STI significa "Speech Transmission Index" y fue definido por Houtgast y Steeneken en la primera mitad de la década de los 70. Puede tomar valores comprendidos entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad óptima). El STI se calcula a partir de la reducción de

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

los diferentes índices de modulación "m" de la voz debida a la existencia de reverberación y de ruido de fondo en una sala, de la siguiente manera:

- 1) Se transmite en el recinto, un conjunto de señales moduladas en amplitud con un índice de modulación conocido min. Se definen 7 frecuencias portadoras, correspondientes a las frecuencias centrales de las bandas de octava normalizadas entre 125 y 8000 Hz, y cada una de estas señales es modulada con las siguientes frecuencias F_m : 0.63, 0.8, 1.0, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.15, 4, 5, 6.3, 8, 10 y 12.5 Hz. Puede comprobarse que se trabaja, por tanto, con un conjunto de 98 señales.
- 2) Se mide la reducción que experimenta el índice de modulación para cada una de las señales utilizadas. Esta reducción del índice de modulación es debida a la reverberación y al ruido de fondo, y se traduce en una pérdida de inteligibilidad.

La expresión utilizada para medir la reducción del índice de modulación, asociada a cada par de frecuencias F_m y F_0 , es:

$$m(F_m, F_0) \equiv \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \cdot F_m \cdot f(F_0)}{13.8} \right)^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{\frac{S/N(F_0)}{10}}}$$

donde:

$f(F_0)$: función representativa de la reverberación de la sala. Se le puede asignar el valor de TR o el de EDT.

$S/N(F_0)$: relación señal-ruido correspondiente a la banda centrada en F_0 .

Puesto que hay 14 frecuencias F_m y 7 F_0 , habrá 98 valores $m(F_m, F_0)$, que serán truncados para permanecer en el rango de valores (-15,15) dB, de forma que STI no supere los márgenes (0,1).

- 3) Se calcula la relación señal-ruido aparente media correspondiente a cada banda de octava (frecuencias F_0). Para ello, primero se obtiene la relación señal-ruido aparente asociada a cada índice $m(F_m, F_0)$:

$$(S/N)_{ap}(F_0, F_m) = 10 \log \left(\frac{m(F_m, F_0)}{1 - m(F_m, F_0)} \right)$$

Y finalmente:

$$\overline{(S/N)}_{ap}(F_0) = \frac{\sum_{F_m} (S/N)_{ap}(F_m, F_0)}{14}$$

- 4) Se deduce la relación señal-ruido aparente media global, teniendo en cuenta el distinto efecto de cada banda de frecuencia sobre la inteligibilidad:

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

$$\begin{aligned}
 \overline{(S/N)}_{ap} = & 0,01 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(125Hz) + 0,042 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(250Hz) \\
 & + 0,129 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(500Hz) + 0,2 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(1kHz) \\
 & + 0,312 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(2kHz) + 0,25 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(4kHz) \\
 & + 0,057 \cdot \overline{(S/N)}_{ap}(8kHz)
 \end{aligned}$$

5) Se calcula STI mediante:

$$STI \equiv \frac{\overline{(S/N)}_{ap} + 15}{30}$$

RASTI

Son las siglas de “Rapid Speech Transmission Index”. Surge como simplificación del parámetro STI para reducir el tiempo de cálculo.

Este índice, patentado por la empresa danesa Brüel y Kjaer, se calcula reduciendo el número de frecuencias moduladoras y portadoras:

F_0 (Hz)	F_m (Hz)				
500	1	2	4	8	
2000	0.7	1.4	2.8	5.6	11.2

Como consecuencia, el número de índices $m(F_m, F_0)$ pasa de ser 98 a ser 9. Y la expresión final de RASTI coincide con la de STI, cambiando el valor de la relación señal-ruido aparente media global:

$$\overline{(S/N)}_{ap} = \frac{\sum_{F_0, F_m} (S/N)_{ap}(F_0, F_m)}{9}$$

La siguiente tabla recoge la correspondencia entre la inteligibilidad de la palabra en una sala y su valor de %ALCons y STI o RASTI:

%ALCons	STI / RASTI	Inteligibilidad
0 % – 1.4 %	0.88 – 1	Excelente
1.6 % – 4.8 %	0.66 – 0.86	Buena
5.3 % – 11.4 %	0.5 – 0.64	Aceptable
12 % – 24.2 %	0.36 – 0.49	Pobre
27 % – 46.5 %	0.24 – 0.34	Mala

En el uso diario de edificios patrimoniales, se hace imprescindible que haya un correcto grado de comprensión del mensaje oral o inteligibilidad de la palabra debido tanto a la obligatoriedad de cumplimiento de la legislación vigente (inteligibilidad de las señales

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

acústicas en caso de evacuación por emergencias) como al uso habitual al que puede estar destinado el recinto en cuestión (iglesias, teatros...)

Cuando para realizar dicho acondicionamiento acústico no se puede actuar físicamente sobre los elementos del edificio en cuestión (paredes, mobiliario, geometría del recinto...), se hace necesario recurrir a técnicas de acondicionamiento electroacústico que, utilizando componentes electrónicos, consigan mejorar las condiciones acústicas del recinto a estudiar.

2. SOLUCIONES COMERCIALES.

2.1. Sistemas de refuerzo sonoro tradicional.

2.1.1. Funcionamiento.

Las grandes catedrales poseen un alto tiempo de reverberación. Este hecho permite obtener elevados niveles de presión sonora a gran distancia del orador. La contrapartida de este hecho es que el orador debe hablar de forma pausada para que su mensaje pueda ser entendido correctamente.

En la actualidad se prefieren recintos menos resonantes, es decir, con bajo tiempo de reverberación en los que se utiliza un sistema de refuerzo de sonido.

La voz humana no posee un gran caudal sonoro, en condiciones normales de conversación puede llegar a niveles del orden de 60 a 65 dB, por lo que se hace necesario implementar sistemas de refuerzo sonoro si se quiere que el mensaje emitido llegue a todas las zonas del recinto en cuestión.

Un sistema de refuerzo sonoro está compuesto por los siguientes componentes:

- Uno o más micrófonos.
- Un conjunto de altavoces.
- Una cadena de amplificación electrónica.

Existen dos planteamientos a la hora de ubicar en un recinto los altavoces del sistema de megafonía:

- Sistema concentrado: colocación de los altavoces agrupados en forma de *piña* (*cluster*).
- Sistema distribuido: distribución de los altavoces en diferentes puntos del espacio.

La concentración de altavoces es recomendable cuando las condiciones acústicas del espacio son buenas, es decir, cuando los objetivos acústicos inicialmente planteados se han podido alcanzar.

Habitualmente, esta disposición permite conseguir una buena uniformidad de cobertura, ya que los altavoces se hallan relativamente lejos del público. Por otra parte, también permite una simplificación en el diseño del sistema de canalizaciones y cableado que proporciona la señal eléctrica a los altavoces, precisamente debido al hecho de que todos ellos están muy próximos entre sí. Como desventaja respecto al sistema distribuido, cabe destacar la obtención de una menor inteligibilidad de la palabra debido a la mayor distancia entre los altavoces y el público.

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

El sistema distribuido es beneficioso cuando las condiciones acústicas no son todo lo favorables que cabría esperar. Es el caso, por ejemplo, de multitud de polideportivos, estaciones de tren, aeropuertos, catedrales...

El criterio a seguir a la hora de implantar un sistema de megafonía distribuido consiste en situar los altavoces en puntos cercanos a las diferentes zonas de público con objeto de aumentar el nivel de campo directo. Obviamente, para conseguir una uniformidad de cobertura correcta es preciso utilizar muchos más altavoces que en el caso de los sistemas concentrados, lo cual complica y encarece el sistema de canalizaciones y cableado. En cambio, la inteligibilidad de la palabra es mayor, especialmente en todos los puntos situados dentro de la zona de campo directo de cada uno de los altavoces utilizados.

Por otro lado, los altavoces no deben colocarse enfrentados, especialmente si la distancia entre los mismos es grande, ya que ello probablemente daría lugar a la aparición de ecos en diferentes puntos del recinto. Es el caso, por ejemplo, de aquellos polideportivos con un tratamiento acústico adecuado, pero con un conjunto de altavoces distribuidos de forma perimetral por detrás de las gradas de público, como si se tratase de focos de luz. Además, si el espacio es muy reverberante, es conveniente utilizar el máximo número de altavoces posible y aplicarles una potencia eléctrica mínima a fin de que su contribución al nivel de campo reverberante sea, igualmente, mínima.

En ocasiones, se utiliza un sistema híbrido constituido por un sistema de altavoces concentrado (sistema principal) y un conjunto de altavoces adicionales (altavoces satélite), estratégicamente distribuidos con objeto de reforzar todas aquellas zonas que resultan ser más problemáticas.

A continuación se muestra un ejemplo de sistema de megafonía distribuido correspondiente a la catedral nueva de Vitoria. Dicha catedral presenta una planta cruciforme, con una longitud de unos 96 m desde el ábside hasta la puerta y de unos 62 m de un extremo al otro del crucero. El edificio está formado por 5 naves: una central de unos 12 m de anchura, dos naves intermedias cada una con una anchura aproximada de 8 m, y dos naves externas laterales de 6,5 m de anchura. La altura es de unos 17 m y el volumen aproximado de 93.000 m³.

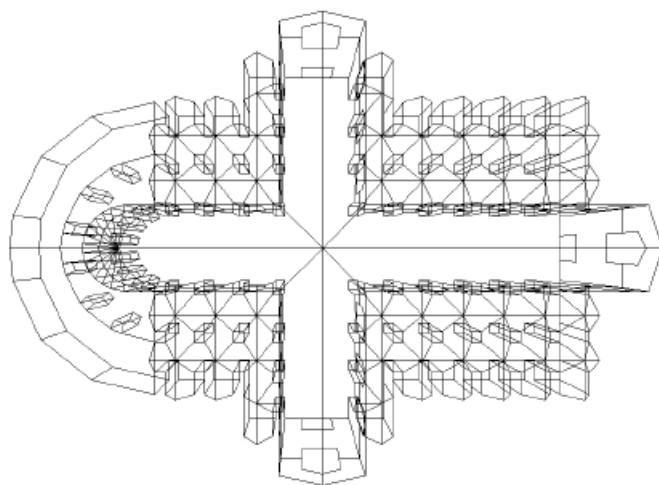


Fig. 2 - Catedral de Vitoria: modelo informático elaborado para la posterior simulación electroacústica.

En la siguiente imagen se puede ver una propuesta de ubicación del sistema principal de megafonía cuyo objetivo es lograr los siguientes objetivos:

$$L_p \geq 90 \text{ dB}$$

$$L_p \leq \pm 3 \text{ dB} \text{ (bandas de 500 Hz y 2 kHz)}$$

$$\text{RASTI (recinto ocupado y sistema de megafonía en marcha)} \geq 0,50$$

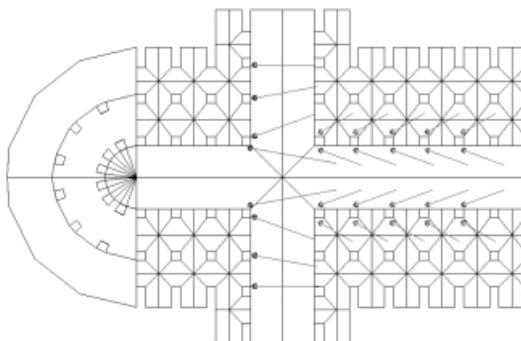


Fig. 3 - Catedral de Vitoria: ubicación de las cajas acústicas propuestas (vista en planta).

La siguiente figura representa los mapas de niveles de presión sonora correspondientes a las bandas de nivel de presión sonora correspondientes a las bandas de 500Hz y 2 kHz:

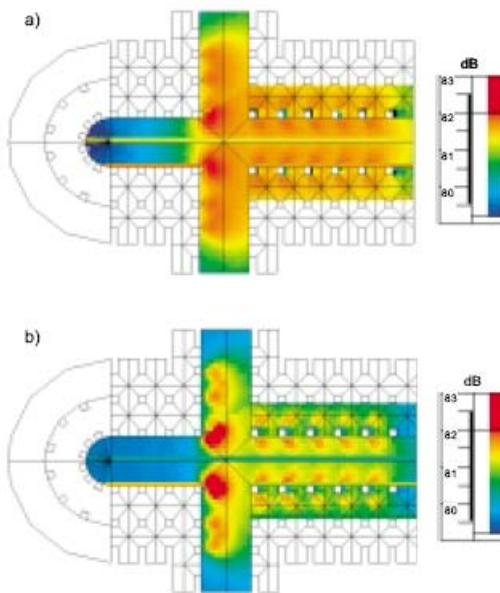


Fig. 4 - Catedral de Vitoria: mapas de nivel de presión sonora correspondientes a las bandas de: a) 500 Hz; b) 2 kHz

Como se puede observar, el nivel medio de presión sonora en cada banda de octava es de aproximadamente 82 dB.

El nivel total de presión sonora L_p se obtiene como suma de las contribuciones de todas las bandas de octava reproducidas por los altavoces utilizados. Como dicho nivel está, como mínimo, 8 dB por encima del nivel correspondiente a cada octava, resulta que:

$$L_p \approx 90 \text{ dB}$$

Este nivel coincide con el valor mínimo establecido como objetivo.

Por otro lado, la cobertura obtenida en las dos bandas de interés es:

$$\Delta L_p = \pm 1,5 \text{ dB} \text{ (bandas de 500 Hz y de 2 kHz)}$$

Por lo tanto, en ambas bandas, la variación es inferior a la máxima permitida de ± 3 dB.

En cuanto a la inteligibilidad de la palabra, en la figura siguiente se muestra el mapa de valores de %ALCons suponiendo que el recinto está ocupado:

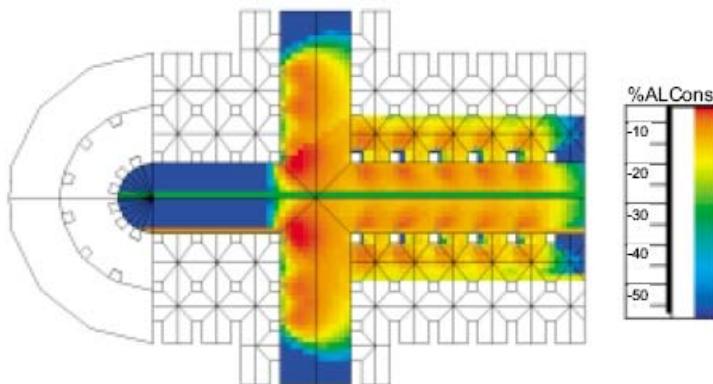


Fig. 5 - Catedral de Vitoria: mapa de valores de %ALCons (recinto ocupado).

Según se observa, los valores de %ALCons oscilan entre:

$$8 \leq \%ALCons \leq 20\%$$

Ello equivale a unos valores de RASTI entre:

$$0,40 \leq RASTI \leq 0,56$$

Como cabía esperar por el gran volumen del recinto y la falta de tratamiento acústico del mismo, el cumplimiento del objetivo establecido ($RASTI \geq 0,50$) solamente tiene lugar en las zonas más próximas a los altavoces. En cualquier caso, estos resultados son mucho más favorables que los que se obtendrían con un sistema de altavoces concentrado.

2.1.2. Ventajas e inconvenientes.

El uso de sistemas de refuerzo sonoro tradicionales en recintos patrimoniales permite mejorar las condiciones acústicas del mismo sin necesidad de actuar sobre los elementos físicos que lo componen.

En el apartado anterior se ha estudiado el ejemplo de una catedral en la que se ha implementado un sistema de refuerzo sonoro distribuido. Se ha comprobado que dicho sistema permite mejorar mucho la inteligibilidad del recinto.

En dicho ejemplo se ha conseguido la mejora de la inteligibilidad en el recinto por medio de la cobertura zonal de cada altavoz individual. Es decir, cada altavoz influye sobre una zona concreta del espacio total. La principal desventaja de este tipo de sistemas radica en el hecho de que la instalación es compleja debido al mayor uso de cableado y canalizaciones que requiere. Además, para conseguir una distribución uniforme de la inteligibilidad en el recinto, se hace necesario ubicar los altavoces del sistema en posiciones concretas del recinto. Este hecho puede resultar inviable en ocasiones y puede ser una limitación en la implantación de esta solución.

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

Pese a que la implantación de este tipo de soluciones permite mejoras importantes de las condiciones acústicas del recinto, hay que tener en consideración el hecho de que puede existir un impacto visual importante debido al hecho de que, según el caso, puede ser necesario colocar multitud de altavoces a lo largo de todo el recinto.

Finalmente, hay que tener en cuenta también que, en el caso en que las dimensiones del recinto a tratar sean muy grandes, va a ser necesario introducir un cierto retraso en los altavoces más alejados de la fuente del sonido de forma que el sonido emitido por todos los altavoces suene de manera sincronizada y no cree sensaciones de ecos en los oyentes.

Pese a que esta solución es capaz de conseguir buenos resultados, la principal desventaja del mismo radica en el hecho de que el mantenimiento necesario tras la instalación puede ser importante en función del número de altavoces del sistema y de los elementos de amplificación instalados. Esto junto con el hecho de que el número de componentes del sistema instalado puede no ser pequeño encarecerá el proyecto final.

2.2. Tecnología de refuerzo sonoro (Line Arrays).

2.2.1. Principios de funcionamiento.

Un “line array” o matriz lineal, consiste en un conjunto de unidades (altavoces) independientes, apiladas verticalmente para conseguir el efecto de una única fuente sonora de tamaño igual a la suma de las que la componen, y cuyas prestaciones son el resultado de la coherente unión de las mismas. Más adelante se expondrán qué condiciones deben darse para que la unión entre todos los sistemas sea la correcta. Así, con el apilamiento de altavoces, se consigue un estrechamiento de la cobertura vertical, un aumento de la directividad y mayores niveles de presión sonora, que con un cluster compuesto por sistemas convencionales. Por tanto, la idea consiste en tener columnas compuestas por altavoces de bajas, medias y altas frecuencias; todo ello con sistemas modulares, de poco tamaño y peso, y que juntos definan una gran y única fuente sonora: el “line array”.

La principal ventaja de este tipo de sistemas radica en el ahorro de energía, al estrecharse la cobertura vertical y tener fuentes altamente directivas que además producen ondas sonoras que se atenúan únicamente 3dB cada vez que se duplica la distancia y no 6dB, como en los altavoces comunes. En las siguientes imágenes se puede comparar gráficamente la diferencia entre la atenuación de la energía en función de la distancia de un altavoz común (izquierda) y de un line array (derecha):

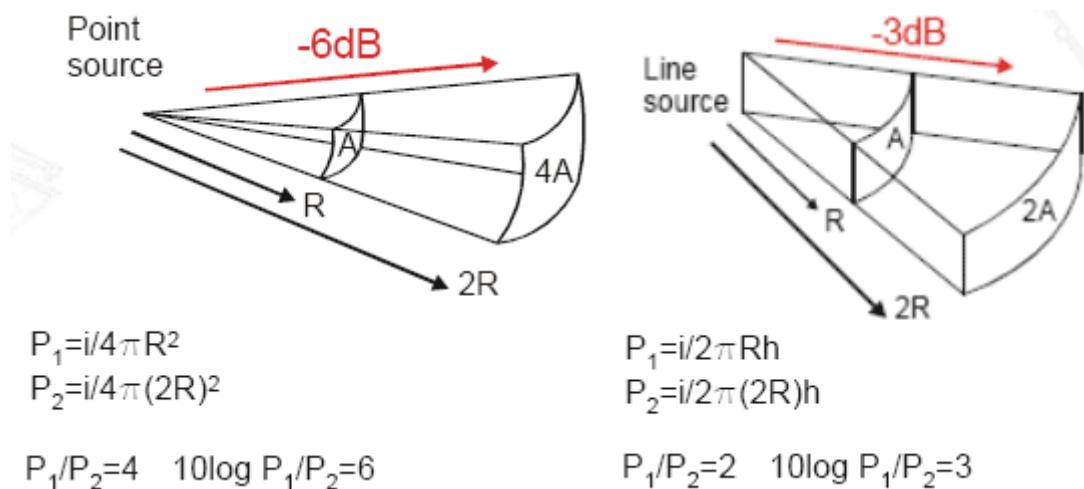


Fig. 6 - Altavoz común (izquierda) y de un line array (derecha).

Al tipo de ondas generadas por un line array se las denomina ondas cilíndricas, y se darán siempre que se cumplan ciertos criterios entre los elementos que configuran el array, hasta una distancia de la fuente dependiente de la frecuencia y altura del mismo.

Las ondas cilíndricas, sólo se expanden en el plano horizontal, y no en el vertical. De esta forma cada vez que se duplica el radio, o la distancia a la fuente sonora, el área aumenta 2 veces, lo que equivale a una pérdida de presión de tan sólo 3dB.

DIFERENCIA ENTRE LA PROPAGACIÓN EN CAMPO CERCANO Y CAMPO LEJANO

Como la longitud del array no es infinita, existirá un punto, dependiendo de la frecuencia, cuyo frente de onda resultante pasará de cilíndrico a esférico.

Este punto es el que separa el campo cercano del campo lejano, por ello cuanto mayor sea el número de cajas más lejos llegara el campo cercano.

Si aplicamos la siguiente formula, tendremos la relación entre longitud del array y el límite del campo cercano:

$$D = H^2 f / 2c$$

Donde:

H= Altura del array.

f= Frecuencia.

c= velocidad del sonido.

Realmente el comportamiento en campo cercano de los arrays lineales es más complejo. Cualquier punto dado en el campo cercano está sobre el eje de uno solo de los difusores de alta frecuencia altamente direccionales, pero recibe la energía de baja frecuencia de la mayor parte de los componentes del array. Por esta razón, añadir más componentes al array aumentará la energía de baja frecuencia en el campo cercano, pero las altas frecuencias permanecerán igual.

Por ello, los arrays lineales necesitan ecualización para aumentar las altas frecuencias en campo lejano, la ecualización efectivamente compensa la pérdida por propagación. En el campo cercano, compensa la suma constructiva de las bajas frecuencias y la proximidad a la guía de onda de alta frecuencia.

COBERTURA DEL ARRAY

La cobertura de un sistema es el ángulo determinado por una caída de nivel de presión de 6dB, es decir:

$$\theta_{-6dB} = 2 \sin^{-1} \frac{.6\lambda}{l}$$

Si verificamos esto con el siguiente grafico:

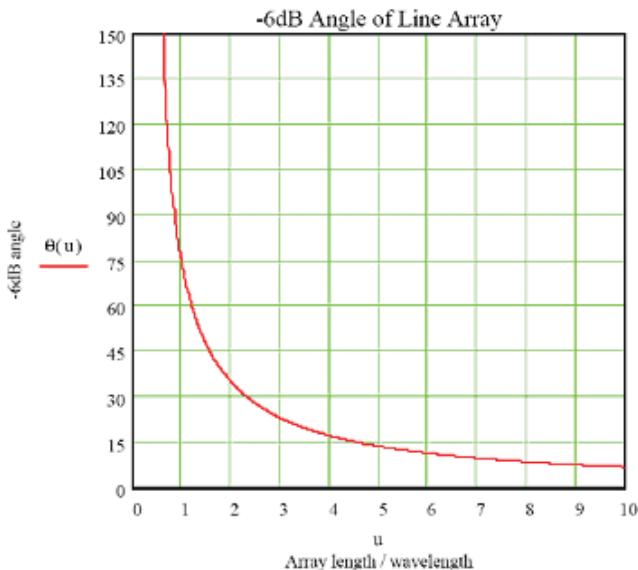


Fig. 7 - Caída de nivel en array.

Para un array lineal plano de 2 m su ángulo de cobertura vertical sería:

Si $f=100$ Hz , $\lambda = 3.4$ m o sea longitud / $\lambda = 0.59$ en el gráfico leemos $> 150^\circ$.

Mientras que si $f=1\text{KHz}$, $\lambda = 0.34$ m longitud / $\lambda = 5.9$ en el gráfico leemos $< 15^\circ$.

LA IMPORTANCIA DE LA FASE

Un array lineal es un grupo de elementos radiantes agrupados en línea recta, espaciados cercanamente y operando con igual amplitud y fase. Descritos por Harry Olson en "Acoustical Engineering", los arrays lineales son útiles en aplicaciones donde el sonido debe ser proyectado a grandes distancias. Esto se debe a que los arrays lineales logran una cobertura vertical muy direccional.

Los arrays lineales logran su directividad mediante interferencia constructiva y destructiva.

La directividad de un altavoz varía con la frecuencia, a baja frecuencia es omnidireccional, al disminuir la longitud de onda, conforme aumenta la frecuencia, su directividad se estrecha.

Apilar dos de estos altavoces, uno sobre el otro, y operar ambos con la misma señal da como resultado un patrón de radiación diferente. En puntos sobre el eje entre ambas habrá interferencia constructiva y la presión sonora aumentará por 6 dB relativos a la presión sonora de una sola unidad. En otros puntos fuera del eje, las diferencias entre las trayectorias producirán cancelaciones, dando como resultado un nivel de presión sonora menor. Esta interferencia destructiva se llama "combing".

Los gráficos que vienen a continuación son los mapas de presión de lo que ocurre con un line array de 8 cajas separadas 0,56 m de centro a centro de cada caja. En los tres primeros casos la separación entre las cajas es inferior a 2/3 de la longitud de onda de la frecuencia que se reproduce.

Para fuentes omnidireccionales, frecuencias graves:

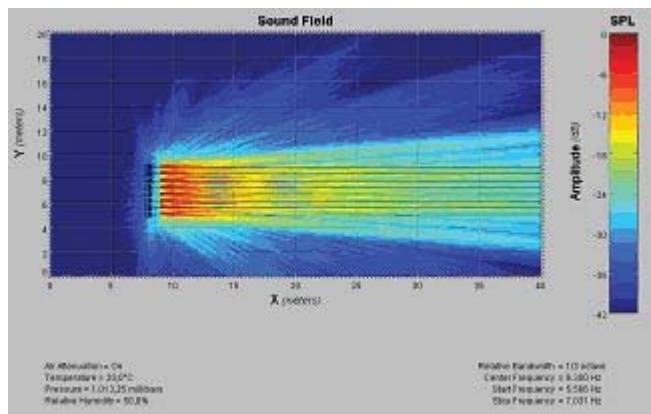


Fig. 8 - Fr: 100Hz.

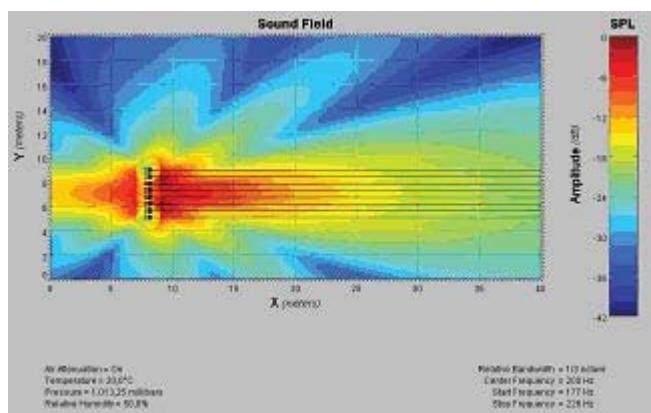


Fig. 9 - Fr: 200Hz.

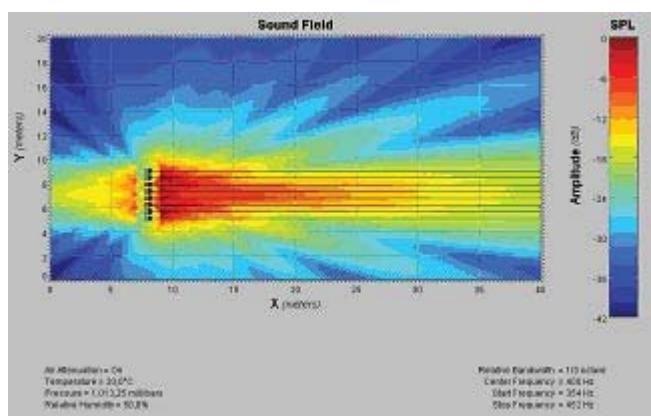


Fig. 10 - Fr: 400Hz.

PRINCIPIOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS LINE ARRAYS

La teoría de los line array funciona mejor para las bajas frecuencias. Al disminuir la longitud de onda, para mantener la directividad son necesarios más elementos (altavoces) pequeños en tamaño y colocados lo más cerca posible unos de otros.

El método más práctico para sistemas de sonorización es usar guías de onda (difusores acoplados a motores de compresión).

Un principio que deben cumplir los difusores es tener la menor separación posible, para ello lo ideal sería emular un listón.

Otro principio fundamental para el funcionamiento correcto de un line array es que la longitud de éste sea mayor que la longitud de onda de la frecuencia mínima que puede ser reproducida.

En el siguiente mapa de presión sonora la longitud de la línea es inferior a su longitud de onda:

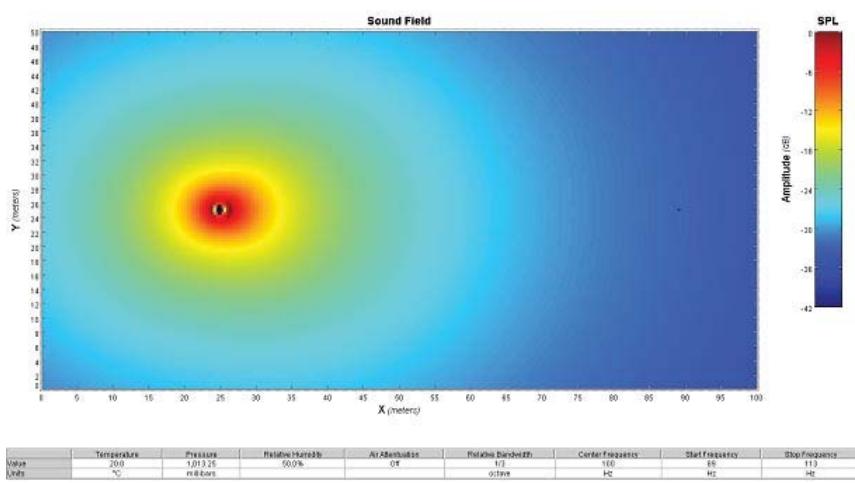


Fig. 11 - Array de dimensión incorrecta.

En el siguiente, sin embargo, la línea es mayor que la longitud de onda:

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

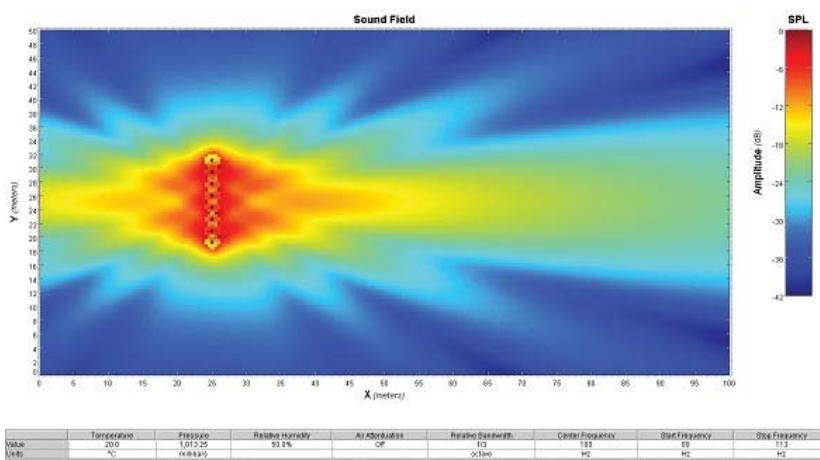


Fig. 12 - Array de dimensión correcta.

Otra particularidad es que al apilar cajas éstas modifican la respuesta en frecuencia total del sistema. Las frecuencias agudas permanecen sin cambio. Esta característica depende del número de cajas pero también del tamaño de estas.

La velocidad del sonido, y por lo tanto su propagación, varía a medida que lo hace la temperatura, es decir, a más grados más velocidad. Y que también existe atenuación debido a la distancia y absorción del aire. Éste sin embargo no es el único parámetro medioambiental que afecta al sonido, uno de los más importantes es la humedad relativa, que se mide en porcentaje.

La interacción de estos dos factores modifica la respuesta en frecuencia del sistema, pero sólo en la zona de agudos.

En un line array siempre es conveniente configurar varios tiros, es decir agrupar determinado numero de cajas para sonorizar diferentes zonas. Asimismo, es necesario tener el control absoluto en cuanto a nivel, ecualización y fase de cada tiro con respecto a los demás. Casi todas las marcas tienen su propio programa, sin uno de éstos la predicción correcta es prácticamente imposible de realizar.

2.2.2. Line Arrays – Soluciones comerciales.

2.2.2.1. AXYS® Intellivox.

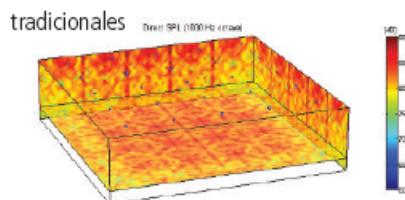
AXYS Intellivox es la gama de productos desarrollados y comercializados por la empresa Duran Audio orientados a conseguir facilitar el diseño de sistemas inteligibles de megafonía o de refuerzo de sonido para espacios con una gran resonancia.

La gama de productos AXYS Intellivox permite diseñar sistemas con una alta relación entre sonido directo – sonido reverberante. Esto quiere decir que permite maximizar el sonido que llega a los oyentes minimizando el sonido que rebota en paredes, techos y demás superficies acústicamente reflectantes del recinto. Para conseguir este efecto, se han

desarrollado dos tecnologías propias, Digital Directivity Control (DDC) y Digital Directivity Síntesis (DDS), que permiten controlar el patrón de directividad vertical de los productos Intellivox y dirigir el sonido donde el diseño requiera.

La imagen siguiente muestra la diferencia entre el efecto conseguido por un sistema de megafonía tradicional y el efecto conseguido por una columna AXYS Intellivox:

Distribución SPL directa para altavoces de techo



Distribución SPL directa para un solo AXYS®

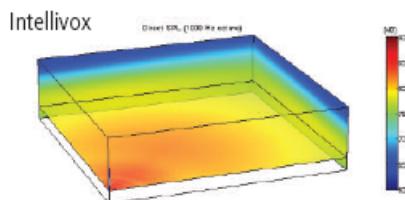


Fig. 13 - Comparación en distribución de presiones.

2.2.2.1.1. Digital Directivity Control (DDC).

DDC es una tecnología de sistemas de altavoces multicanal donde cada canal de los altavoces que compone el sistema dispone de su propia amplificación a través del DSP. Esto implica que cada uno de los altavoces que componen el sistema puede disponer de un tipo de filtros independiente del de los demás altavoces del sistema. Esto permite controlar y dirigir el haz de sonido de forma que es posible mantener una cobertura uniforme en todo el plano de escucha, a la vez que se aparta el haz de las superficies que pueden causar reflexiones no deseadas.

El control individual de cada altavoz que forma el sistema da como resultado una relación de sonido directo / reverberación muy elevada, lo cual permite conseguir unos niveles aceptables de inteligibilidad de la palabra dentro de espacios con mucha resonancia.

La siguiente imagen ilustra la forma en la que el sonido es generado por cada columna Intellivox. En ella se puede comprobar que, ajustando el ángulo de elevación, es posible dirigir el sonido emitido desde el centro acústico.

Group A: Directivity balloon (1000 Hz 1/3-octave)

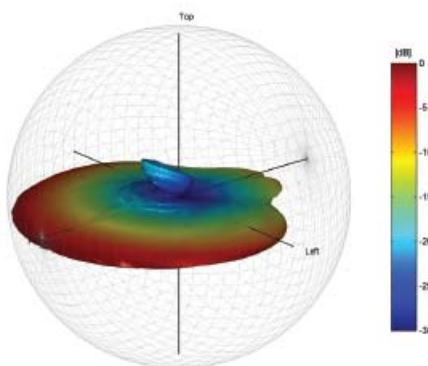


Fig. 14 - Globo de directividad DDC.

A diferencia de los sistemas pasivos dirigidos mecánicamente, es posible controlar también la energía irradiada en la parte posterior. Este control significa que los sistemas Intellivox dirigidos electrónicamente añaden mucha menos energía al campo de resonancia que los sistemas convencionales.

La tecnología DDC tambien permite obtener una distribución uniforme del nivel de presión sonora (SPL) a grandes distancias.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en que se puede apreciar cómo la diferencia de presión sonora a 5 metros o a 50 varía en aproximadamente 1dB:

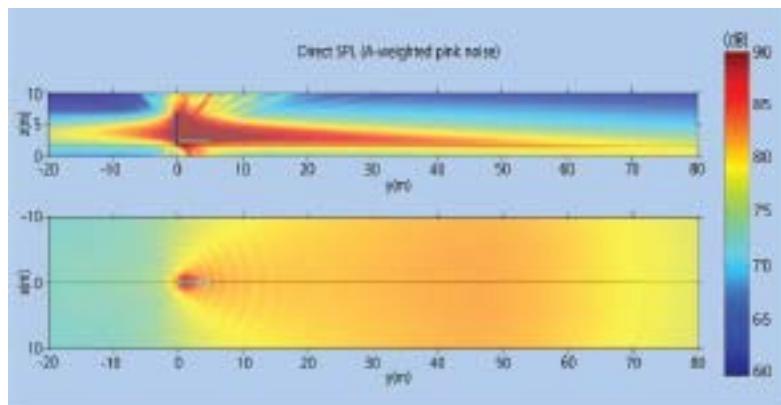


Fig. 15 - Variación de presiones con distancia.

A continuación se enumeran las características más importantes de la tecnología DDC a modo de resumen:

- El sonido se dirige digitalmente al oyente.
- Se refleja menos sonido en las paredes y techos, por lo que se escuchan menos reflexiones.
- La distribución de la potencia disponible del altavoz es altamente eficaz.

- El nivel de presión sonora se mantiene prácticamente constante con la distancia.

2.2.2.1.2. Digital Directivity Síntesis (DDS).

La direccionalidad conseguida mediante la tecnología DDC permite dirigir el sonido en entornos sencillos. Cuando el recinto que se quiere acondicionar es más complejo resulta difícil obtener los resultados deseados mediante esta tecnología.

La tecnología DDS (Digital Directivity Synthesis) permite sintetizar cualquier patrón de radiación 3D desde un sistema de altavoces para adaptarse a las necesidades concretas del local.

DDS está basado en un algoritmo de optimización de mínimos cuadrados ponderados restringidos especialmente adaptado. Partiendo de la distribución deseada de nivel de presión sonora en el recinto a estudiar, se calcula el filtro de salida óptimo para cada canal del sistema.

Por medio de la tecnología DDS es posible definir no solo las áreas a cubrir sino también las áreas a evitar. Esto se realiza definiendo en cada zona un factor de prioridad que se tendrá en cuenta a la hora de realizar los cálculos de configuración del sistema. En la siguiente imagen se explica esto de manera gráfica:

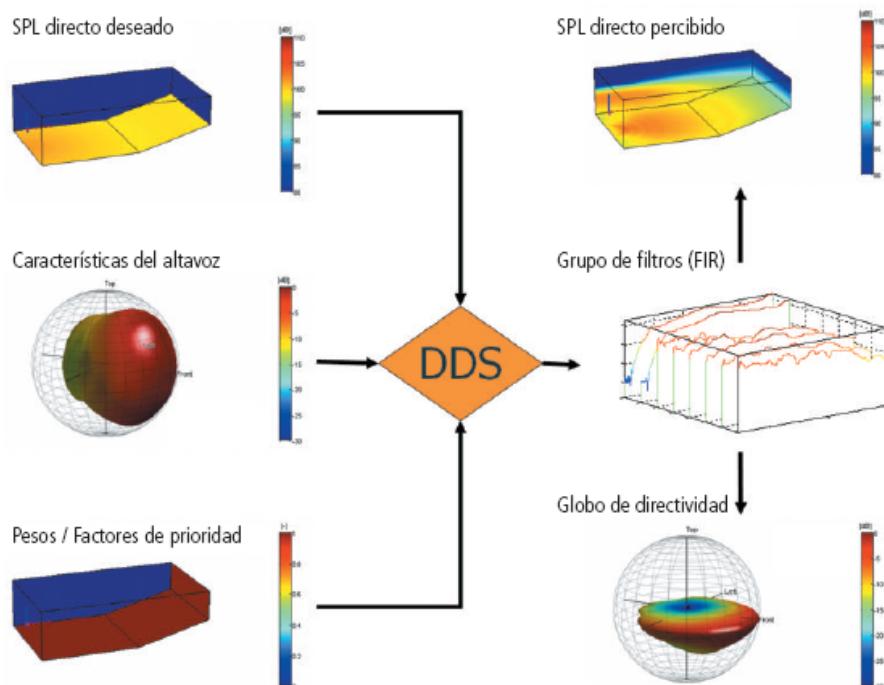
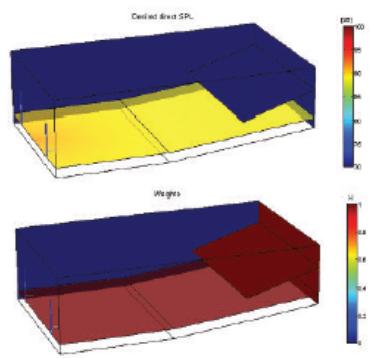


Fig. 16 - Funcionamiento DDS.

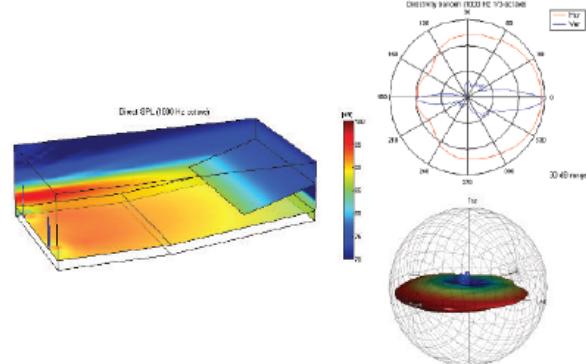
E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

Las siguientes imágenes muestran distintas posibilidades de ajuste para un mismo recinto en función del tipo de distribución de nivel de presión sonora que se quiere conseguir utilizando en todos los casos la misma configuración física del sistema:

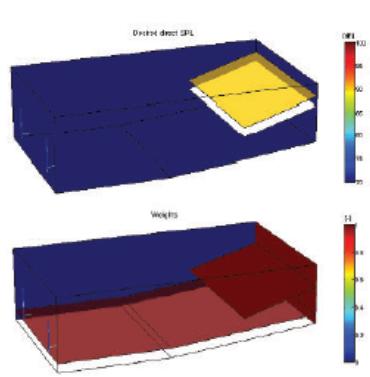
Sólo suelo - Ajustes DDS



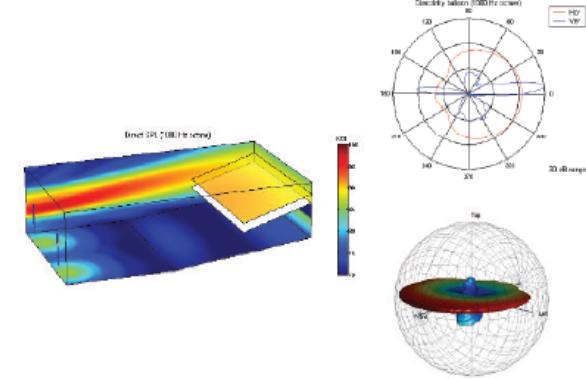
Sólo suelo - Resultados de la optimización DDS



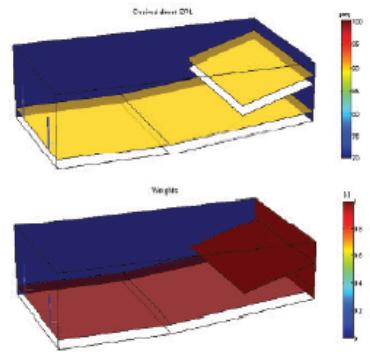
Sólo anfiteatro - Ajustes DDS



Sólo anfiteatro - Resultados de la optimización DDS



Suelo y anfiteatro - Ajustes DDS



Suelo y anfiteatro - Resultados de la optimización DDS

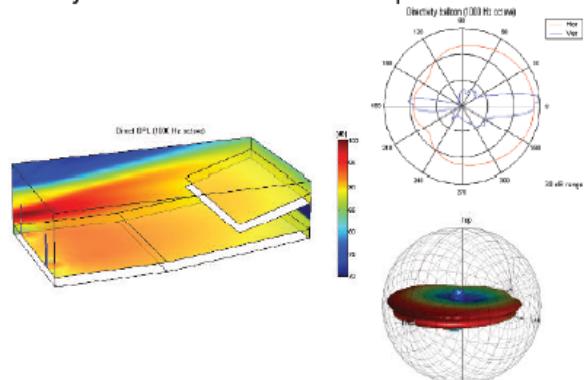


Fig. 17 - Posibles ajustes DDS.

2.2.2.1.3. Ejemplos de instalaciones.**IGLESIA DEL CARMELO (BILBAO)**

Con el fin de poder apreciar la diferencia entre el montaje de un sistema tradicional y el de una instalación real de un sistema Intellivox, se muestra el caso de la Iglesia del Carmelo en Bilbao con una instalación tradicional y con un sistema Intellivox:



Fig. 18 - Iglesia del Carmelo (Bilbao) – sistema de refuerzo sonoro tradicional.



Fig. 19 - Iglesia del Carmelo (Bilbao) – sistema de refuerzo sonoro Intellivox.

En las imágenes anteriores se puede apreciar cómo el impacto visual del sistema tradicional es mucho mayor ya que el número de altavoces es mucho mayor para el mismo recinto.

SIMULACIÓN DEL ATRIO DEL GUGGENHEIM (BILBAO)

Las siguientes figuras muestran parte del proceso de cálculo de una instalación de Intellivox en el Atrio del Museo Guggenheim de Bilbao:

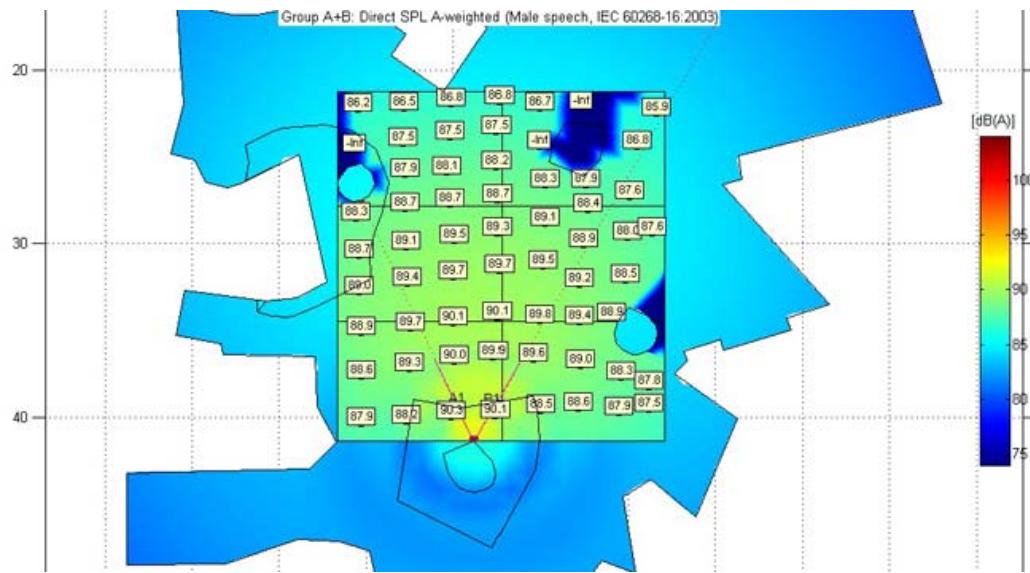


Fig. 20 - Atrio del Museo Guggenheim de Bilbao - Nivel de presión sonora.

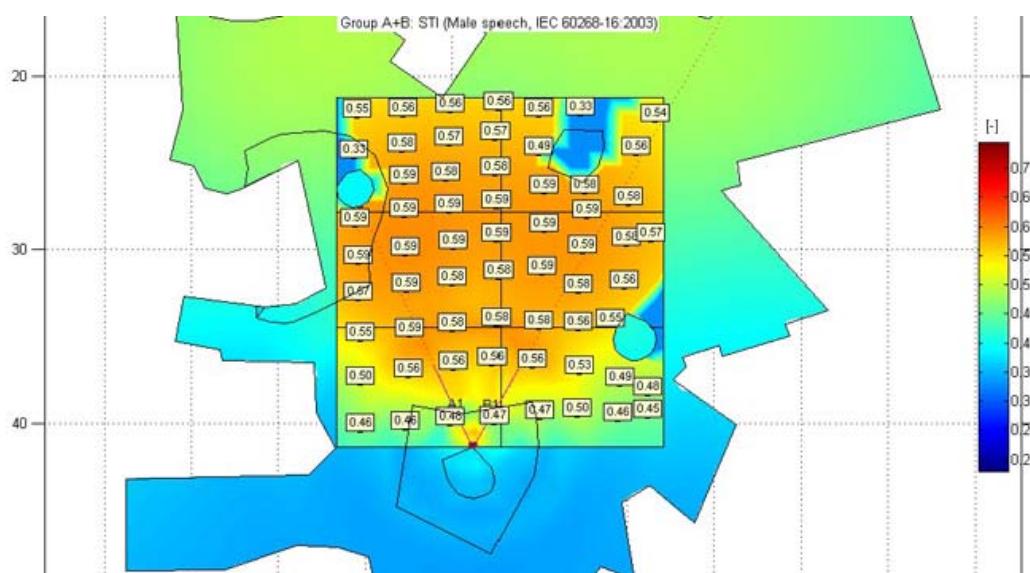


Fig. 21 - Atrio del Museo Guggenheim de Bilbao – STI.

En este ejemplo se puede observar cómo con una sola columna Intellivox es posible obtener unos niveles de presión sonora y de inteligibilidad constantes en todo el recinto estudiado y que el nivel no es el deseado únicamente en aquellas zonas del recinto en los que se interponen obstáculos físicos.

FRONTÓN ATANO III (SAN SEBASTIÁN)

En el siguiente ejemplo se muestra parte del proceso de cálculo de una instalación Intellivox en el frontón Atano III de San Sebastián. El objetivo del proyecto es conseguir que el sistema de megafonía cubra únicamente las gradas del recinto dejando la zona de juego con la menor cantidad de sonido posible.

El uso al que está dedicado el recinto hace que haya restricciones a la hora de ubicar la instalación: en una instalación tradicional, para conseguir el efecto deseado habría sido necesario colocar altavoces en frente de las gradas, lo cual implicaría tener que colocar altavoces dentro de la cancha interfiriendo en el correcto desarrollo del juego.

La siguiente imagen muestra un esquema tridimensional de la solución adoptada. Se puede observar cómo con tres únicas columnas (de tecnología DDS) es posible conseguir una concentración del nivel de presión sonora en las gradas, minimizando al máximo el sonido que llega a la cancha.

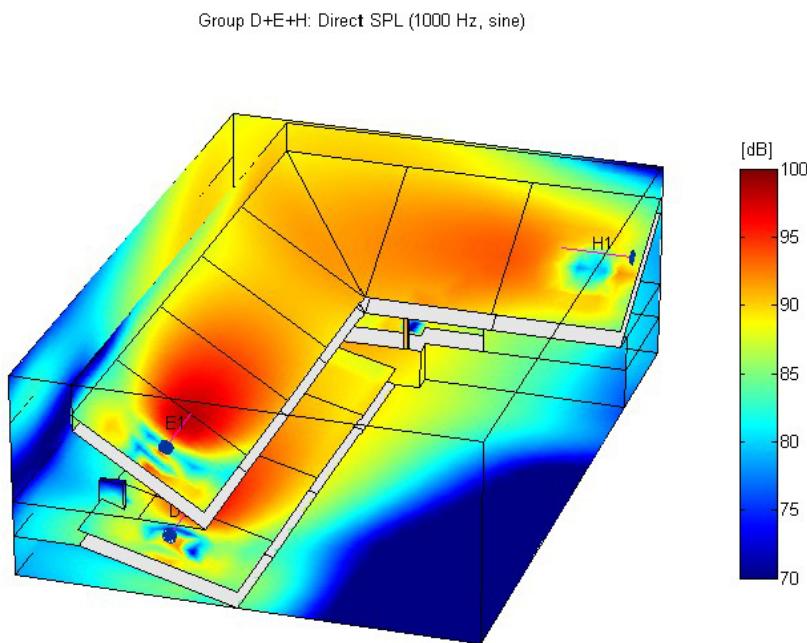


Fig. 22 - Atano III – Nivel de presión sonora, vista en 3D.

En la siguiente imagen se muestra el mismo recinto en dos dimensiones. En ella se han colocado los valores concretos de SPL en diversos puntos, lo cual permite comprobar que dicho valor se mantiene prácticamente constante en todo el recinto estudiado.

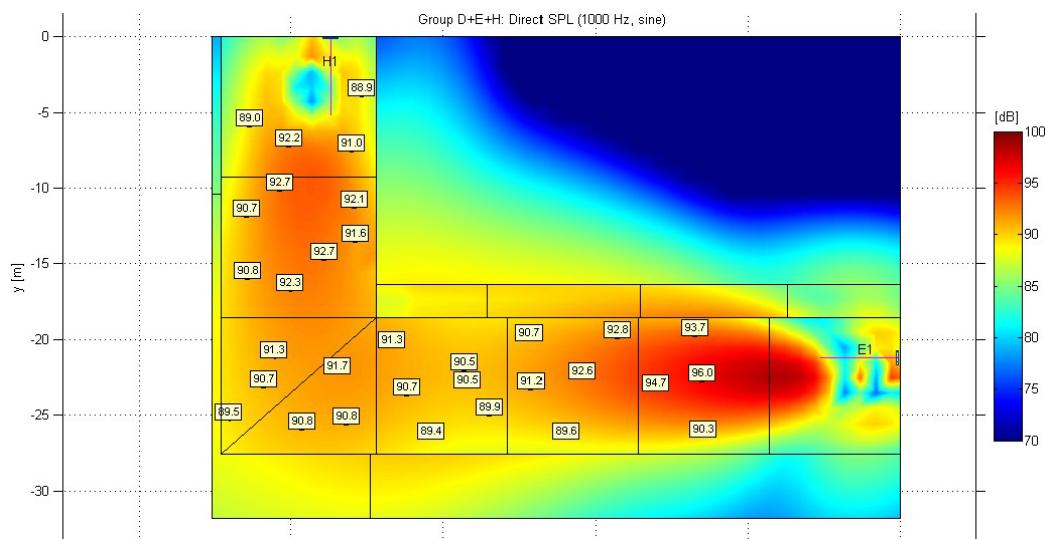


Fig. 23 - Atano III – Nivel de presión sonora, vista en 2D.

DUOMO DE MILÁN

El Duomo de Milán es un templo de grandes dimensiones, es la segunda catedral católica romana más grande del mundo por delante de la catedral de Sevilla y por detrás de la basílica de San Pedro, en Roma. Tiene 157 metros de largo y puede albergar 40.000 personas en su interior.

En el año 2000 se decidió sustituir el sistema de megafonía tradicional instalado por un sistema Intellivox. Pese a las enormes dimensiones de la catedral, la instalación final se realizó por medio de dos grupos de columnas para cubrir la nave central, otros dos para las naves laterales y dos más para cubrir la parte final de la catedral. En total con un total de 11 columnas era posible cubrir satisfactoriamente el mismo espacio para el que con un sistema tradicional se necesitaban cuatro veces más altavoces que debían ser controlados manualmente por dos ingenieros de sonido por medio de un sistema especialmente diseñado para la catedral.

En la imagen siguiente se puede observar la disposición final de las distintas columnas Intellivox:

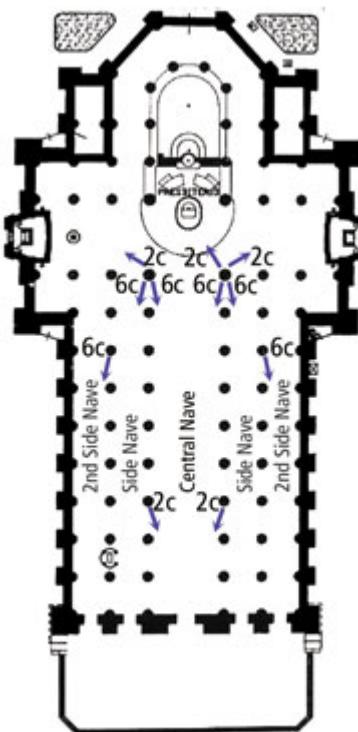


Fig. 24 - Posicionamiento de columnas Intellivox.

Por último, la siguiente imagen puede servir para hacerse una idea de las dimensiones reales de la catedral:



Fig. 25 - Imagen de la catedral.

2.2.2.1.4. Ventajas e inconvenientes.

Una de las principales ventajas del uso de Intellivox radica en el hecho de poder conseguir valores de inteligibilidad satisfactorios por medio de un número pequeño de columnas en

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

comparación con el número de altavoces que se necesitarían con sistemas de refuerzo sonoro tradicional. Este hecho cobra especial importancia cuando el recinto a tratar es un edificio patrimonial en el que la instalación de elementos no invasivos es una característica a tener muy en cuenta.

En este sentido, también es importante la flexibilidad en la implantación de un sistema. A este respecto, el uso de line arrays permiten su instalación teniendo en cuenta las restricciones físicas del recinto a tratar y consiguiendo a pesar de ello resultados igualmente satisfactorios.

La utilización de un número reducido de elementos instalados implica que pese a que éste tipo de sistemas pueda resultar *a priori* más caro que los sistemas de refuerzo sonoro tradicional, su mantenimiento e instalación resultan mucho más sencillos y por lo tanto más baratos que los sistemas tradicionales.

Por último, cabe resaltar el hecho de que para el usuario final del recinto en que se instalan estos sistemas, el sonido producido resulta totalmente natural ya que el nivel de presión sonora en todo el recinto es prácticamente constante y con unos valores de inteligibilidad óptimos.

2.2.2.2. ICONYX® Renkus-Heinz.

La empresa Renkus-Heinz cuenta entre sus productos con una gama de line arrays denominada ICONYX cuya tecnología puede asemejarse con la DDC de Intellivox. La siguiente imagen muestra la diferencia entre el sonido emitido por una columna tradicional y una ICONYX:

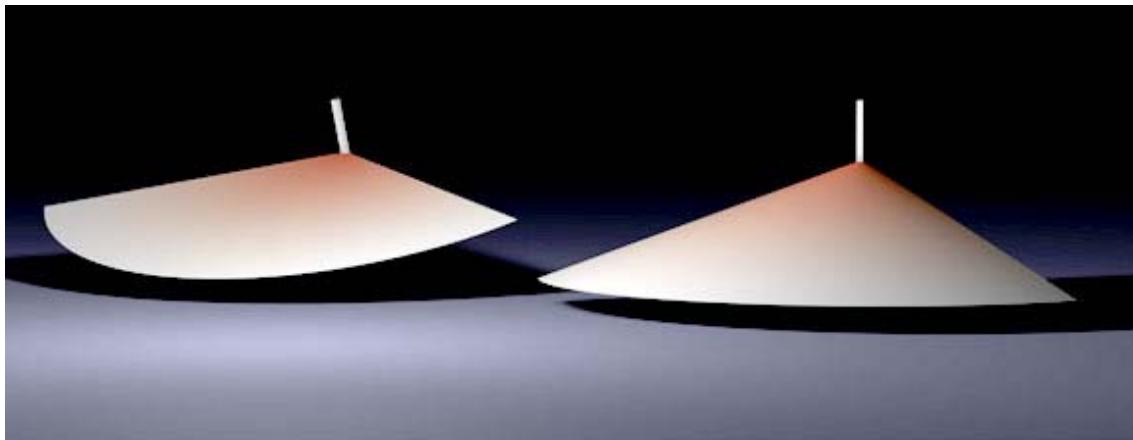


Fig. 26 - Patrones de columna tradicional e ICONYX.

Las columnas ICONYX permiten ajustar la directividad del sonido emitido y, por tanto, su uso está especialmente indicado en recintos con mala inteligibilidad.

La flexibilidad de ICONYX presenta ventajas con respecto a otras soluciones en entornos en los que la altura del recinto es una limitación. En las siguientes imágenes se muestra

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

cómo una misma columna permite ajustar el haz de sonido emitido en función de las necesidades de la instalación:

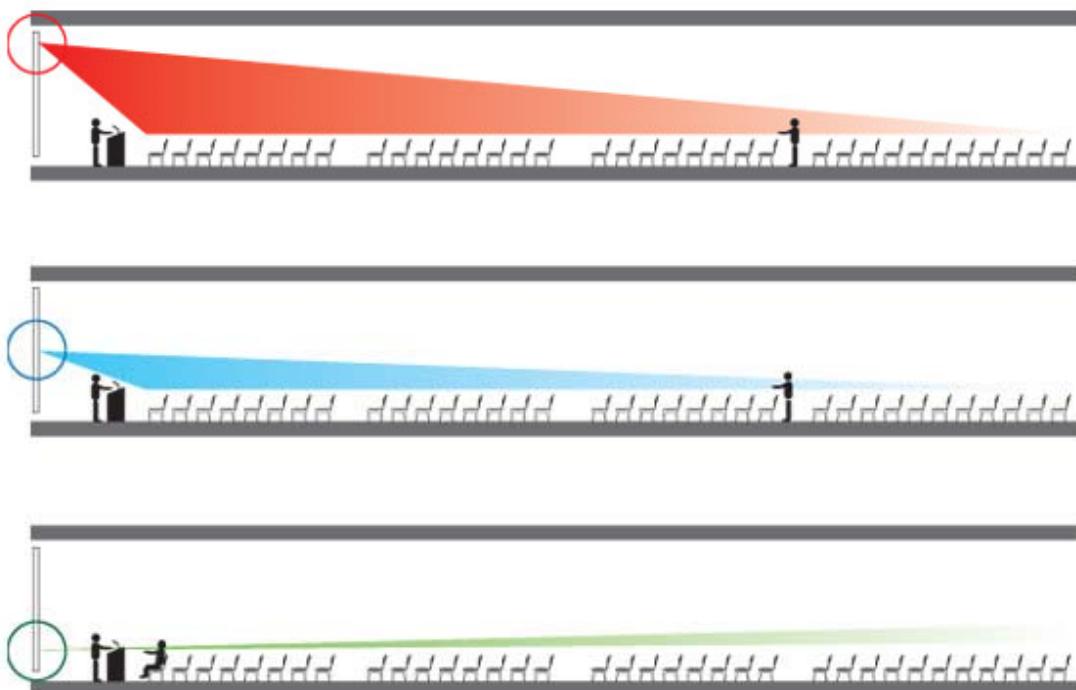


Fig. 27 - Variación del haz sonoro en función de la aplicación.

ICONYX es capaz de conseguir esta flexibilidad al permitir al usuario elegir la ubicación del centro acústico de la columna. El centro acústico es el punto de la columna a partir de la cual se origina el haz.

La siguiente imagen muestra la capacidad de ICONYX de sonorizar zonas diferentes definiendo múltiples centros acústicos independientes:

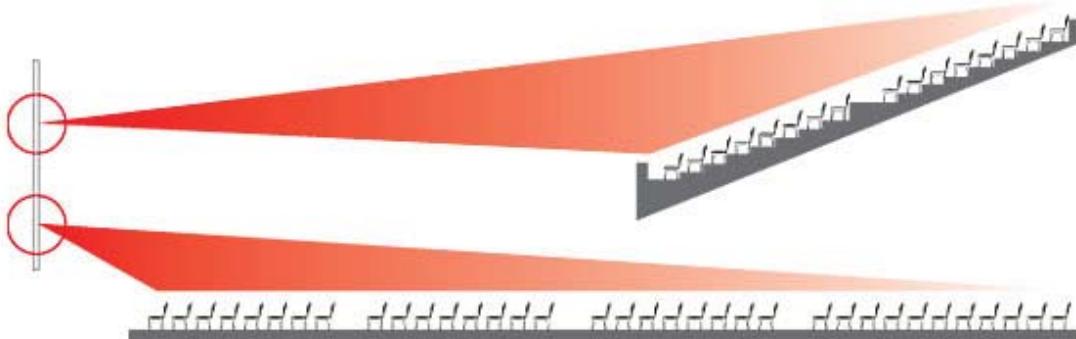


Fig. 28 - Varios centros acústicos en ICONYX.

A continuación se muestran dos ejemplos más que consiguen el mismo efecto con un único centro acústico:

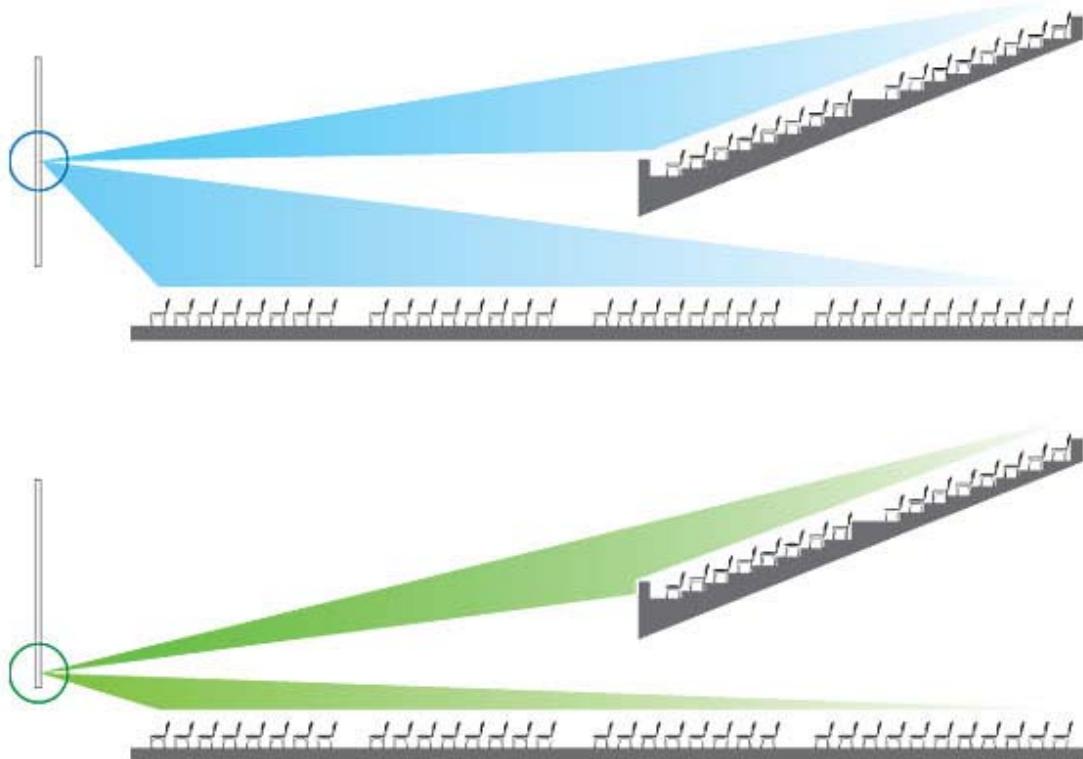


Fig. 29 - Varios haces con un único centro ICONYX.

2.2.2.2.1. Ejemplos de instalaciones.

CHURCH OF THE LITTLE FLOWER, BETHESDA, MD, USA

La siguiente imagen muestra la instalación de un sistema ICONYX en una iglesia sustituyendo el anterior sistema de megafonía tradicional:

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES



Fig. 30 - Instalación de ICONYX en iglesia.

UNIVERSITY OF MINNESOTA ACADEMIC HEALTH CENTER, MN, USA

La siguiente imagen es un ejemplo de una instalación ICONYX en una sala de conferencias de una universidad, recinto en el que la inteligibilidad del mensaje del ponente resulta crucial:



Fig. 31 - Instalación de ICONYX en sala de conferencias.

2.2.2.2.2. Ventajas e inconvenientes.

Al igual que ocurría con Intellivox, la principal ventaja de estos sistemas radica en el hecho de que proporcionan una buena inteligibilidad en el recinto con un impacto visual y de instalación muy pequeño.

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

Asimismo, la flexibilidad de la instalación de este tipo de sistemas vuelve a ser un elemento clave que puede hacer que haya que tenerlos muy en cuenta a la hora de mejorar la inteligibilidad de un recinto por medios electroacústicos.

2.3. Sistemas de focalización de sonido.

2.3.1. Principios de funcionamiento.

Los sistemas de focalización de sonido se basan en una tecnología que, a diferencia de la existente actualmente, genera el sonido de forma indirecta. El dispositivo transmite un haz de ultrasonido estrecho (no audible para el ser humano), que gracias a la no linealidad del aire se distorsiona ligeramente a medida que avanza. Esta distorsión forma, junto con nuevas frecuencias ultrasónicas, artefactos audibles para el ser humano en un ángulo de tres grados de anchura desde la fuente de emisión.

La distorsión que genera el aire puede predecirse matemáticamente y por lo tanto controlarse. Construyendo el haz de ultrasonido adecuado, la no linealidad del aire generará un haz que contendrá aquellos sonidos audibles que deseemos emitir, en una dirección muy determinada e inferior en gran medida a la dispersión de los altavoces tradicionales. También se puede proyectar el audio en una superficie poco rugosa (cristal, pared), que sirva de pantalla y conseguir así difundirlo hacia un área de espacio más amplia. Podemos ver las dos opciones en el siguiente gráfico:



Fig. 32 - Principio de proyección geométrica del haz sonoro.

El sistema comprende básicamente un transformador de señal común (digital o analógica) a ultrasonidos, un amplificador de dicha señal de ultrasonido y un transductor. Los dos primeros (procesador/transformador y amplificador) están integrados en un pequeño sistema de forma rectangular y el transductor es otro elemento independiente que se conecta a través de cable. Dicho transductor tiene un diámetro de 45 cm., un fondo de tan solo 2 cm. y un peso de 2 kilos, lo que lo hace perfectamente integrable en cualquier superficie (pared o techo).

Los principales elementos del sistema, cuya interacción puede verse en el esquema inmediatamente posterior, son los siguientes:

- Fuente de audio.
- Condicionador de señal (signal conditioner).

- Sumador de señales.
- Generador de señal de ultrasonido.
- Modulador de señal de ultrasonido y audio.
- Filtro.
- Driver.
- Conjunto de transductores (emisores de ultrasonidos).
- Unidad de control de temperatura y humedad.

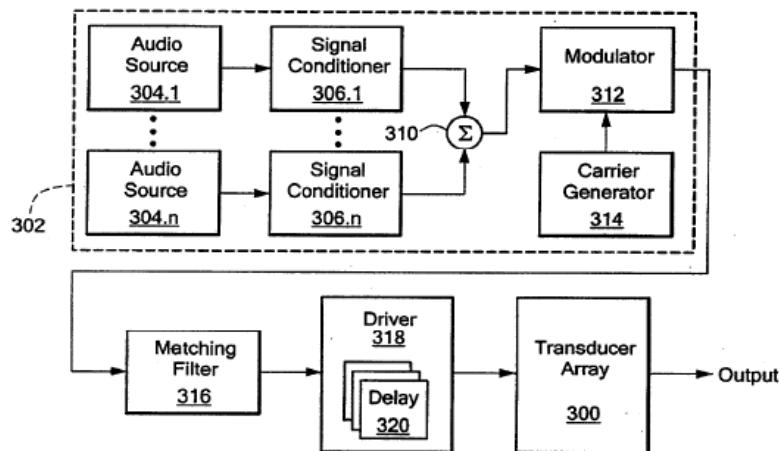


Fig. 33 - Diagrama de bloques.

El área efectiva de mayor audición está a una distancia de entre 1 y 2 metros desde la fuente de emisión en línea recta. A partir de los 3,5 metros de distancia el sonido disminuye en unos 3 db y a los 5 metros en torno a 9 db. La presión sonora va disminuyendo según aumenta la distancia pero en una proporción menor a la de un altavoz tradicional (evidentemente dentro del cono de focalización) lo que permite que se oiga a una distancia de hasta 100 metros.

El siguiente gráfico refleja el comportamiento del sistema en un ensayo real realizado a campo abierto. Como podemos ver, a una distancia de 0,5 metros en lateral, el nivel de presión sonora disminuye considerablemente, acercándose al ruido de fondo existente durante el ensayo. Lo que demuestra la capacidad de focalización del sistema.

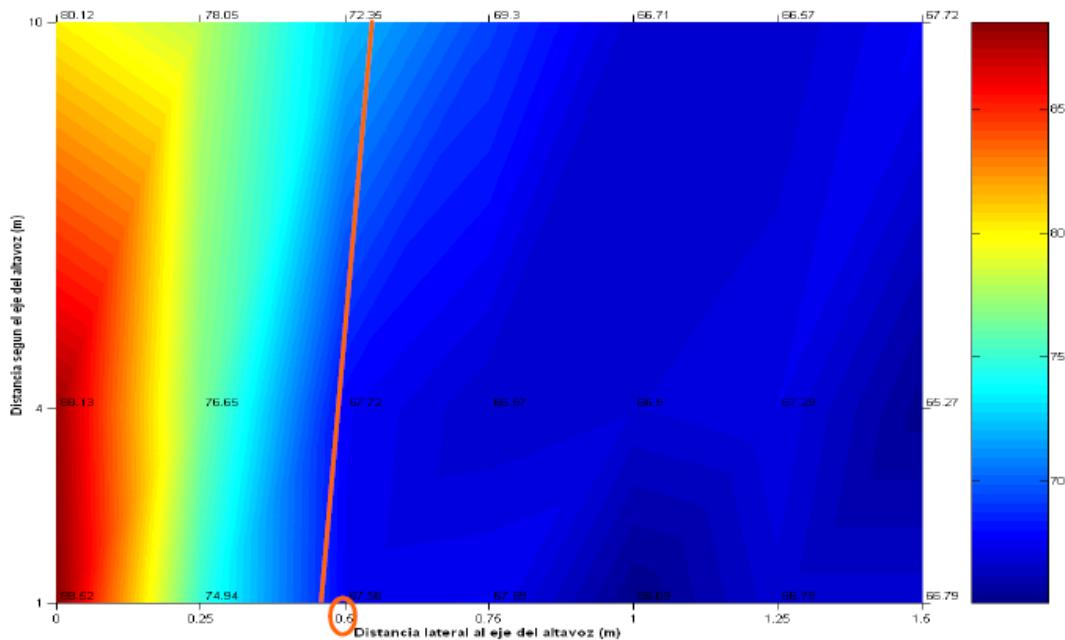


Fig. 34 - Mapa de presión del sistema en campo abierto.

Por otro lado, en los siguientes gráficos podemos ver la comparativa entre un sistema de sonido tradicional de la marca Kenwood y el sistema de focalización de sonido en un espacio cerrado. También se puede apreciar claramente la diferencia en cuanto al grado de focalización de uno y otro sistema.

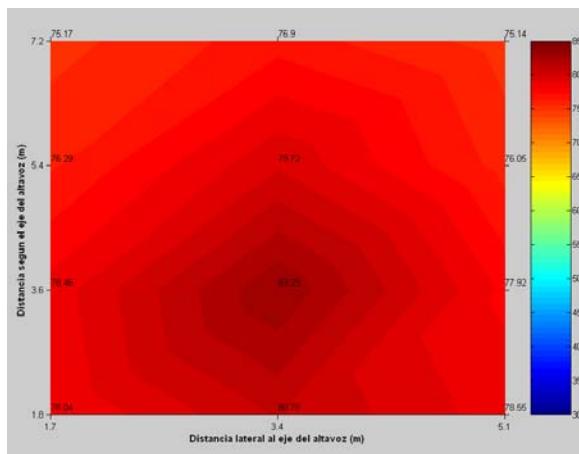


Fig. 35 - Mapa de presión de minicadena Kenwood.

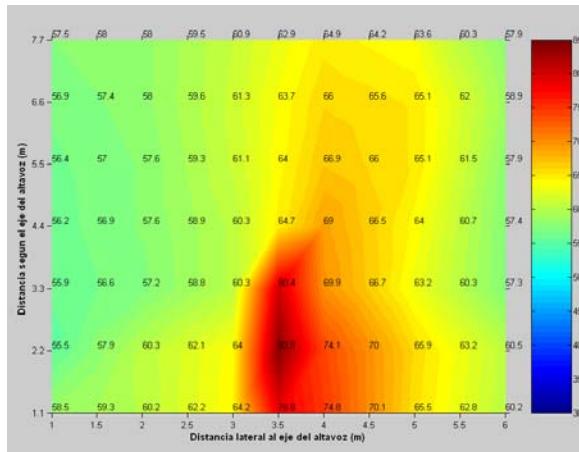


Fig. 36 - Mapa de presión del sistema.

2.3.2. Aplicaciones.

Existen distintas aplicaciones para las que el uso de este sistema puede resultar interesante, desde cajeros automáticos en los que se pretende ofrecer información sonora al usuario que solo pueda escuchar él, hasta publicidad en el interior o exterior de tiendas, pasando por museos o monumentos en los que se pretenda que la información que se quiere emitir solo sea recibida en un entorno concreto.

A continuación se muestran imágenes de algunos ejemplos de aplicaciones en las que el sistema puede ser implantado:



Fig. 37 - Aplicación en cajeros automáticos.

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES



Fig. 38 - Palacios de Congresos, conferencias, ferias y cines.



Fig. 39 - Tiendas y otro tipo de establecimientos (exteriores e interiores).



Fig. 40 - Museos, bibliotecas, monumentos.

2.3.3. Ventajas e inconvenientes.

La principal ventaja del sistema consiste en la gran capacidad de focalización que ofrece en comparación con otro tipo de soluciones. Esto, permite por tanto que sea posible ofrecer a los usuarios información acústica individualizada en función de la zona en la que se están moviendo sin necesidad de la utilización de sistemas de información portátiles.

Si bien el hecho de que el sistema permita proyectar el sonido utilizando las características reflectantes de las superficies del entorno puede ser considerado como una ventaja respecto a otros sistemas en según qué aplicaciones, su aplicación en edificios y recintos

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

patrimoniales puede hacer que se presenten limitaciones en cuanto a la ubicación concreta del sistema, ya que pueden aparecer reflexiones no deseadas e imposibles de corregir debido al carácter protegido del entorno de montaje.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es que la calidad del haz de sonido audible creado a partir de los haces de ultrasonidos no es actualmente exactamente igual al sonido de entrada al sistema. Esto hace que su uso esté especialmente indicado para aplicaciones en las que la calidad del sonido que recibe el oyente no sea un factor determinante o en las que el sonido ambiente no permita apreciar la diferencia de la calidad del sonido emitido por el sistema. Hay que decir, no obstante, que este hecho es puramente temporal ya que es una de las áreas en que se está trabajando de cara a la mejora técnica del sistema.

3. Soluciones en desarrollo.

En este apartado se van a describir dos tipos de soluciones, todavía no comerciales, que pueden estar indicadas para hacer frente a problemas de inteligibilidad en entornos patrimoniales.

Pese a que dichas soluciones serán descritas de manera independiente una de la otra, hay que decir que podrían resultar complementarias en aplicaciones prácticas concretas.

El primer tipo de soluciones en vías de desarrollo, resuelve el problema de la inteligibilidad en un recinto sensorizando diversas zonas del mismo y calculando el grado de inteligibilidad en cada subespacio para, a continuación, modificar la señal a emitir en cada uno de la forma más conveniente posible para que el mensaje sea entendible de forma óptima.

El otro tipo de soluciones que será presentado se centra en estudiar la manera concreta en que se puede manipular el mensaje a emitir de forma que resulte más inteligible para el oyente. De alguna manera, trata de replicar lo que hace una persona que quiere comunicarse con otra en un entorno ruidoso.

Para describir ambas soluciones, se hará uso de los textos de las patentes en que han sido descritas.

3.1. Sensorización del espacio.

Como se ha mencionado anteriormente, este tipo de soluciones consiste en colocar una serie de sensores en todo el recinto de forma que es posible saber en todo momento las condiciones acústicas de cada una de las distintas zonas y actuar en consecuencia.

Existen distintas alternativas a la hora de actuar sobre la inteligibilidad en cada zona sensorizada. A continuación se describen las dos más representativas:

PATENTE N° US2009012794A1 - SYSTEM FOR GIVING INTELLIGIBILITY FEEDBACK TO A SPEAKER

El resumen de esta patente dice lo siguiente:

Sistema de información para dar inteligibilidad a un orador que habla ante un público, dicho sistema comprende un primer micrófono en el lado del orador y un segundo micrófono en el de la audiencia. Ambos micrófonos están conectados a efectos de procesamiento para calcular un valor de inteligibilidad en función de las señales de los mismos. En función del valor de inteligibilidad calculado se genera una señal óptica visible para el orador. Se pueden usar conexiones inalámbricas para interconectar los micrófonos, el procesador y los medios de señalización.

En esta patente se describe por tanto un sistema que da información al emisor del mensaje acerca de la inteligibilidad en cada zona del recinto para el que está hablando. El emisor del mensaje conocerá en todo momento la inteligibilidad en cada zona del recinto y, en caso de

que sea insuficiente, podrá ajustar su discurso para intentar mejorarla (estilo, velocidad, volumen...).

En la siguiente imagen se muestra uno de los esquemas contenidos en ésta patente que trata de ilustrar el funcionamiento explicado:

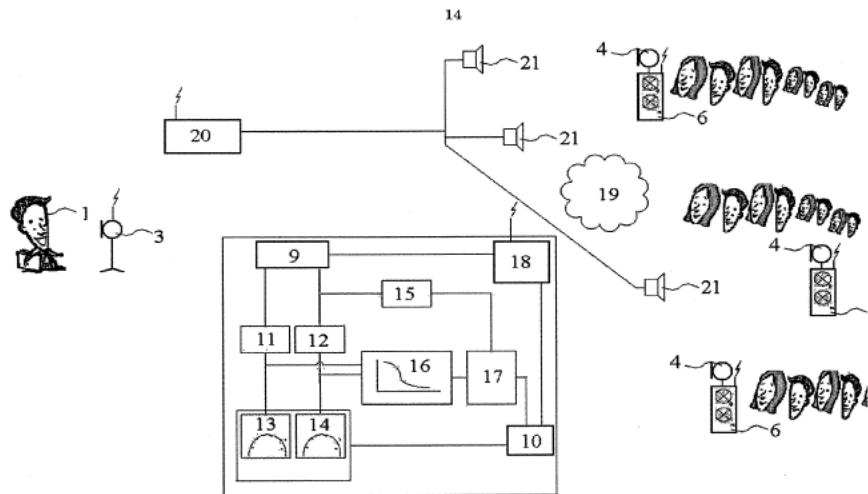


Fig. 41 - Patente nº US2009012794A1: esquema de funcionamiento.

Patente nº WO2006091335A2 - METHODS AND SYSTEMS FOR INTELLIGIBILITY MEASUREMENT OF AUDIO ANNOUNCEMENT SYSTEMS

En este caso el resumen de la patente dice lo siguiente:

Sistema de medición y método de combinación del sistema de audio de información con una serie de dispositivos inalámbricos colocados en el recinto que evalúan la inteligibilidad de la palabra de la salida de audio de los altavoces del sistema de información. Dicha evaluación puede tener lugar en todos o algunos de los dispositivos, así como en un elemento de control común. La evaluación de la inteligibilidad puede estar basada en la utilización de un método de referencia a una escala común de inteligibilidad.

Al igual que en el caso anterior, esta patente describe un sistema que, utilizando una serie de sensores colocados en todo el recinto permite saber qué grado de inteligibilidad tenemos en cada punto. La diferencia está en que este caso está más orientado a la emisión de mensajes pregrabados cuyas características son ajustadas, en función de la inteligibilidad de cada zona, por un operario desde una zona de control central.

La siguiente imagen muestra el esquema de funcionamiento contenido en esta patente:

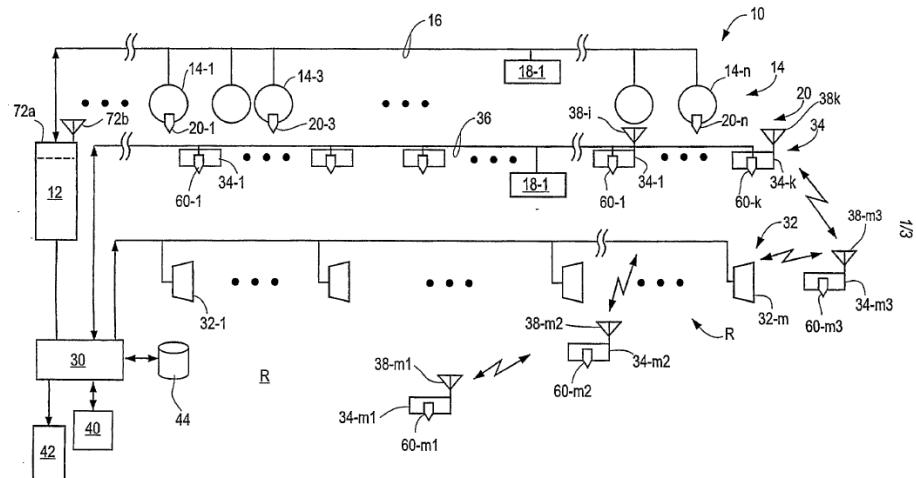


Fig. 42 - Patente nº WO2006091335A2: esquema de funcionamiento.

3.2. Actuación sobre el mensaje emitido.

Este segundo tipo de soluciones se caracteriza porque actúa directamente sobre el mensaje emitido y lo transforma de tal manera que se aumenta su inteligibilidad. Dicha transformación, además puede tener en cuenta el ruido del ambiente en la zona de los oyentes de tal manera que sea posible ajustar mejor la calidad del mensaje emitido.

A continuación se va a describir varias patentes que proponen métodos de trabajo en este sentido:

PATENTE N° US7065485B1 - ENHANCING SPEECH INTELLIGIBILITY USING VARIABLE-RATE TIME-SCALE MODIFICATION:

En el resumen de la patente se explica lo siguiente:

Método y preprocesador de mejora de la inteligibilidad del discurso de banda estrecha sin alargar la duración de la señal. Se aplican tanto mejoras espectrales como procedimientos de tasa variable como de escalado de tiempo. Dichos procedimientos se aplican para mejorar la relevancia de las consonantes iniciales. La entonación se transfiere desde la vocal dominante anterior a la consonante precedente a través de la estructura de tiempo del fonema. Como aplicación práctica, la técnica se aplica como un preprocesador de un codificador de voz.

La invención descrita en esta patente se basa en el hecho de que, en un discurso, los sonidos de las vocales son los que tienen mayor fuerza aunque sean las consonantes las que resultan claves para entender el mensaje emitido. Así, el sonido correspondiente a las consonantes de un discurso es la parte más vulnerable a la posible degradación de la señal.

La siguiente imagen muestra el esquema de funcionamiento descrito en esta patente:

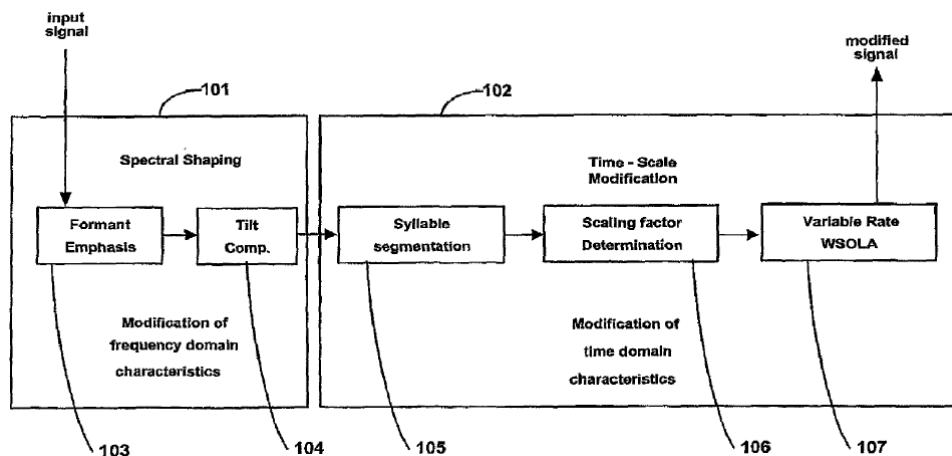


Fig. 43 - Patente nº US7065485B1: esquema de funcionamiento.

PATENTE Nº US2006126859A1 - SOUND SYSTEM IMPROVING SPEECH INTELLIGIBILITY

En el resumen, se describe ésta invención de la siguiente manera:

La invención se refiere a un método y un dispositivo de mejora de la inteligibilidad de la palabra recibida a través de un transductor de salida en un entorno ruidoso, en donde la señal de voz ha sido modificada en uno o más parámetros antes de la salida por medio de un procesador de señal de la misma manera que una persona haría cuando habla en un ambiente ruidoso o cuando trata de hablar con mucha claridad.

En esta patente se describe por tanto, un método muy similar al anterior. La principal diferencia radica en el hecho de que en ésta, se tiene en cuenta la inteligibilidad de la zona en que se haya el oyente y se actúa en consecuencia modificando el nivel de la señal emitida, el espectro de frecuencia, la tasa de uso de la palabra, la entonación, las frecuencias implicadas, la duración de las vocales y de las consonantes y/o el ratio de energía entre consonantes y vocales.

La siguiente figura, incluida en esta patente, muestra de manera esquemática los módulos necesarios:

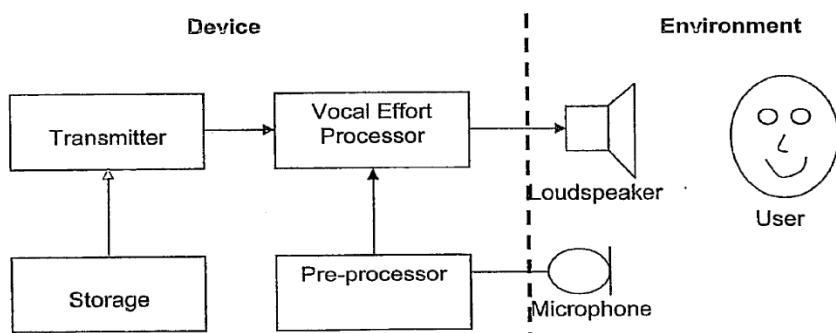


Fig. 44 - Patente nº US7065485B1: funcionamiento.

PATENTE N° WO9917278A1 - METHOD AND APPARATUS FOR IMPROVING SPEECH INTELLIGIBILITY

En el resumen de ésta patente se describe la invención de la siguiente manera:

Método y aparato de mejora de la inteligibilidad de la palabra hablada en un espacio acústico que comprende la generación de una señal eléctrica indicativa de una palabra o palabras, la introducción de la señal a un procesador de señal que incluye una señal de compresión, la comparación de la amplitud de la señal de entrada con un umbral nivel y la compresión de cualquier parte de la señal por encima del umbral, la expansión de la emisión de la señal comprimida y la emisión de la señal como una señal acústica.

Esta patente incluye una serie de imágenes de diversas palabras tratadas por medio de esta invención en las que se puede apreciar la mejora de ciertas partes de la señal correspondientes con las consonantes del mensaje:

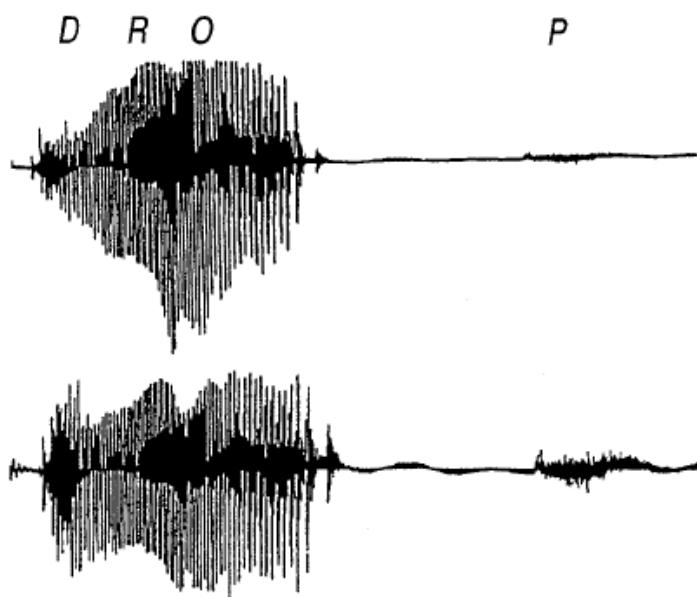


Fig. 45 - Tratamiento de la palabra DROP.

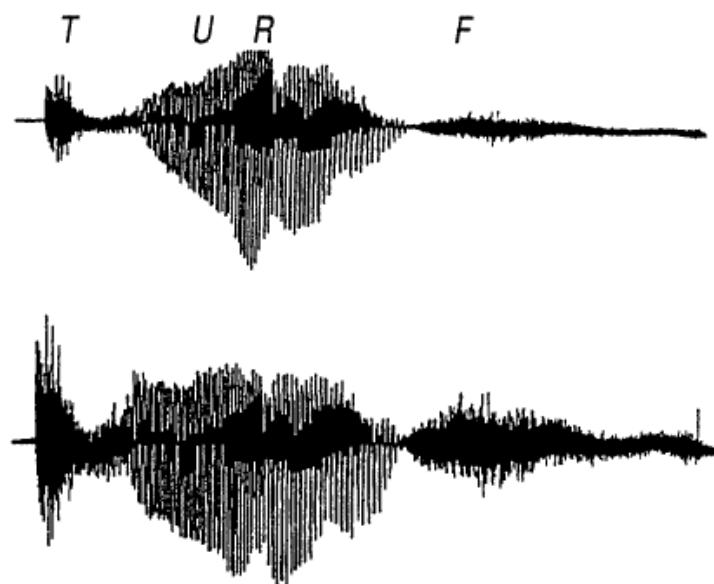


Fig. 46 - Tratamiento de la palabra TURF.

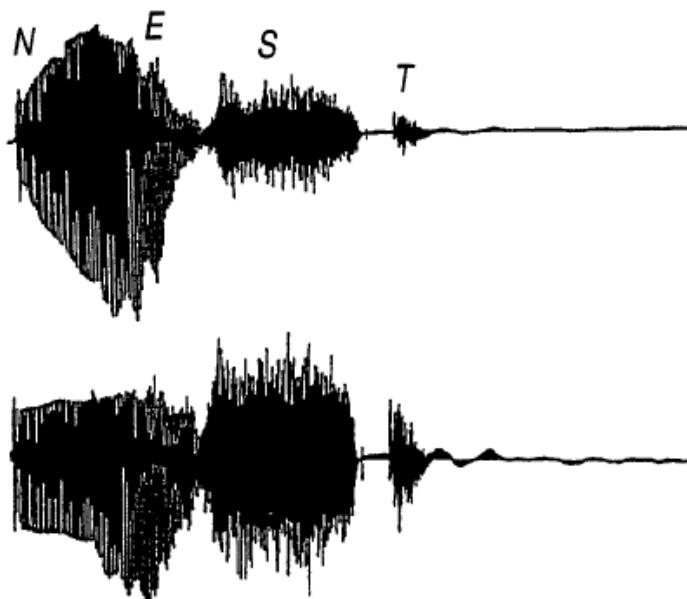


Fig. 47 - Tratamiento de la palabra NEST.

3.3. Ventajas e inconvenientes de las soluciones presentadas.

En los apartados anteriores se ha enumerado y descrito brevemente distintas posibilidades todavía no comercializadas al mismo nivel que las descritas en el apartado 2. Dichas soluciones son implementadas como mejoras a los sistemas de refuerzo sonoro tradicional

E2.14.1 - SISTEMAS ELECTROACÚSTICOS PARA MEJORA DE LA INTELIGIBILIDAD EN ENTORNOS PATRIMONIALES

y por tanto adolecen de muchos de los inconvenientes de los mismos aunque mejoran a su vez sus ventajas.

Al igual que los sistemas de refuerzo sonoro tradicional, el uso de las soluciones descritas en este apartado, requiere una distribución zonal de distintos altavoces. Esto hace que la instalación del sistema siga siendo compleja. Además incluye un mayor grado de dificultad si tenemos en cuenta el hecho de que, en las soluciones de este apartado 3, se hace necesario el uso de elementos de tratamiento del sonido emitido o de elementos de sensorización de las zonas en que se emite que no hacen sino aumentar la complejidad final tanto de la instalación como de su mantenimiento.

Como ya se ha dicho, éstas soluciones pueden ser vistos como una mejora o una evolución de los sistemas de refuerzo sonoro tradicionales. En este sentido, es posible que se den situaciones en las que implementar alguno de estos sistemas resulte la opción con menor impacto económico al ser posible aprovechar la instalación preexistente.

La evolución tecnológica hace previsible que éstas opciones, que están todavía en desarrollo, evolucionen de tal manera que tanto el impacto de la instalación como el tiempo de procesamiento y cálculo sean minimizados sensiblemente haciendo que puedan llegar a ser competitivas en casos en los que no lo serían actualmente.

ANEXO – Patentes mencionadas