

LINE ARRAYS: CÓMO FUNCIONAN.

Line Arrays vs Sistemas Convencionales

Los line arrays han sido especialmente diseñados para que, cuando ensamblamos varias unidades, el conjunto se comporte como una única fuente sonora. Esto es lo que los diferencia de los sistemas convencionales. El formato horizontal de las cajas, la distancia entre altavoces, las frecuencias de corte y el diseño de la vía de agudos son lo que posibilita este comportamiento.

En las vías de medios y graves de los line arrays hay dos características por las cuales merece la pena comenzar. La primera es evidente a la vista, y es la disposición en vertical de los transductores, muy próximos entre si. La segunda no se puede ver, pero se menciona en cualquier texto que hable sobre line arrays, y es la frecuencia de corte superior de los altavoces, que como veremos mas tarde es parte importante del diseño del sistema y no puede variarse sin afectar negativamente al comportamiento del equipo. Estas dos características tienen más en común de lo que pudiera parecer en un principio y se podrían explicar a la vez. Sin embargo hemos preferido introducir las separadamente, por claridad. ¡Manos a... la teoría!

Características ideales de un equipo.

Hay dos características acústicas que sería conveniente que tuviera un equipo de sonido. La primera sería la capacidad de controlar la directividad vertical, de forma que se pudiera dirigir la energía acústica allí donde está el público, evitando que llegue donde nos puede causar problemas (como los techos de los teatros) o que se desperdicie cuando estamos al aire libre. La segunda característica sería que las diferentes fuentes sonoras individuales se sumasen de forma coherente o eficaz, actuando el conjunto como una única fuente sonora, obteniendo así una distribución de presión uniforme con la distancia. A continuación explicaremos con mas detalle por qué estas dos características son convenientes y cómo se consigue.

Control de la directividad vertical ¿Por qué?

En la fig. 1 tenemos un ejemplo de un sistema que tiene poco control de la directividad vertical. Las cajas están alineadas en vertical y tan próximas entre si como es posible, pero los transductores que reproducen la frecuencia del ejemplo están muy separados debido al diseño vertical de la caja. El lóbulo que aparece en la parte superior del mapa de presión será causa de una reflexión que llegará al área de audiencia con un retraso respecto al sonido directo. Esto afectará sin duda a la inteligibilidad.

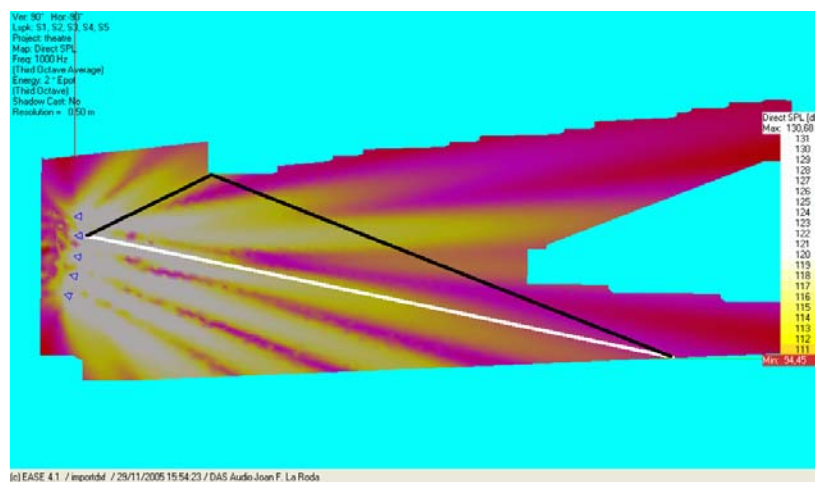


Fig. 1. Sistema con un pobre control de directividad vertical.

En la fig. 2 vemos un sistema que si tiene un buen control de la directividad vertical. Se aprecia claramente que la energía se concentra donde está el público.

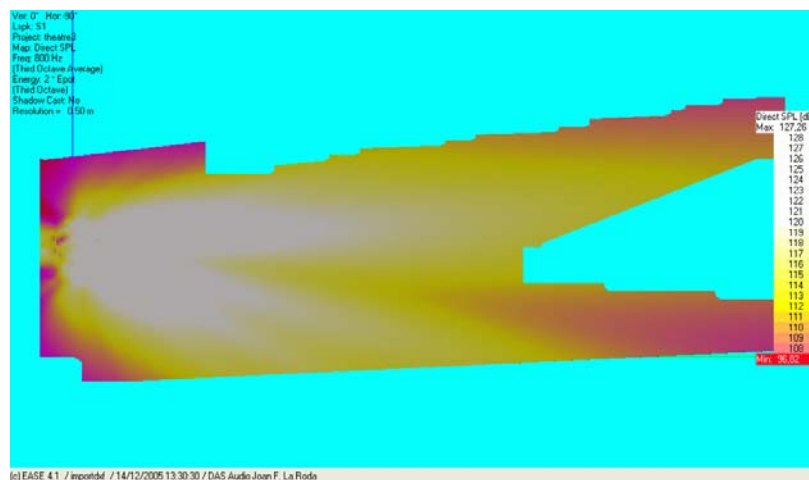


Fig. 2. Sistema con un buen control de la directividad vertical.

Control de la directividad ¿Cómo?

La cobertura vertical que necesitamos en un sistema para que sólo cubra la zona donde está el público no suele ser muy grande. ¿Cómo debemos configurar un sistema si queremos estrechar su cobertura vertical? Hay un principio general en electroacústica que dice que cuanto menor sea la distancia entre altavoces mas estrecha se hace la cobertura. Desde luego la frecuencia también es un factor en este fenómeno.

En los line arrays utilizamos este principio general para conseguir una cobertura estrecha ensamblando los transductores en vertical tan próximos entre si como es posible. La cobertura horizontal del sistema será como la de un solo altavoz.

Para ilustrar este principio general vamos a ver un ejemplo de lo que sucede con la cobertura de un sistema completo cuando la distancia entre cajas se va haciendo mas pequeña. Esto es aplicable a cualquier sistema, es decir, que no hay nada específico de los line array en este fenómeno. Las leyes físicas que son aplicables a los line arrays también son aplicables a un sistema convencional.

En las fig. 3-4-5 vemos seis sistemas convencionales. En la fig. 3 los centros de los transductores están separados entre si por una distancia de dos longitudes de onda, en la fig. 4 la distancia es una longitud de onda y en la fig. 5 la separación es de media longitud de onda. Se ve claramente cómo la cobertura se hace mas estrecha y el mapa más uniforme cuanto menor es la distancia entre transductores.

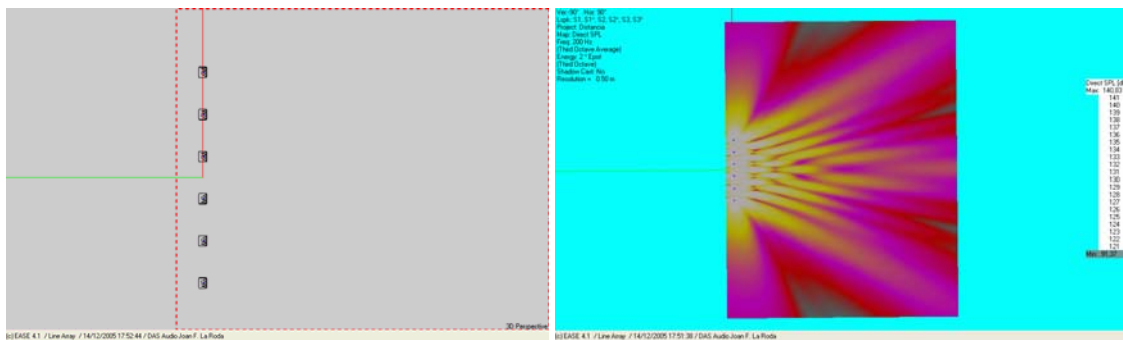


Fig. 3. Mapa de cobertura vertical de varias fuentes separadas 2λ .

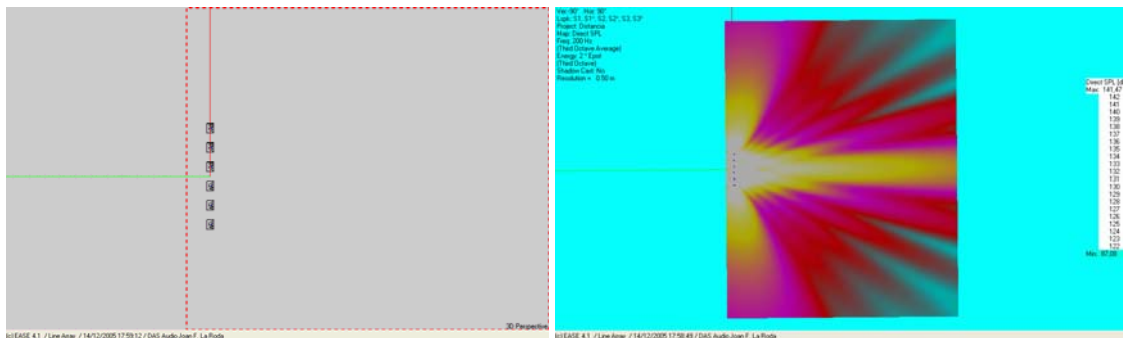


Fig. 4. Mapa de cobertura vertical de varias fuentes separadas λ .

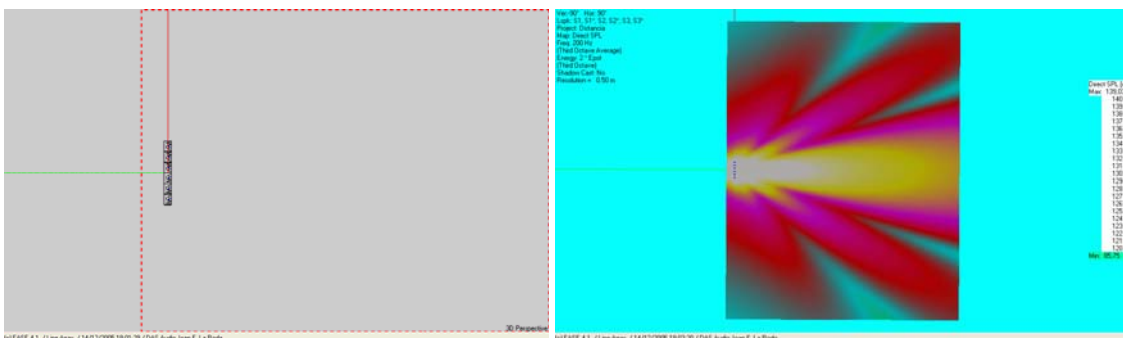


Fig. 5. Mapa de cobertura vertical de varias fuentes separadas $\lambda/2$.

Acoplamiento eficaz ¿Por qué?

El acoplamiento eficaz, o suma coherente, tendrá como efecto último que la distribución de presión con la distancia sea uniforme. Esto se consigue evitando que aparezcan lóbulos secundarios en la respuesta polar vertical del conjunto. Si nos fijamos en las imágenes de la izquierda de las fig. 6 y 7 veremos como en el primer caso aparecen lóbulos secundarios en la respuesta polar vertical, mientras que en el segundo caso podríamos decir que hay un solo lóbulo principal.

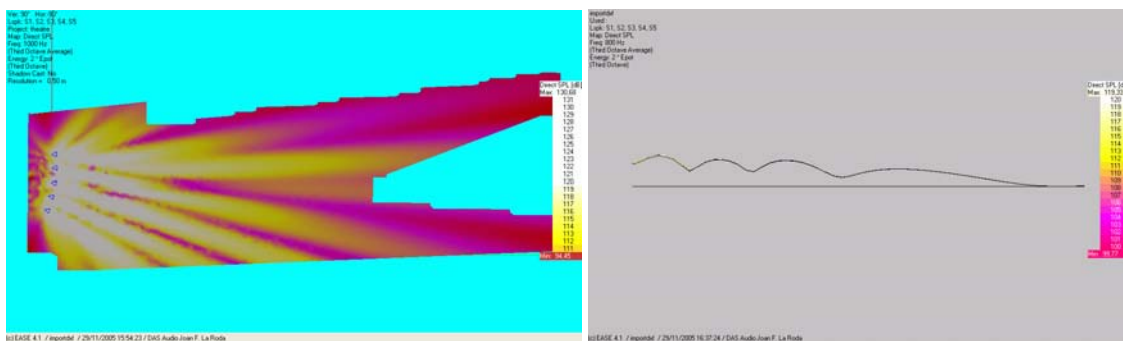


Fig. 6. Variación del SPL con la distancia en el patio de butacas. La cobertura no es uniforme.

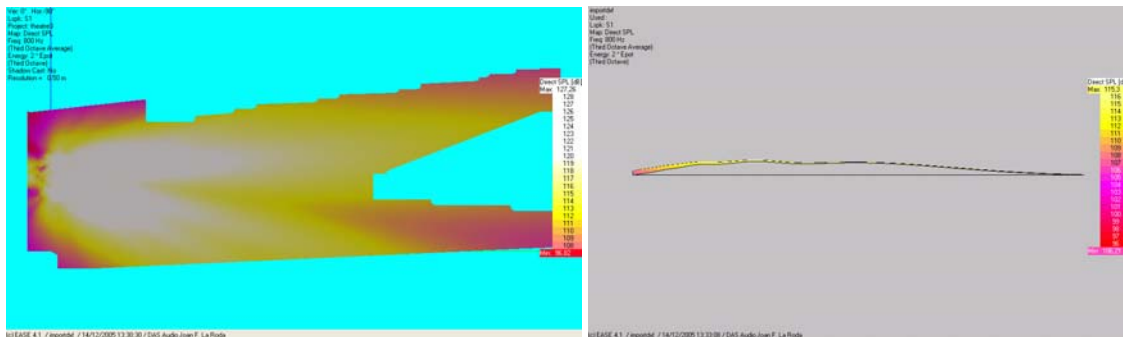


Fig. 7. Variación del SPL con la distancia en el patio de butacas. Aquí la cobertura si es uniforme.

El efecto en la distribución de la presión a lo largo de la distancia es el que se ve en las imágenes de la derecha, que corresponden al patio de butacas del teatro del ejemplo. En la fig. 6 se ve que las irregularidades en la distribución de presión se corresponden con los lóbulos de la respuesta polar. En ese caso el balance frecuencial que se escucha en la posición de la mesa de mezclas puede tener muy poco que ver con lo que se escucha en otras zonas del teatro. En la fig. 7 se ve que la distribución de presión es más uniforme, porque no hay lóbulos en la polar. Una medida de respuesta en frecuencia en varias posiciones dará unos resultados más parecidos que en el caso anterior.

Acoplamiento eficaz ¿Cómo?

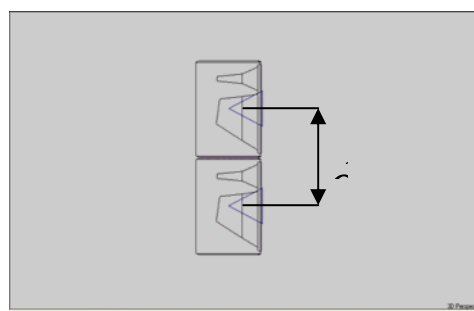
Antes de entrar a explicar cómo se consigue un acoplamiento eficaz en los line arrays sería interesante destacar algo que no se menciona lo bastante. En los line arrays los altavoces de cono reproducen únicamente frecuencias a las cuales la respuesta polar del transductor es omnidireccional. Este concepto lo usaremos mas tarde.

Para hacernos una idea de cómo será la cobertura de un transductor en función de la frecuencia hay que estudiar lo que se llama el factor $k \cdot a$, donde $k = 2\pi f/c$ y a es el radio del altavoz. Cuando $k \cdot a$ es igual o mayor que 2 aparecen lóbulos secundarios y la cobertura se hace muy estrecha para ser útil en un line array.

Frecuencia	$k \cdot a$ (altavoz 8")
$f = 30\text{Hz}$	0.105
$f = 60\text{Hz}$	0.211
$f = 120\text{Hz}$	0.421
$f = 160\text{Hz}$	0.562

Tabla 1. Factor $k \cdot a$ para un altavoz de 8" a diferentes frecuencias.

Una vez dicho esto, para entender cómo conseguir un acoplamiento eficaz aplicaremos un principio acústico que llamaremos principio general para hacer énfasis en que es aplicable a cualquier fuente sonora, sea line array o no. Este principio general dice que para conseguir un acoplamiento eficaz los transductores deben reproducir únicamente frecuencias cuya longitud de onda sea grande comparada con la distancia entre centros de los altavoces.



$$\lambda \gg d$$

Fig. 8. Para que se produzca un acoplamiento eficaz la longitud de onda de la frecuencia de corte superior ha de ser mucho mayor que la distancia entre los centros de los altavoces.

Lo que os estaréis preguntando ahora es ¿concretamente cómo de grandes han de ser las longitudes de onda respecto de la distancia entre transductores para que el acoplamiento sea eficaz? Vamos a contestar esta pregunta al final de la siguiente explicación.

Hemos dicho que queremos que no aparezcan lóbulos secundarios en la respuesta polar vertical, o dicho de otra manera, queremos que sólo aparezca un lóbulo principal. Esto es lo mismo que decir que tenemos que diseñar nuestro sistema de forma que el primer mínimo aparezca a 90° fuera del eje. Así sólo habrá un lóbulo, apuntando hacia donde se encuentra el público. Para simplificar los cálculos vamos a hacer un ejemplo con dos cajas.

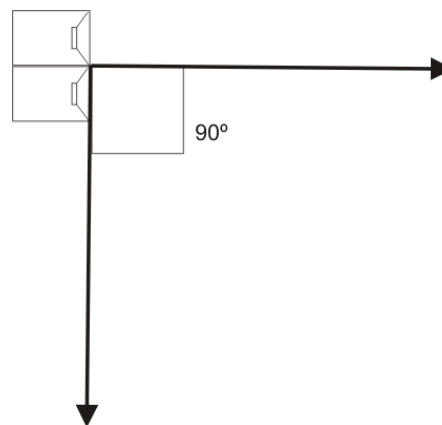


Fig. 9 Diseñaremos el sistema para que el primer mínimo de presión aparezca a 90° respecto del eje.

En la fig. 9 podemos ver dos altavoces de cono dentro de dos cajas. En el eje ambas ondas llegarán al mismo tiempo a la posición de escucha, o sea que se sumarán en fase resultando un nivel de presión sonora 6 dB mayor que el producido por una sola fuente, como se ve en la fig. 10.

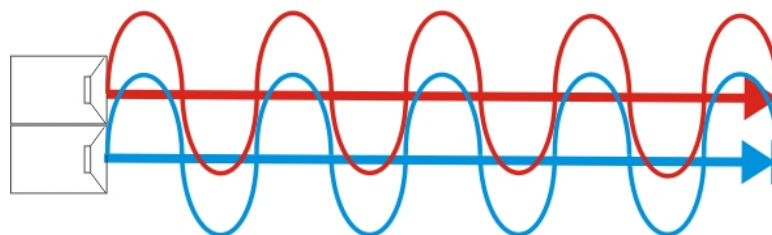


Fig. 10. En el eje ambas ondas llegan a la vez, y por lo tanto se suman en fase.

La fig. 11 muestra como a 15° fuera del eje se produce una diferencia de caminos $\delta = d \cdot \cos \theta$. En nuestro ejemplo donde la distancia d entre fuentes es igual a 27 cm la diferencia de caminos δ es igual a 6.98 cm. Esta diferencia de caminos representa una diferencia de fase de 46.6° a la frecuencia de nuestro ejemplo que serán 630 Hz. La presión sonora resultante será 5.3 dB mayor que la producida por una única fuente sonora.

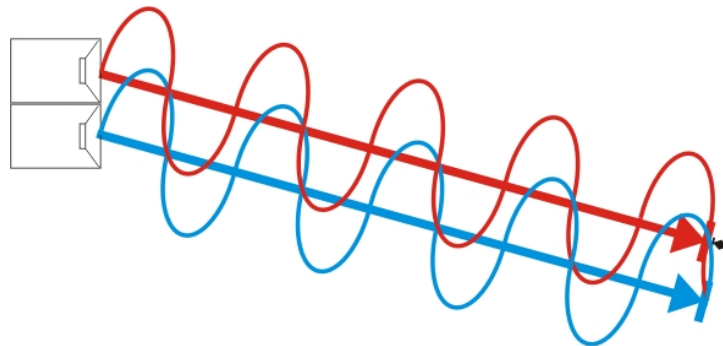


Fig. 11. A 15° hay una diferencia de caminos, lo que implica un desfase entre ambas ondas.

En la tabla 2 se puede ver la diferencia de caminos, de fase y de presión resultante para diferentes ángulos fuera del eje. Hay dos resultados a los que resulta interesante prestar especial atención.

Ángulo	Inc. Distancia	Inc. Fase	Ganancia
0°	0cm	0°	6dB
15°	6.98cm	46.6°	5.3dB
30°	13.5cm	90°	3dB
45°	19cm	127.3°	-1.1dB
60°	23.4cm	156°	-7.7dB
75°	26cm	173.9°	-19.1dB
90°	27cm	180°	- Infinito

Tabla 2. Diferencia de caminos, de fase y de presión para varios ángulos.

El primer resultado interesante se da a 45° fuera del eje. Vemos que a ese ángulo la presión sonora es 1.1dB menor que la presión producida por una única fuente sonora. Cuando la diferencia de fase entre dos ondas es igual a 120° la presión resultante es igual a la de una única fuente sonora. Conforme la diferencia de fase aumenta la presión resultante disminuye, siendo menor a la de una única fuente.

El segundo resultado interesante, y fundamental, es el que se produce a 90° fuera del eje. En la fig. 12 vemos que ahora ambas ondas están en contrafase, o desfasadas 180° . Esto resulta lógicamente en una cancelación total a causa de la diferencia de fase de 180° y también porque los niveles de presión de ambas cajas es el mismo en ese punto. Hay que recordar que el patrón polar de cada transductor es omnidireccional, como se dijo mas arriba.



Fig. 12. Suma de las ondas a 90° .

En la fig. 13 vemos la respuesta polar de este sistema a la frecuencia del ejemplo. Se ve cómo a esta frecuencia aparece un único lóbulo y no aparecen lóbulos secundarios, tal y como queríamos.

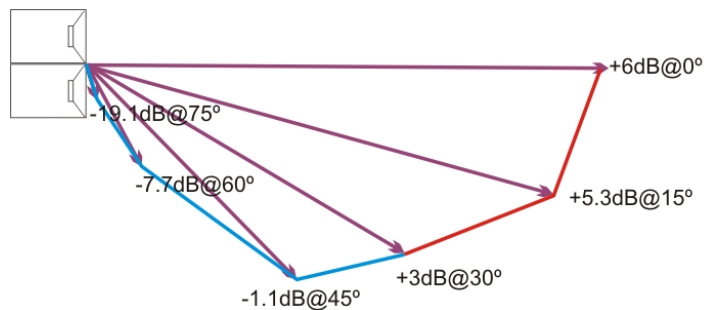


Fig. 13. Polar de las dos cajas.

Es decir, que la forma de evitar que aparezcan lóbulos secundarios en la polar, los cuales producirían una distribución de presión no uniforme con la distancia, es limitando la banda de frecuencias a reproducir por cada vía a aquellas frecuencias para las cuales la distancia entre altavoces d sea igual o menor a la mitad de la longitud de onda. La conocida ecuación:

$$d \leq \lambda/2$$

La longitud de onda mas corta que reproducirá cada altavoz ($d = \lambda/2$) se corresponderá pues con la frecuencia superior de corte de la vía en un line array. La longitud de onda de la frecuencia de corte será así mayor que la distancia entre altavoces d , exactamente dos veces mayor. La frecuencia de corte inferior será incluso mas grande, como se especifica en la ecuación de la fig. 8, $\lambda \gg d$.

Esto demuestra por qué la frecuencia de corte no debería cambiarse nunca en un line array. Nos arriesgamos a que los altavoces de cono trabajen a frecuencias a las cuales aparezcan lóbulos secundarios, estropeando la uniformidad de la presión con la distancia, lo cual es una de las principales ventajas de los line arrays.

¿Podemos utilizar la misma técnica para reproducir las altas frecuencias?

Es evidente que no. Hemos dicho que para obtener un acoplamiento eficaz entre fuentes sonoras y que no aparezcan lóbulos en la respuesta polar la distancia entre fuentes debe ser menor o igual a la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más alta a reproducir. En el caso de las altas frecuencias la frecuencia más alta es 20KHz, y la longitud de onda de 20KHz es 1.7cm. No existen transductores de agudos de 0.85cm de diámetro lo bastante potentes o eficaces para las aplicaciones de refuerzo sonoro profesional. Por lo tanto vamos a tener que pensar en una técnica diferente para solucionar el problema de los agudos en nuestro equipo line array.

Idealmente, en los agudos, querríamos una fuente sonora vertical y continua que produjese un frente de onda isofásico. Una fuente de este tipo produciría una cobertura vertical similar a la que obtendremos de las secciones de medios y agudos de nuestro line array, y se evitarían los lóbulos secundarios puesto que toda la superficie radiaría en fase.

Podemos hacer un sistema real que se aproxime al ideal ensamblando verticalmente fuentes sonoras rectangulares discretas como se ve en la fig. 14, siempre que la separación entre ellas sea tal que la superficie radiante sea al menos el 80% de la superficie total. Hay que tener en cuenta que las superficies radiantes discretas estarán separadas entre si por el grosor del recinto acústico, es necesario pues poner una restricción a la relación entre superficie-total/superficie-radiante de forma que el conjunto se aproxime a la fuente continua ideal.



Fig. 14. Suma de superficies radiantes discretas que se comportan como una única fuente.

La Guía de Ondas.

Para obtener una superficie radiante rectangular a partir de un motor de compresión cuya salida es circular necesitaremos de una guía de ondas, que es la pieza clave en un line array. En el caso del modelo CA28 de DAS Audio se utiliza la guía de ondas de la fig. 15.

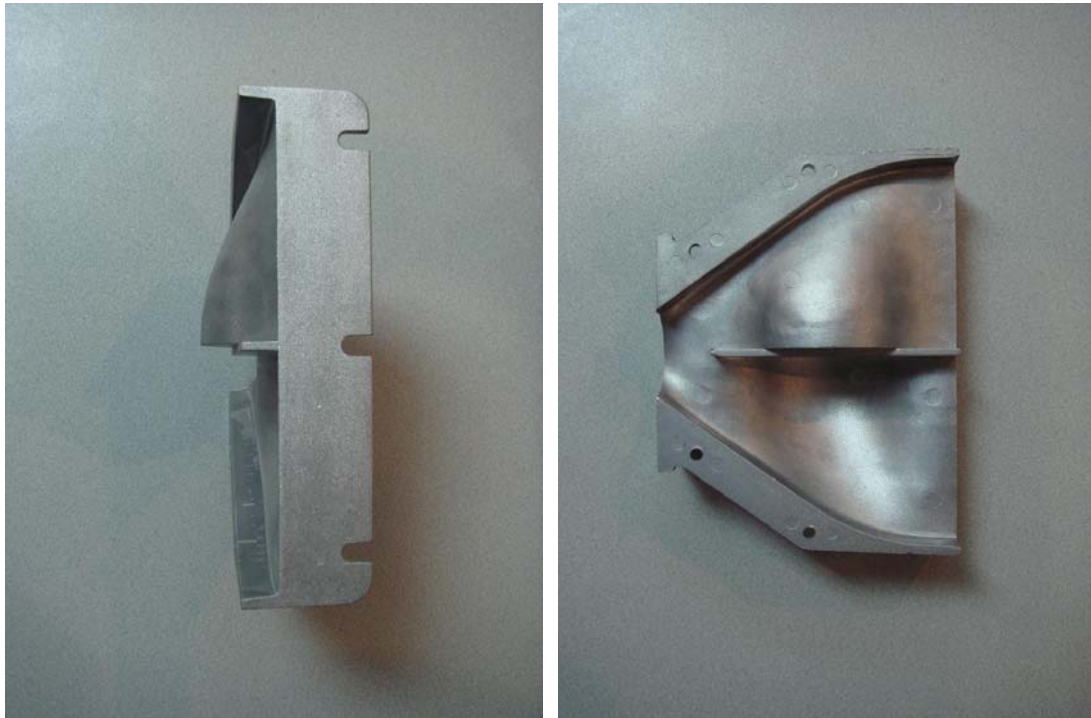


Fig. 15. Media guía de ondas vista desde el frente (izq.) y desde el lateral interior (der.)

Esta Guía de Ondas tiene una ondulación, una curvatura, que es más pronunciada en el centro que en las partes superior e inferior. Si no fuese así la onda llegaría antes al centro que a los extremos y tendríamos un frente de onda curvado que no nos serviría para un line array, porque produciría interferencia entre fuentes adyacentes ocasionando lóbulos en la respuesta polar.

En la fig. 16 podemos ver cómo sería el frente de ondas con y sin la curvatura en la Guía de Ondas.

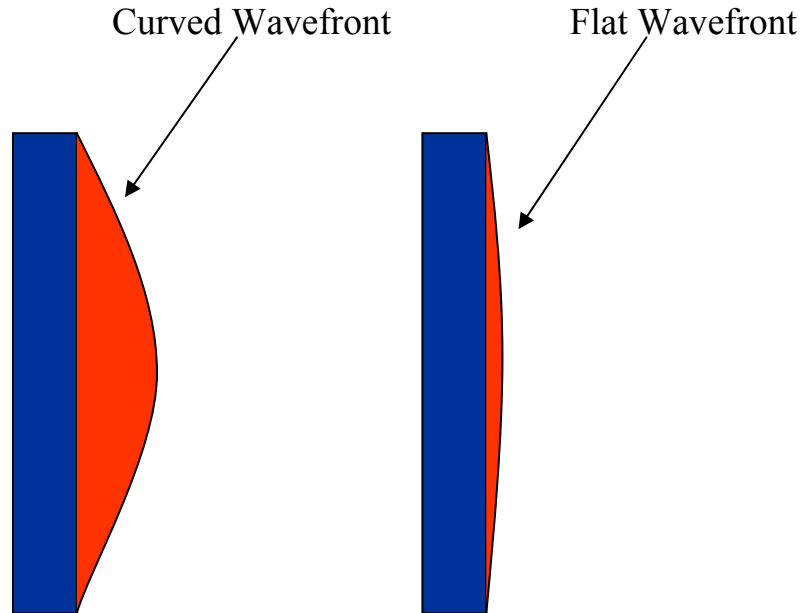


Fig. 16. Onda que obtendríamos sin corrección de longitud (izq.) y onda que se obtiene con un guía de ondas con corrección de longitud (der.).

La Guía de ondas se encarga pues de igualar los caminos de forma que la distancia desde la salida del motor al centro y a los extremos superior e inferior de la superficie radiante sean iguales. De ese modo obtenemos una onda isofásica que tendrá una cobertura vertical estrecha, evitando la interferencia con las superficies radiantes adyacentes como ya hemos mencionado. Existen otras guías de ondas que utilizan técnicas diferentes para conseguir lo mismo.

Principales Características de los sistemas line array.

Como resumen es interesante mencionar las tres características que diferencian a la mayoría de los line array (los que utilizan altavoces de radiación directa) de los sistemas convencionales. Si un sistema line array con altavoces de radiación directa carece de alguna de estas características no se puede decir que vaya a comportarse como un line array. Estas características son las siguientes:

1.- Los altavoces de cono están montados formando una línea vertical, tan próximos entre si como es físicamente posible, lo cual contribuirá al control de la directividad vertical.

2.- La frecuencia mas alta que cada altavoz de cono deberá reproducir (la frecuencia de corte superior) será aproximadamente la que se corresponda con la longitud de onda que se define en la ecuación:

$$d = \lambda/2$$

, donde d es la distancia entre centros de los altavoces.

3.- La sección de agudos tendrá algún tipo de Guía de Ondas que producirá una onda isofásica, o casi isofásica (dependiendo del diseño del sistema y de su aplicación).

Joan La Roda
Ingeniero de Audio

techart1@dasaudio.com

www.dasaudio.com

T. +34 961 340 860

F. +34 961 340 607