

ARREGLOS LINEALES DE FUENTES SONORAS

CRISTIAN D. CARRIZO¹, JOSE S. MELIAN¹ y GUILLERMO STETTLER¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC),
Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.
carrizo.cristiand@gmail.com, lianjosh@hotmail.com, guille_085@hotmail.com

Resumen – En un sistema de refuerzo sonoro de alta calidad son esenciales dos características básicas: a) producir el suficiente nivel de presión sonora (SPL); b) proporcionar una adecuada respuesta en frecuencia. Estas condiciones se deben cumplir por igual en todas las posiciones del área de sonorización. Los sistemas concentrados de altavoces permiten salvar la primera de estas premisas. Sin embargo, como consecuencia de producir frentes de onda esféricos, se verifican interferencias entre las ondas irradiadas en determinadas posiciones del espacio, lo cual ocasiona significativas distorsiones en frecuencia.

En este trabajo se describe una solución al problema que producen las interferencias destructivas en arreglos de altavoces convencionales a través del uso de arreglos de fuentes sonoras lineales, vulgarmente conocidas como “Line Arrays”.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de especificar de manera completa una fuente sonora, necesitamos conocer, además de otras propiedades, sus características direccionales para todas las frecuencias de interés. Algunas fuentes son no direccionales, lo que equivale a decir que radian el sonido igualmente en todas las direcciones y, como tales, se denominan radiadores esféricos. Otras pueden ser altamente direccionales, sea porque su tamaño es inherentemente grande en comparación con la longitud de onda, o sea a causa de su diseño especial.

El objeto de este trabajo es mostrar la solución al problema causado por la interferencia destructiva utilizando arreglos lineales de fuentes sonoras, los cuales se conocen bajo el nombre de *Line Array*.

2. LINE ARRAY

Un line array es un sistema de altavoces que se compone de una serie de ellos acoplados entre sí en una estructura en línea, para crear una fuente lineal en la dirección de propagación del sonido. La distancia entre los conductores de un lado están lo suficientemente cerca para que interfieran constructivamente entre sí, y con un patrón de salida de una distribución más uniforme de sonido.

Estos sistemas se pueden orientar en cualquier dirección, pero su uso principal es de cara al público en arreglos verticales que proporcionan un patrón vertical de salida muy estrecho. Útil para enfocar el sonido a un público sin perder la energía de salida en el techo o el vacío por encima de la audiencia.

Su funcionamiento está basado en crear un frente de onda cilíndrico, lo cual establece una atenuación de 3 dB por cada duplicación de la distancia, como consecuencia de geometría de dispersión cilíndrica de la energía sonora en el espacio. Las fuentes

interactúan en fase por lo cual existe una adición de energía sonora, muy prominente sobretodo en altas frecuencias, ya que crean más interferencias que las frecuencias bajas, debido a las longitudes de onda asociadas las cuales son más cortas.

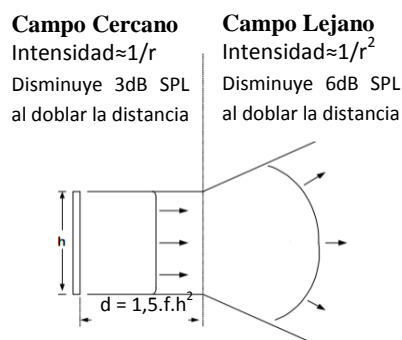


Figura 1: Definiciones de región de campo cercano y campo lejano [1]

Pero con el aumento del tiempo, el frente de onda se convertirá de cilíndrico a esférico, esto se conoce como el campo lejano.

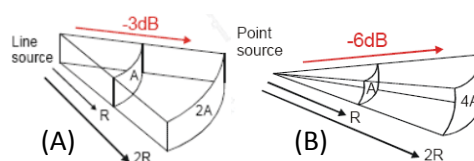


Figura 2: Características de dispersión de onda cilíndrica (A) y de onda esférica (B) [2].

Cuando el límite del campo lejano se alcanza, la interferencia constructiva se ha reducido lo suficiente para que el SPL se reduzca en 6 dB al duplicar la distancia. Esto último sucede para una fuente puntual que irradia una onda esférica, donde se verifica una

disminución de 6 dB del SPL por duplicación de la distancia.

3. ACOPLAMIENTO DE FASE

El acoplamiento eficaz, o suma coherente, tendrá como efecto, que la distribución de presión con la distancia sea más uniforme. Esto se consigue evitando que aparezcan lóbulos secundarios en la respuesta polar vertical del conjunto.

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.

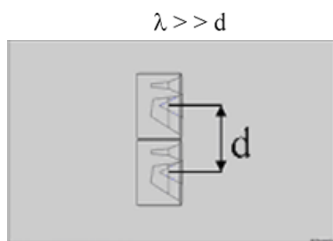


Figura 3: Distancia entre los centros de 2 altavoces [3].

4. ACOPLAMIENTO EN FASE DE ALTAS FRECUENCIAS

Para obtener un acoplamiento eficaz entre fuentes sonoras, sin producir 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 ($d \leq \lambda/2$ de f_{\max}). En el caso de las altas frecuencias la f_{\max} es 20 kHz, cuya longitud de onda es de 1,7 cm. No existen transductores de agudos de 0,85 cm de diámetro lo bastante potentes o eficaces para las aplicaciones de refuerzo sonoro profesional. Por lo cual debe utilizarse otra técnica diferente para solucionar el problema de alta frecuencia en los arreglos lineales.

Es posible implementar un sistema real que se aproxime al ideal ensamblando verticalmente fuentes sonoras rectangulares discretas, 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 sí 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.

5. GUÍAS DE ONDA

La guía de onda es una bocina de difracción cuya función es convertir la abertura circular de la unidad motriz de compresión (compression driver) de radiación esférica en una boca de salida angosta tipo fuente lineal.

Estas guías de onda deben ser verticales, no horizontales. El sonido debe estar en fase a lo largo de la boca de la bocina (frente isofásico).

Para que esto suceda la distancia física desde la garganta hasta cualquier punto en la boca debe ser idéntico.

Hay diversas maneras de lograr esto. En el ejemplo gráfico anterior, dentro de cada bocina hay un laberinto de lentes acústicas. La ingeniería de las guías de onda es uno de los pocos avances tecnológicos originales de los sistemas de arreglos lineales actuales. Esta es la pieza clave en un line array.

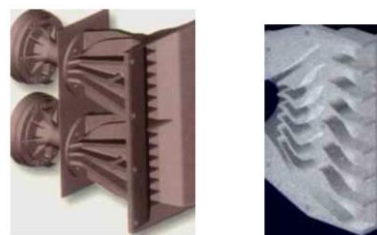


Figura 4: Guía de ondas (izq). Lentes internas (der). [4]

5.1 Frente de Onda Isofásico

Es esencial que un arreglo en línea genere un frente de onda coherente, en fase (isofásico), para todas sus frecuencias de funcionamiento. Para esto es necesario que exista un acople coherente de la dispersión sonora entre las unidades que componen el arreglo lineal y se logra sólo si la distancia máxima entre los centros acústicos de los radiadores de unidades diferentes y contiguas es menor que media longitud de onda (de la menor longitud de onda a reproducir por ambos).

5.2 Guía de Onda Coercitivas

La solución más simple es probablemente un driver de compresión convencional acoplado a una bocina extendida, con su apertura pequeña respecto a su longitud. El largo túnel de “guía de sonido” logra un reducido grupo de retardo de las frecuencias radiadas desde la garganta hasta la boca de la bocina.

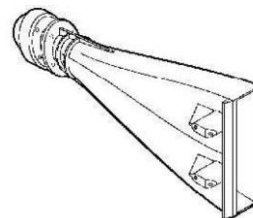


Figura 5: Formador de onda de la firma JBL [4]

La diferencia de fase del frente de onda el cual es curvado, no debe exceder a un cuarto de la longitud de onda, lo que le permite acoplarse coherentemente con las otras guías de onda abajo o encima.

5.3 Guía de Onda DOSC

La empresa francesa L'Acoustics desarrolló una guía de onda patentada que se basa en Tecnología de

Escultura de un Frente de Onda™ (WST™). Un driver de compresión convencional está acoplado a una guía de onda la cual continuamente desvía las ondas sonoras en la misma forma que son radiadas desde el puerto de apertura en fase.

Para alcanzar esto, fue desarrollado un adaptador de fase encerrado. La longitud del trayecto alrededor del adaptador permanece constante desde la garganta del driver hasta la boca de la bocina.

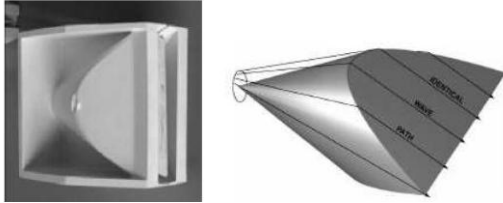


Figura 6: Guía de onda DOSC (izq). Trayectos de la guía de onda DOSC (der) [4].

5.4 Reflector Parabólico

Una implementación innovadora fue la realizada por la firma NEXO para sus series GEO. Las ondas sonoras generadas por un driver convencional son reflejadas por un espejo acústico parabólico. Así, todas tienen el mismo retardo y cuando alcancen la apertura de la bocina, estarán en fase.

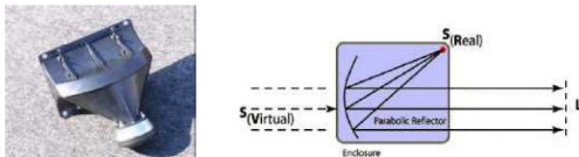


Figura 7: Reflector parabólico (izq). Diseño de un reflector parabólico (der) [4].

6. CONFIGURACIONES

Las configuraciones usadas para la instalación de estos sistemas son las siguientes:

- ✓ Lineal
- ✓ 'J'
- ✓ Espiral
- ✓ Curvado

Si consideramos el punto medio del sistema de altavoces para tomar como referencia, podremos decir que, mientras que la mitad inferior se inclinaría hacia abajo para proporcionar una cobertura adicional en lugares cercanos a la parte delantera del escenario, la mitad superior se dirige hacia arriba en el techo y parte lejana al escenario.

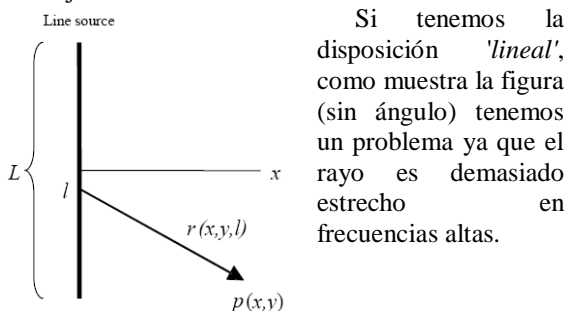


Figura 8: Geometría de construcción de campo de presión de una fuente de línea. [5]

Si tenemos la disposición 'lineal', como muestra la figura (sin ángulo) tenemos un problema ya que el rayo es demasiado estrecho en frecuencias altas.

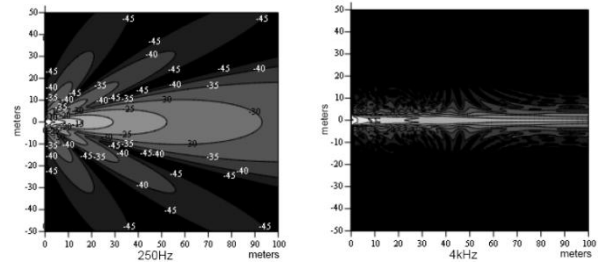


Figura 9: Campos de presión de una fuente de línea de 4 m. Para 250 Hz (izq) y para 4 kHz (der) [5].

Una solución para utilizar las mejores características de ambas matrices es utilizar un 'J-array'.

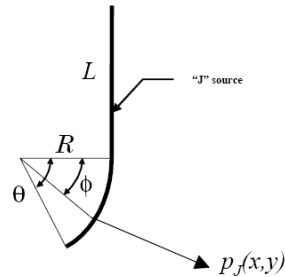


Figura 10: Geometría de construcción de campo de presión de una fuente tipo 'J' [5].

Este se compone de una porción de línea recta y una porción curva, normalmente en la parte inferior. Esto proporciona un componente de largo alcance en línea recta para las personas relativamente lejos, mientras que la curva en la parte inferior actúa como relleno para la zona debajo de la matriz que de otro modo serían olvidadas.

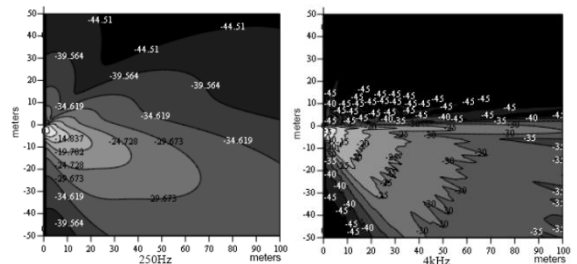


Figura 11 Campos de presión de una fuente tipo 'J' de 4 m. Para 250 Hz (A) y para 4 kHz (B) [5].

Los 'espiral arrays' son el desarrollo próximo de los J-arrays, y tienen una respuesta de frecuencia superior debido a su patrón polar similar en las

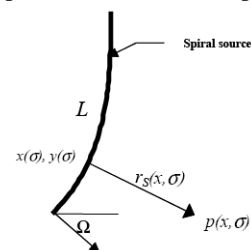


Figura 12: Geometría de construcción de campo de presión de una fuente tipo 'espiral' [5].

frecuencias cambiantes, mientras que todavía conserva el largo alcance y relleno de beneficios que los J-arrays ofrecen. El concepto es que los *espiral arrays* curvan todo el camino a lo largo de la matriz, pero la curva es progresiva.

Esto significa que la parte superior de la matriz es casi recta con ángulos de 1° entre cajas, y aumenta en la parte inferior de entre 6° y 10°. Un amplio espiral bien diseñado podría tener un patrón de directividad casi constante con la frecuencia, con

algunos pequeños lóbulos expuesto a bajas frecuencias.

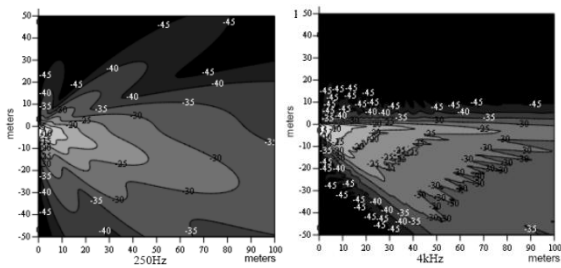


Figura 13: Campos de presión de una fuente tipo ‘espiral’ de 4 m. Para 250 Hz (A) y para 4 kHz (B) [5].

Muchos conjuntos de línea de altavoces utilizados en la práctica son en realidad curvos. Esto se debe a que el arreglo lineal a alta frecuencia produce una estrecha respuesta polar vertical a menudo demasiado estrecha para llegar al público por debajo y ligeramente por delante de la matriz. Un arreglo ligeramente curvo proporciona una cobertura superior en este ámbito. Una fuente de arco, es un importante tipo de fuentes de líneas curvas.

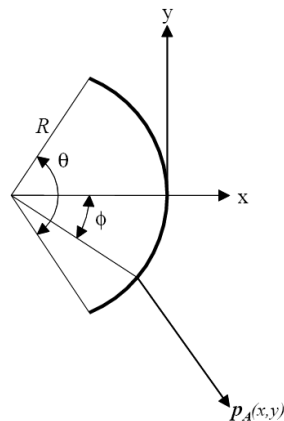


Figura 14: Geométrica de construcción de campo de presión de una fuente tipo ‘arco’ [5].

En todas las frecuencias ofrece una respuesta más amplia de directividad que una fuente en línea recta de la misma longitud. En alta frecuencia, esta proporciona un patrón polar que se corresponde con el ángulo del arco.

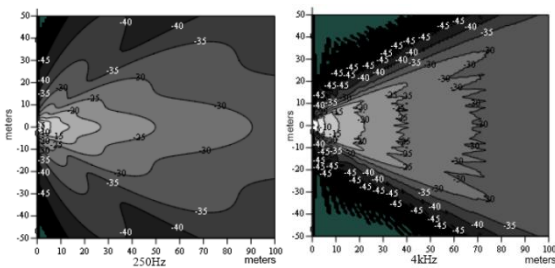


Figura 15: Campos de presión de una fuente tipo ‘arco uniforme’ de 4 m. Para 250 Hz (A) y para 4 kHz (B) [5].

7. SOFTWARE

Para la correcta configuración de un “LINE ARRAY” es necesario contar un programa de predicción que nos ayude a escoger los ángulos entre las cajas. Casi todas las marcas tienen su propio programa. Sin un software adecuado la predicción es prácticamente imposible de realizar.

Se Tiene en cuenta que en los “LINE ARRAY”, al tener cobertura vertical muy estrecha, un error de

pocos grados puede tener unas consecuencias muy graves y dejar una zona del público sin sonarizar.

Para realizar un optimo diseño electroacústico basado en un sistema de altavoces tipo arreglo lineal es necesario utilizar instrumentos de medición como inclinómetros digitales, los cuales permiten medir los ángulos e inclinaciones de cada elemento, y los medidores de distancia laser ó distanciómetros laser.

Cada fabricante tiene su propio programa, la mayoría están realizados en entornos de Excel, como *Ease Focus* de QSC, *Soundvision* de HEIL ACOUSTIC, *GeoSoft* de NEXO, *Y-axis Shooter* de Adamson y otros como *Mapp On Line* de MEYER SOUND, que permite ver mapas de presión sonora vs fase, como así también mapas de interferencia constructiva y destructiva.

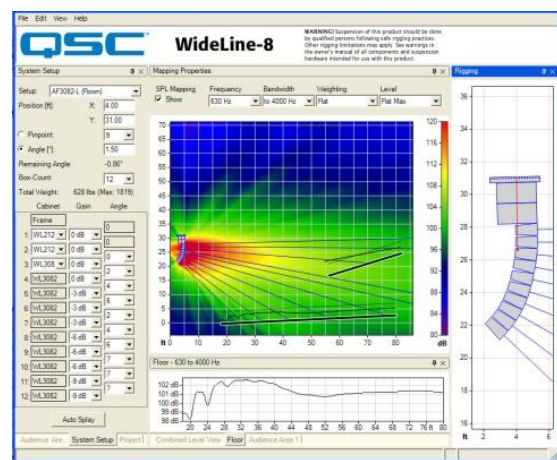


Figura 16: *Ease Focus* de QSC [6].

8. CONCLUSION

En este trabajo se describe cuales son las características principales de los line arrays. Si un arreglo lineal de altavoces de radiación directa carece de alguna de estas características no se puede decir que vaya a comportarse como sistema de altavoces que produce ondas cilíndricas cuyos frentes de onda son isofásicos. Entonces podemos decir, que los altavoces deben estar montados formando una línea vertical, tan próximos entre sí como es físicamente posible, lo cual contribuirá al control de la directividad vertical. Además debe tener un acoplamiento en fase de alta frecuencia y algún tipo de guía de ondas la que producirá una onda isofásica.

9. REFERENCIAS

- [1] Griffin J.R., "Design Guidelines for Practical Near Field Line Arrays" 2003.
- [2] Cuevas de J.A.. Publicación en la página web: <http://www.ispmusica.com/articulo.asp?id=577>
- [3] D.A.S. Audio, Reporte Técnico. Publicación en la página web: http://www.dasaudio.com/DOCUMENTOS_D/ARTICULOS/ESPA%3%91OL/LINE_ARRAYS_COMO_FUNCIONAN_2008.PDF

[4] Holtmeyer V., "Line Array Loudspeaker System Simulation with the Ulysses CAAD Software" Tesis, Abril, 2005.

[5] Ureda M.S., "Analysis of Loudspeaker Line Arrays" J. Audio Eng. Soc., vol. 52, No. 5, May 2004.

[6] QSC Audio Products. Publicación en la página web:

http://www.qscaudio.com/images/software/ease_focus_screenshot_full.jpg

10. DATOS BIOGRAFICOS

Cristian David Carrizo, nacido en La Rioja el 22/01/1983. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.

E-mail: carrizo.cristiand@gmail.com

José Sebastián Melián, nacido en La Rioja el 12/05/1983. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.

E-mail: lianjosho@hotmail.com

Guillermo Stettler, nacido en Córdoba el 25/05/1985. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina.

E-mail: guille_085@hotmail.com