

COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE SONORIZACIÓN TIPO “LINE ARRAY”

PACS: 43.38.Hz

Rodríguez Ramírez, Asensio; Navarro Ruiz, Juan Miguel
Universidad Católica de Murcia
E. Ingeniería Técnica de Telecomunicación
Departamento de Ciencias Politécnicas
Campus de los Jerónimos, s/n
30107 Guadalupe. Murcia. España
Tel: +34 968 278 825
Fax: +34 968 278 581
E-mail: asen.rodriquez@zeckaudio.net ; jmnavarro@pdi.ucam.edu

ABSTRACT

In this work, the theoretical behavior has studied widely which they present/display the devices known like “line Array”, obtaining a series of design conclusions raising a practical implementation and its later verification. With the intention of carrying out the study of the real behavior of this type of systems, “line array” of four elements on the basis of the obtained conclusions, on which a series of real tests is made, characterizing its acoustic behavior, determining the sonorous field that has been constructed they generate and its pattern of directivity in the different configurations.

RESUMEN

En este trabajo, se ha estudiado ampliamente el comportamiento teórico que presentan los dispositivos conocidos como “line array”, obteniendo una serie de conclusiones de diseño para plantear una implementación práctica y su posterior verificación. Con objeto de llevar a cabo el estudio del comportamiento real de este tipo de sistemas, se ha construido un “line array” de cuatro elementos en base a las conclusiones obtenidas, sobre el que se realizan una serie de pruebas reales, caracterizando su comportamiento acústico, determinando el campo sonoro que generan y su patrón de directividad en las diferentes configuraciones.

INTRODUCCIÓN

En este documento se resumen las bases teóricas sobre las que se sustentan los sistemas line arrays, que pueden ser definidos, como un conjunto de cajas acústicas dispuestas de forma apilada, unas sobre otras, con unas características determinadas. Estos sistemas permiten, teóricamente, mediante la creación de una onda cilíndrica, perder solamente 3 dB de nivel de presión sonora cada vez que se dobla la distancia de audición con respecto a la fuente. De acuerdo a estos principios teóricos, se ha realizado el diseño y la implementación de un sistema line array llevándose a cabo posteriormente, las pruebas necesarias para demostrar la veracidad del comportamiento teórico expuesto.

COMPORTAMIENTO TEÓRICO

Para describir el comportamiento teórico de esta serie de dispositivos cabe aclarar que, el término line array se va a definir como un conjunto de fuentes sonoras elementales idénticas situadas una encima de la otra, formando una columna. Por lo tanto, será necesario definir una serie de términos con los que caracterizar a estos dispositivos:

- El tamaño de un altavoz individual se va a representar por la letra D .
- El número de fuentes sonoras apiladas verticalmente se va a representar por la letra N .
- El tamaño global de todo el sistema se va a representar por la letra H para determinar la altura y a para la anchura.
- A la distancia de separación entre los centros de 2 fuentes sonoras contiguas se le va a denominar distancia $STEP$.
- A la distancia de audición se le denomina r .

Para determinar su funcionamiento teórico, el sistema formado por N fuentes sonoras se debe comportar como una única fuente lineal de altura H , de manera que el campo sonoro generado por un line array, se pueda aproximar al generado por una fuente sonora rectangular. Para el análisis del campo sonoro se realiza una división de éste, en dos zonas bien diferenciadas, la zona de Fresnel y la zona de Fraunhofer.

La presión sonora producida por un line array de cajas acústicas, en condiciones de campo lejano ($r \gg H$) o lo que es lo mismo en la región de Fraunhofer, va a ser directamente proporcional a $1/r^2$ ya que la propagación de la onda sonora dentro de esa zona va a ser esférica. Por el contrario, si nos encontramos dentro de la región de Fresnel, o lo que es lo mismo, en condiciones de campo cercano ($r \ll H$), la propagación de la onda sonora va a ser cilíndrica, por lo que la presión sonora va a ser directamente proporcional a $1/r$.

Hablando en términos de Nivel de Presión Sonora (NPS), un sistema line array va a perder teóricamente 3dB cada vez que se doble la distancia, si nos encontramos dentro de la región de Fresnel, mientras que si estamos dentro de la región de Fraunhofer, tenemos que esa pérdida va a ser de 6dB.

La directividad vertical de un line array esta definida por la ecuación siguiente:

$$R(\alpha) = \frac{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin(\alpha)\right)}{\frac{\pi l}{\lambda} \sin(\alpha)} = \text{sinc}\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin(\alpha)\right) \quad (1)$$

Según esta función, la respuesta vertical de este tipo de dispositivos va a ser cada vez más directiva conforme la frecuencia va aumentando, siendo a bajas frecuencias casi omnidireccional.

La respuesta horizontal, por el contrario, va a ser casi omnidireccional en cualquier frecuencia.

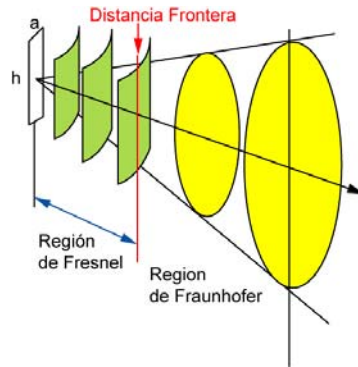


Figura 1- Representación gráfica del campo sonoro generado por un sistema line array.

CONCLUSIONES DE DISEÑO PARA UN LINE ARRAY

Distancia Frontera:

La *Distancia Frontera* para un line array se va a definir como:

$$r_{frontera} = \frac{3}{2} H^2 f \sqrt{1 - \frac{1}{(3fH)^2}} \quad (2)$$

Nos interesa que la *Distancia Frontera* sea lo más grande posible, como podemos deducir, esta va a aumentar de forma proporcional a la frecuencia.

Factor de Radiación Activo (ARF):

Se define como $ARF = \frac{h}{STEP}$.

Para eliminar la aparición de lóbulos secundarios de gran potencia situados fuera del eje tenemos que:

$$ARF \geq 0.82 \left[1 + \frac{1}{4.73(N+1)} \right] \quad (3)$$

Esto se traduce, en que la superficie radiante del line array debe ser mayor o igual que el 82% de la superficie total del mismo. Como conclusión, podemos decir que a menor distancia de separación entre los centros sonoros adyacentes, mejores serán las prestaciones del sistema.

Frente de onda:

El frente de la onda sonora tiene que ser lo más plano posible para que la radiación producida por el line array pueda aproximarse a la producida por una fuente lineal o una fuente rectangular. La curvatura del mismo debe ser menor que $\lambda/4$.

Guía de ondas:

Para cumplir con las dos condiciones anteriores es indispensable que la reproducción de las frecuencias altas de un sistema line array utilicen un dispositivo denominado *guía de onda*.

Aumento angular máximo entre fuentes sonoras:

Se debe de determinar un ángulo de curvatura máximo entre dos cajas acústicas adyacentes, para que no se produzcan interferencias destructivas entre las respuestas individuales de cada una de ellas. Este ángulo máximo se define como:

$$\alpha_{\max} = \frac{STEP}{r_{\min}} \frac{STEP_{\max}}{STEP} \left[1 - \left(\frac{STEP}{STEP_{\max}} \right)^2 \right] = \frac{1}{24ARF} \frac{1}{STEP} \left[1 - \left(\frac{STEP}{STEP_{\max}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA

Para llevar a cabo la creación de un sistema line array, primero se diseñó una caja acústica individual que actuó como prototipo. En base a esta, se realizaron todos los cálculos de diseño para crear las 4 cajas acústicas definitivas, que junto con el sistema de rigging diseñado, van a formar el sistema line array final sobre el que se realizan las medidas de comprobación.

Según el estudio teórico realizado y las conclusiones de diseño obtenidas, nuestro sistema line array va a cumplir las siguientes características:

- La distancia de separación entre los frentes sonoros de cajas acústicas adyacentes va a ser la más pequeña posible.
- Se utilizarán altavoces de solamente 5" con una potencia de 175w AES, para la reproducción de frecuencias graves y medias.
- Utilizamos una guía onda de diseño optimizado para la reproducción de agudos con un motor de compresión de 1".
- El diseño de la caja acústica va a ser asimétrico, formado por tres altavoces alineados horizontalmente.
- Cabe destacar que nuestras cajas acústicas van a ser de dos vías.

VERIFICACIÓN Y MEDIDA

Las medidas que se realizaron se centraron principalmente en comprobar los dos parámetros más importantes, que hacen de los sistemas line arrays, elementos novedosos y únicos. Para ello, se analizó el comportamiento directivo del sistema tanto en horizontal como en vertical. Como se puede observar en la figura 2, la directividad vertical del sistema va haciéndose cada vez mayor a medida que va aumentando la frecuencia, sobre todo a partir de los 1.500 Hz, coincidiendo con el comienzo de trabajo del motor de compresión de agudos. En cuanto a la cobertura horizontal, se puede observar como su cobertura es muy amplia, llegando a alcanzar aproximadamente los 150°. También se aprecia claramente cuando comienza el motor de compresión a funcionar.

Podemos observar en la figura 3, como es posible controlar la cobertura vertical de este tipo de dispositivos. Cabe destacar la respuesta de directividad asimétrica, a pesar de ello conseguimos mantener una cobertura horizontal grande.

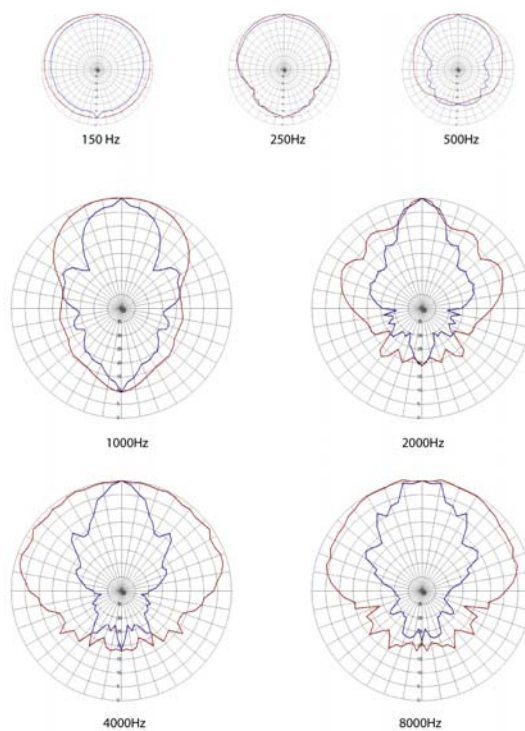


Figura 2 – Respuesta polar real en 2D tanto en horizontal (color rojo) como en vertical (color azul) del line array recto.

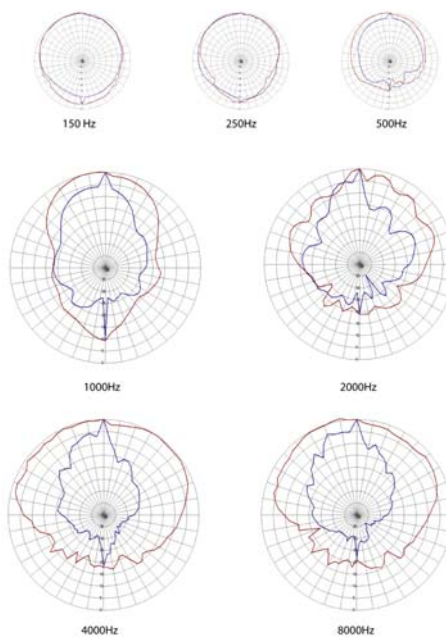


Figura 3 – Respuesta polar real en 2D tanto en horizontal (color rojo) como en vertical (color azul) del line array de tipo J siendo las inclinaciones de las cajas acústicas 0°, 0°, 4°, 4°.

También se analizó el comportamiento del campo sonoro generado en función de la distancia de audición con respecto a la fuente sonora. Como se puede observar en la figura siguiente, cada vez que se dobla la distancia se van a perder alrededor de 3dB, sobre todo en altas frecuencias a partir de 1.000Hz. Esto coincide con el comportamiento teórico descrito en puntos anteriores, sin embargo, para frecuencias menores podemos observar como la respuesta es bastante caótica y no nos permite determinar con claridad y exactitud la diferencia de nivel entre cada una de las medidas realizadas. Sin embargo, podemos predecir que la pérdida va a

ser mayor que 3dB. Aun así, se mejora en bajas frecuencias el comportamiento de otros sistemas de reproducción sonora anteriores al line array.

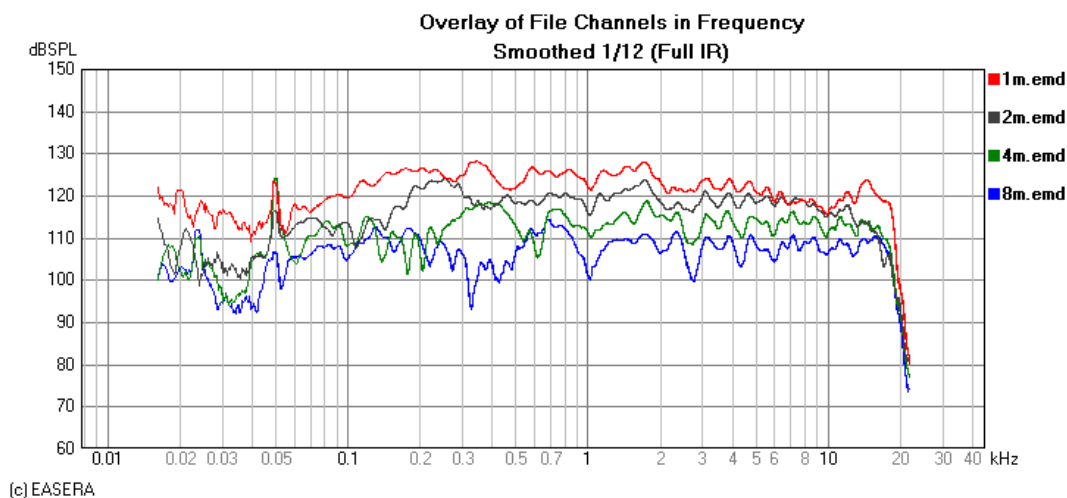


Figura 5 – Respuesta en frecuencia del nivel de presión sonora a lo largo del eje acústico.

CONCLUSIONES

La conclusión principal obtenida es que, un line array correctamente diseñado va a generar en su conjunto una onda cilíndrica, que va a perder al doblar la distancia alrededor de 3 o 4 dB en gran parte del margen de frecuencias útiles. También por otro lado, se ha demostrado a lo largo de todas las medidas que se han realizado variando el ángulo de inclinación entre las cajas acústicas, que es posible controlar la cobertura vertical de un sistema formado por un conjunto de cajas acústicas sin que se produzcan fenómenos de interferencia perjudiciales. Por lo tanto han quedado demostradas prácticamente las dos principales características del comportamiento acústico de un line array.

AGRADECIMIENTOS

Zeck Audio Ibérica S.L

REFERENCIAS

- [1] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens y James V. Sanders "Fundamentos de Acústica", Editorial Limusa
- [2] Marcelo Alonso y Edward J. Finn, "Física Volumen II: Campos y ondas", Editorial Pearson Educación
- [3] Basilio Pueo Ortega y Miguel Romá Romero "Electroacústica. Altavoces y micrófonos", Editorial Pearson Educación.
- [4] L. L. Beranek "ACOUSTICS", Publicado por the American. Institute of Physics.
- [5] C. Heil, M. Urban, "Sound Fields Radiated by Multiple Sound Source Arrays", Presented at the 92nd AES Convention, Vienna, March 24-27, 1992
- [6] C. Heil, M. Urban y Paul Bauman, "Wavefront Sculpture Technology", Presented at the 111nd AES Convention, New York, September 21-24, 2001
- [7] Mark S. Ureda, "Line Arrays: Theory and Applications", Presented at the 110nd AES Convention, Amsterdam, May 12-15, 2001.
- [8] Mark S. Ureda, "'J' and 'Spiral' Line Arrays", Presented at the 111nd AES Convention, New York, September 21-24, 2001