

INTERACCIÓN ACÚSTICA Y SU APLICACIÓN EN ARREGLOS DE ALTAVOCES (PARTE I)

Por Luis Quiñones

Tanto en el campo del audio profesional como en la literatura técnica respectiva (y hasta en la literatura comercial), escuchamos frecuentemente el término inglés *array* al referirse a conjuntos de altavoces. Ello se debe, sin duda, a la reciente popularidad de los sistemas *line array*; sin embargo, *array* es un término de uso común en la ingeniería, no sólo de audio, y significa formación o conjunto —en este caso de altavoces—, pero generalmente se traduce más libremente como arreglo.



Pero, ¿qué es un arreglo de altavoces? ¿Por qué es necesario diseñar arreglos o *formaciones* de altavoces? ¿Qué beneficios traen? ¿Cómo funcionan? Para responder a estas preguntas es necesario revisar algunos aspectos básicos de la interacción acústica entre elementos radiantes (altavoces en este caso), y de esta manera sentar las bases para lograr un entendimiento, no sólo teórico, sino también práctico, de los fundamentos del diseño de sistemas de sonido.

La teoría detrás de la interacción acústica es, por su complejidad y amplitud, tema de un gran número de publicaciones. Es por ello que nos limitaremos a hablar sobre los aspectos más básicos de la interacción acústica entre altavoces y su aplicación al diseño de arreglos convencionales a lo largo de tres artículos. Esperamos que este material motive y estimule a aquellos interesados a profundizar en el tema, y que ayude a entender mejor los fundamentos del diseño de sistemas de sonido.

Vámonos por partes

Para empezar nos haremos una pregunta muy sencilla: ¿Qué pasa cuando colocamos un altavoz a un lado de otro? Aunque los sistemas de sonido generalmente constan de más de dos altavoces (de hecho, por lo general de un gran número de ellos), es necesario primero tomar el caso más sencillo: dos altavoces, es decir, dos fuentes sonoras independientes.

Entonces supongamos que colocamos un altavoz al lado de otro; las ondas sonoras producidas por ambos se propagarán en el espacio e interactuarán de diferente manera unas con otras. De esta forma observaremos que para cada punto en el espacio, la respuesta combinada de ambos altavoces será distinta debido a la interacción entre ellos. Tomaremos para estudiar estas interacciones un ejemplo sencillo —el más básico— y usaremos como ejemplo dos fuentes omnidireccionales que irradian sonido con la misma intensidad en todas direcciones.

Una fuente sonora omnidireccional que funciona a todas las frecuencias es teóricamente ideal, ya que en la práctica la mayoría de los altavoces cambia su directividad con la frecuencia (la excepción mas notoria son los *subwoofers*, pero estos tienen un rango de frecuencia limitado). Al ser fuentes sonoras omnidireccionales y propagar el sonido en todas direcciones desde un solo punto, las llamaremos fuentes puntuales, mismas que al ser ideales, funcionan muy bien para un poco de análisis teórico. Veamos.

En la figura 1 podemos ver un altavoz que irradia ondas sonoras a una frecuencia dada (por simplicidad mostramos sólo las ondas al frente), visto desde arriba y en perspectiva. Estas ondas se propagan concéntricamente hacia afuera del altavoz, como las ondas del agua al arrojar una piedra. Cuando añadimos un segundo altavoz separado por una distancia dada, y orientado paralelamente al primero, vemos cómo las ondas de ambos altavoces se propagan de la misma forma, superponiéndose unas a otras y creando un patrón semejante al de dos ondas en el agua (figura 2). Aquí asumiremos que ambos altavoces están reproduciendo la misma señal y por lo tanto están propagando ondas sonoras a la misma frecuencia.

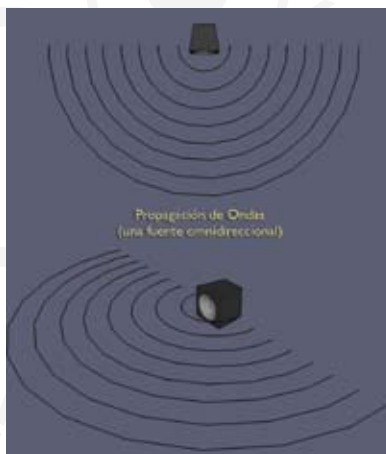


Figura 1

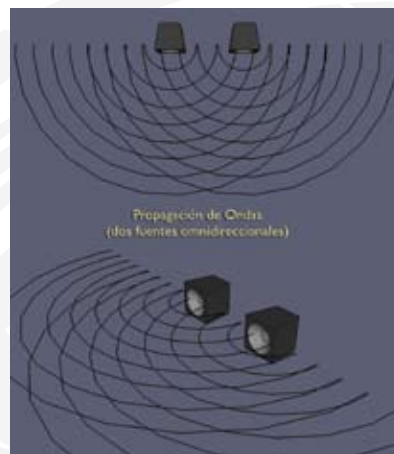


Figura 2

Las dos ondas propagadas forman un patrón de interacción bien definido que dará lugar a dos formas de combinación de ellas, dependiendo principalmente de su relación de fase y amplitud (que a su vez dependerá del tiempo y la distancia que se tomen en encontrarse una a la otra en un punto dado del espacio). Cuando dos ondas se encuentran con una relación de fase de cero grados se sumarán, creando puntos de interacción constructiva, mientras que cuando se encuentran con una relación de fase de 180 grados ambas ondas se cancelarán, creando puntos de interacción destructiva.

En los patrones producidos por la interacción de dos fuentes sonoras podremos observar con claridad la interacción tanto constructiva como destructiva que se produce. En las figuras 3 y 4 podemos ver imágenes que nos muestran este tipo de patrones. En la parte superior podemos verlos representados en dos dimensiones; las bandas blancas representan las ondas a cero grados y las bandas negras representan las ondas a 180 grados (lo que corresponde a la compresión y rarefacción de la onda, respectivamente). La distancia entre una banda blanca y la siguiente (una blanca y una negra) es la longitud de onda. Sin embargo también podemos notar algunas zonas amplias en gris, que parten radialmente de las fuentes curvándose hacia afuera y otras zonas más claramente definidas en blanco y negro.

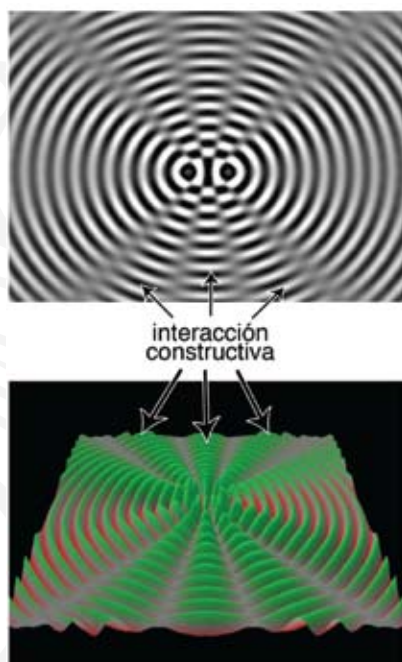


Figura 3

Las zonas grises (figura 4 arriba) son zonas de interacción destructiva, es decir, de cancelación acústica, mientras que las áreas más definidas en blanco y negro son las zonas de interacción constructiva (figura 3 arriba) o de suma acústica. Análogamente en la parte inferior de ambas figuras podemos ver una representación en tres dimensiones, donde las partes más altas o picos indican interacción constructiva (figura 3 abajo) y las partes más bajas o valles indican interacción destructiva (figura 4 abajo).

Algo que podemos observar, es que estos patrones dependerán a la vez de la relación de distancia entre fuentes (altavoces) y de la

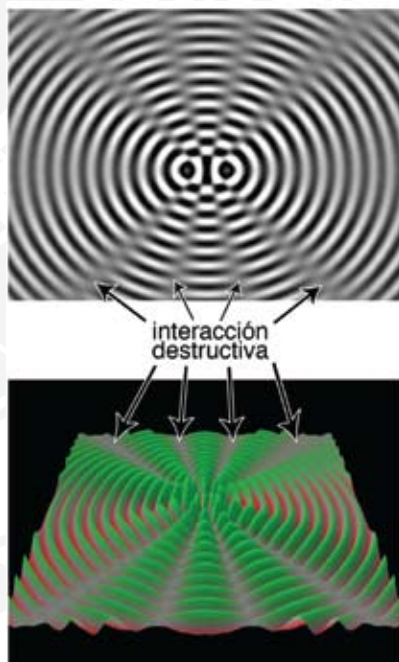


Figura 4

longitud de onda de la frecuencia reproducida. Por ello encontraremos que para cada frecuencia habrá un patrón de interacción diferente y por lo tanto, si nuestras fuentes reproducen un rango de frecuencia determinado, mostrarán una respuesta de frecuencia irregular con sumas y cancelaciones que cambian en frecuencia para cada punto del espacio. Esta respuesta dependerá de lo siguiente:

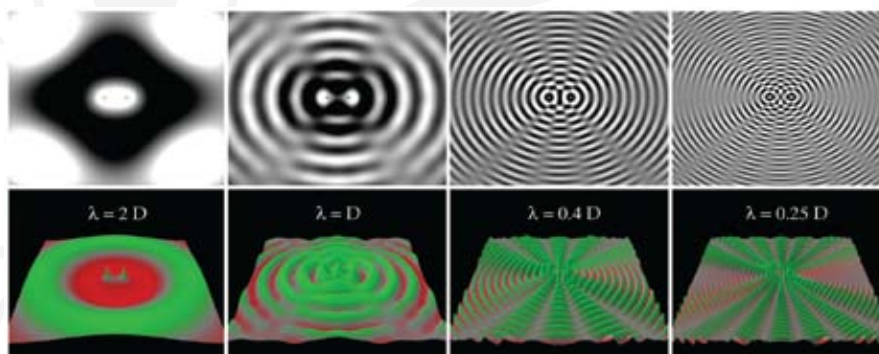


Figura 5

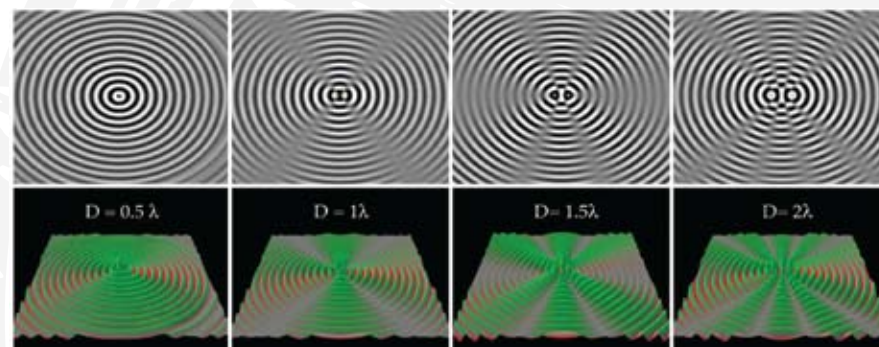


Figura 6

En la figura 5 podemos ver una serie de imágenes de estos patrones de interacción. De izquierda a derecha vemos cómo dos fuentes separadas por la misma distancia D se comportan a diferentes frecuencias. A la izquierda vemos el patrón producido por una frecuencia cuya longitud de onda es dos veces D , seguida de los patrones producidos por frecuencias de una vez D , 0.4 veces D y 0.25 veces D respectivamente hacia la derecha. Claramente vemos que la longitud de onda disminuye hacia la izquierda, es decir, aumenta la frecuencia.

En estas imágenes podemos apreciar que cuando la longitud de onda es menor a la distancia que separa a las fuentes, la propagación de ambas ondas tenderá a comportarse prácticamente como una sola onda. En este caso tenemos una interacción constructiva completa (de mayor suma) o acoplamiento acústico. Posteriormente veremos que, aunque complicado de lograr en la práctica, el acoplamiento es una condición que buscaremos obtener en la configuración de arreglos de altavoces, ya que nos permitirá optimizar acústicamente tanto la respuesta de frecuencia como la eficiencia acústica de nuestro arreglo.

En la figura 6 podemos ver otra serie de patrones de interacción, pero esta vez la frecuencia es constante y lo que varía es la distancia D entre fuentes. A la izquierda vemos el patrón producido por una separación D de la mitad de la longitud de onda, seguida de los patrones producidos por separaciones D iguales a una vez, 1.5 veces y 2 veces la longitud de onda respectivamente hacia la derecha.

A partir de estas imágenes podemos ver que cuando la distancia entre fuentes es muy pequeña comparada con la longitud de onda, nos acercamos de nuevo a una condición de acoplamiento, mientras que cuando la distancia entre las fuentes es mayor a la longitud de onda, dejaremos de tener acoplamiento y tendremos una mayor interacción destructiva.

¿Cuál es el final de la historia?

De esta forma llegamos a una conclusión de gran relevancia, y ésta es que la distancia de separación entre fuentes **D** debe ser menor a dos tercios de la longitud de onda para lograr la mayor interacción constructiva. Esto se debe a que bajo esta relación las diferencias de fase entre ambas fuentes nos permitirán tener una suma parcial o total, mas no cancelaciones. Tan pronto como aumentamos dicha distancia mas allá de esta relación, las diferencias de fase comienzan a ser mayores y por lo tanto los patrones de interacción destructiva comienzan a aparecer nuevamente.

Podría parecer entonces que esta conclusión nos facilita las cosas; si deseamos lograr el acoplamiento entre altavoces, habría que mantenerlos a una distancia que permita producir dicho acoplamiento y tener la mayor suma acústica posible. Sin embargo la aplicación práctica no resulta tan sencilla, ya que un altavoz real no reproduce únicamente una frecuencia, sino todo un rango de frecuencias que varían considerablemente en longitud de onda, desde 17.2 metros para 20 Hz hasta 17 milímetros para 20 kHz. Para lograr el máximo acoplamiento a 20 Hz necesitaríamos mantener nuestros altavoces a una distancia menor a 11.5 metros (2/3 de 17.2 metros). ¡Fácil! Un altavoz profesional cuando mucho mide 1.8 metros.

Pero cuando se trata de altas frecuencias necesitaríamos entonces que nuestros altavoces estuvieran a menos de 11 milímetros unos de otros. Prácticamente imposible, sobre todo si consideramos que los parlantes de compresión mas pequeños usados en sonorización miden alrededor de una pulgada de diámetro, es decir, 25.4 milímetros, más del doble de la distancia necesaria para lograr el acoplamiento a esas frecuencias (sin considerar por supuesto las mayores distancias entre la embocadura de los difusores de trompeta tan necesarios para lograr directividad en altavoces y expandir la salida de alta presión de un parlante de compresión). El resultado de esto es que, hablando en términos generales, es mucho más fácil lograr un acoplamiento acústico a bajas frecuencias que a frecuencias medias o altas.

Además hasta ahora hemos hablado de fuentes omnidireccionales, pero un altavoz real cuenta también con un patrón de directividad y dista mucho de irradiar sonido a la misma intensidad en todas direcciones, lo que afectará consecuentemente la manera en que configuremos un arreglo de altavoces. En las dos siguientes partes hablaremos sobre los efectos del acoplamiento acústico, las diferencias de tiempo entre altavoces, además de cómo los diferentes tipos de arreglos de altavoces nos permiten reducir o minimizar la interacción destructiva, y describiremos también algunos ejemplos prácticos de arreglos de altavoces. 🎧

.....

Luis Quiñones cuenta con 16 años en el medio del audio profesional, principalmente mezclando sonido en vivo y diseñando sistemas de sonorización. Es uno de los fundadores de Zero Phase Sound Design Consultants, donde presta servicios profesionales de audio para la industria del espectáculo y diseña sistemas para instalaciones fijas y diversos eventos.