

Electroacústica en grandes espacios abiertos

M. Sigüero, J. Pfrezschner

Instituto de Acústica (CSIC). c/Serrano 144, 28006 Madrid

Un sistema de sonorización profesional tiene en cuenta multitud de aspectos directamente relacionados con la electroacústica como son la captación, radiación y propagación de las señales sonoras generadas por los componentes del grupo protagonista de la representación. El transporte de toneladas de equipo, su apresurado montaje, pero sobre todo la cambiante ecualización de los sistemas en lugares diferentes influyen de modo importante en el proceso de transferencia de la señal sonora.

Dadas las limitaciones de espacio, en este trabajo presentamos un pequeño estudio que tiene en cuenta tan sólo dos aspectos, probablemente los más significativos, de un sistema de sonorización: La respuesta en frecuencia y la directividad de los elementos radiantes. Dejando para otra ocasión aspectos tan destacados como son la captación de señal; la percepción y valoración que hacen los espectadores de los enormes niveles sonoros en los que se “bañan”; las imbricaciones de la semiología de los grandes gestos presentes en un concierto o la manifiesta interrelación de los sonidos con las imágenes proyectadas.

En el caso de una sala de conciertos su estudio y realización debe prescindir de cualquier ayuda electroacústica. Esto implica unas dimensiones ajustadas y un volumen limitado. Se diseña para aprovechar convenientemente toda la energía radiada por la orquesta o los cantantes. Sin embargo, en los conciertos de música moderna al aire libre los parámetros que se utilizan son bien distintos. Se trata de radiar con suficiente energía un sonido que debe de llegar en forma directa a una audiencia de miles de espectadores. El objetivo es evitar cualquier tipo de reflexiones laterales o posteriores. La impresión de estereofonía, cuando existe, está manipulada por el ingeniero de mezclas quien gobierna el sistema electroacústico desde una localización espacial calculada previamente, por lo general frente al escenario.

Los grandes sistemas de sonorización para espacios abiertos han evolucionado: Inicialmente vemos una disposición de grandes “clusters” centrados sobre el escenario. Posteriormente una “pared radiante” en el fondo del escenario; como el realizado por el grupo “Grateful Dead” en los 70 (con excelentes resultados acústicos). Actualmente, la disposición más usual de los transductores de emisión es la de dos grandes grupos de fuentes sonoras en forma de “arrays”. Se sitúan uno a cada lado del escenario, en una disposición típica de reproducción estereofónica. En zonas de difícil sonorización, como los anfiteatros, se puede recurrir a “cluster” satélites retardados y dirigidos al público.

Básicamente para cada unidad del sistema emisor se requiere:

- . Capacidad de emitir con gran potencia. Altavoces de elevado rendimiento electroacústico.
- . Amplio margen de respuesta en frecuencia. Entre 15 Hz y 17 kHz (± 3 dB).
- . Directividad adecuada al área a sonorizar. Control de los planos directivos.

RESPUESTA EN FRECUENCIA

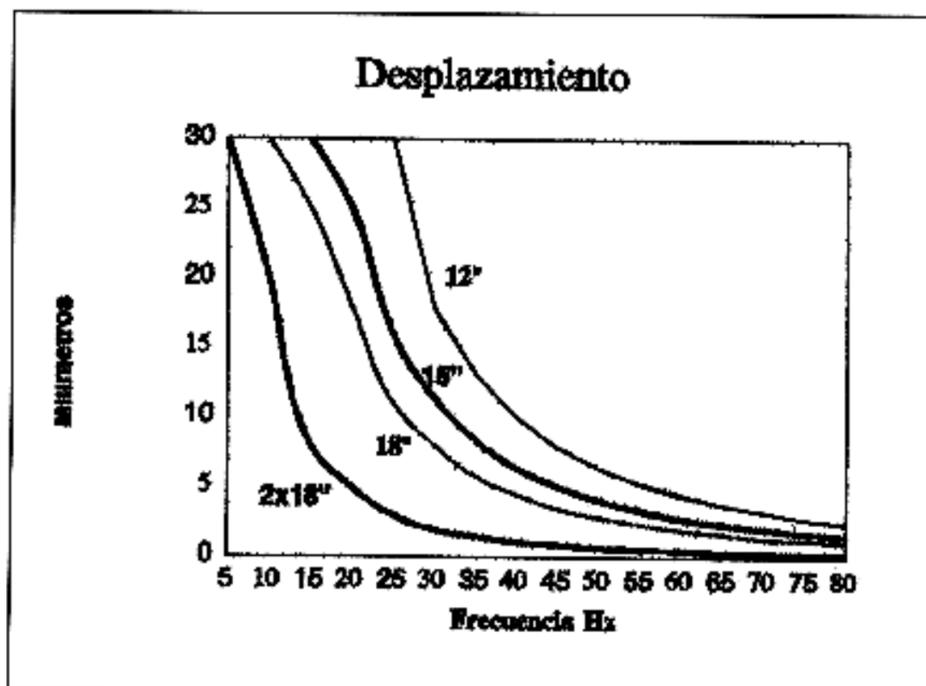
Según lo expresado anteriormente hemos comprobado que para el caso de reproducción en vivo de la música rock, y debido al tipo de instrumentos utilizados: percusión, bajos eléctricos, sintetizadores, etc. el espectro en frecuencia debe asegurar la emisión desde los 20 Hz hasta los 14 kHz como mínimo. El objetivo final del refuerzo electroacústico es su capacidad para reproducir, de la forma más natural posible, el margen de frecuencias citadas y en especial la región de los 400 Hz a 7 kHz, estrechamente correlacionada con los atributos de: claridad, inteligibilidad y articulación. En el caso del “rock” el atributo más apreciado es el de “punch” o “pegada” del sistema que puede correlacionarse con una instantánea respuesta a transitorios, así como con un bajo coeficiente de amortiguamiento en el binomio: amplificador - transductores.

El margen de frecuencias de la música moderna se extiende una década al compararlo con el de la música clásica. Respecto a los NPS, si en la música clásica los niveles *promedio* se sitúan entre los 80-90 dB, en el caso de la música moderna se sobrepasan los 100 dB, encontrándonos frecuentes picos que alcanzan los 120 dB. En conciertos al aire libre se debe asegurar que queden cubiertos con un nivel suficiente cada uno de los puntos del recinto ocupados por el público (es decir con un NPS en torno a los 80 dB para superar con un cierto margen los niveles de ruido de fondo). Considerando las leyes de propagación de ondas sonoras, mediante un sencillo cálculo veremos que a 100 m de distancia (la longitud de un estadio), el sonido se ha atenuado 40 dB aproximadamente. Por tanto necesitaremos 120 dB a un metro de distancia de la pared sonora constituida por los altavoces del sistema de sonorización.

La utilización de instrumentos musicales sintetizados extiende el margen de frecuencias convencional, exigiendo el uso de sistemas de reproducción que sean capaces de restituirlas. Por esta razón es habitual que se recurra a su división en cuatro vías: sub-graves, graves, medios y agudos. Además la transportabilidad de los sistemas obligan a una reducción del tamaño de los mismos manteniendo e incluso aumentando la potencia acústica de salida, con buenas sensibilidades electroacústicas (>98 dB re 1 Vat / 1m).

La mayoría de estas unidades son autónomas, incorporando los amplificadores de audio (que pueden estar controlados por un ordenador central), los filtros activos y los retardadores de tiempo necesarios. Algunos críticos de las nuevas tecnologías afirman que estos equipos tienen la tendencia a "vociferar" los mensajes en vez de intentar conseguir una reproducción más íntima.

Para reproducir las frecuencias más bajas (15 - 45 Hz) se requiere la utilización de más de un transductor. Esta necesidad física se explica de modo sencillo cuando conocemos los desplazamientos de la membrana de un altavoz que está radiando 15 Hz. Según el NPS deseado en función de la frecuencia es posible determinar la excursión de volumen necesaria para que el subwoofer produzca ese nivel.



La gráfica presente, nos muestra la excursión de pico necesaria para obtener un nivel de 110 dB por distintos altavoces, tratados como pistones de 12, 15 y 18 pulgadas de diámetro. Así para el caso de un altavoz de 18'' radiando una frecuencia de 20 Hz, se necesitan desplazamientos de ± 10 mm con objeto de producir en el eje 110 dB a 1 m. Esta excursión demasiado grande provoca calentamientos excesivos de la bobina y distorsiones indeseadas. Para reducirla es preciso utilizar altavoces de mayor diámetro, aumentar el número de estos radiando en fase, o aprovechar el realce de bajas frecuencias debido a reflexiones en el suelo.

En cuanto a la impresión subjetiva de la distorsión armónica para el margen de frecuencias de trabajo de un subwoofer (10-100Hz) podemos decir que ha sido poco investigada. Stott y Axon en 1957 estudiaron la amplitud de modulación en la reproducción de señales por encima de 50 Hz, concluyendo que el umbral de audición para la distorsión armónica era del 8 % o mayor. Fielder en 1988 estudió el incremento de los umbrales de audición debido al enmascaramiento por señales situadas en las primeras bandas críticas del sistema auditivo. Se encontró que la percepción de distorsión en bajas frecuencias es más sensible a niveles relativamente bajos que para los muy altos (Ejemplo: 20 Hz a 110 dB = 4,1 % THD # 20 Hz a 80 dB = 6,5 % THD).

De las gráficas típicas de las curvas de calentamiento se desprende que el elemento más sensible del circuito es la bobina; su capacitancia térmica es baja, por lo que su calentamiento es muy rápido. Puede comprobarse que la temperatura de la bobina de un woofer en régimen continuo de trabajo puede alcanzar los 150°C para una potencia eléctrica aplicada del orden de 150-200 W. La temperatura máxima de trabajo se sitúa en 300°C con objeto de calcular la potencia máxima admisible.

Para reducir la influencia del calentamiento sobre el transductor (bobina y circuito magnético) cada diseñador tiene su propia filosofía aunque existen ciertos aspectos comúnmente aceptados, como son:

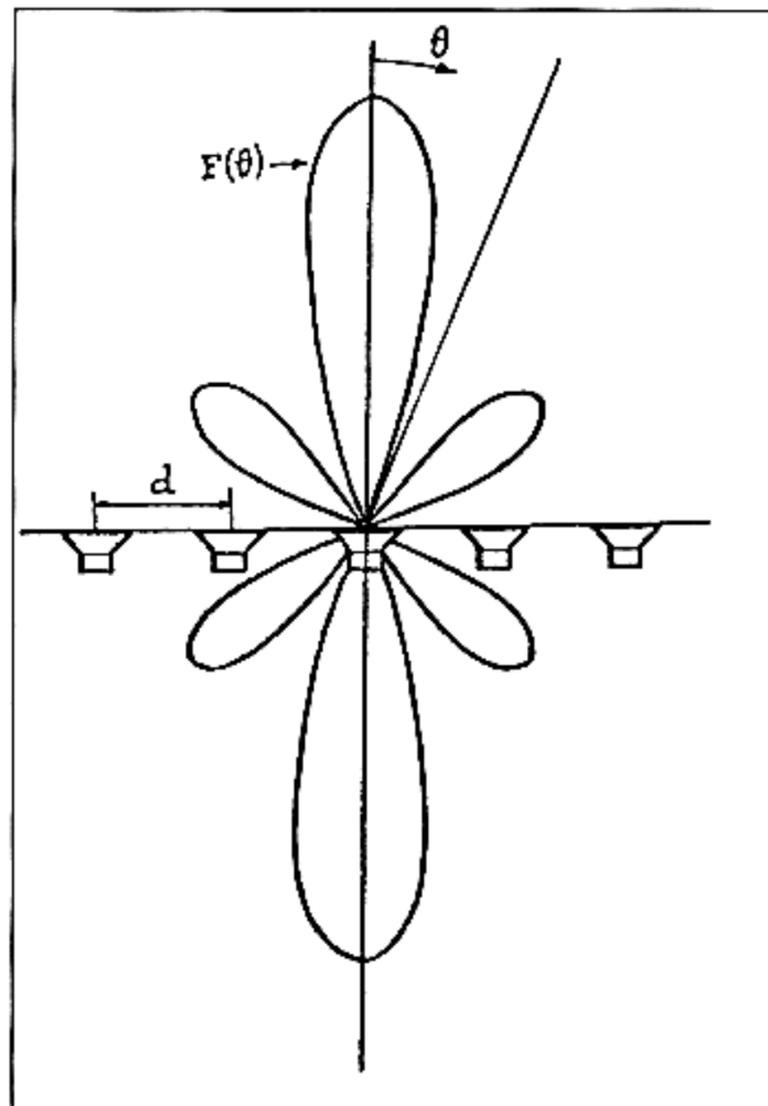
Las bobinas grandes se enfrían antes que las pequeñas (lo que supone aumentar su altura y diámetro). Un mayor espesor de las placas del circuito magnético implican una mejor conducción de la bobina. Las bobinas de aluminio se calientan más lentamente que las de cobre. Lo que da lugar a una mejor respuesta a transitorios, además de un menor peso. En las cajas con túnel se utiliza el movimiento de aire del tubo para enfriar el conjunto motor bobina.

Esta combinación de efectos es la llamada compresión de potencia, que puede producir un atenuación hasta de 6 dB en el nivel de presión acústica radiado. Recientemente se utilizan nuevos materiales compuestos en base a neodimio-hierro-boro (NdFeB) que dan "productos de energía" hasta 35 MG*Oe. Las posibilidades de aplicación de estos nuevos imanes realizados con "tierras raras" son inmensas en composites, que podrían conducir a la extrusión polimérica de los imanes conformados como motores para los "drivers". Por supuesto los composites reducirían su producto energético al orden de 6 Mg*Oe.

DIRECTIVIDAD DEL SISTEMA

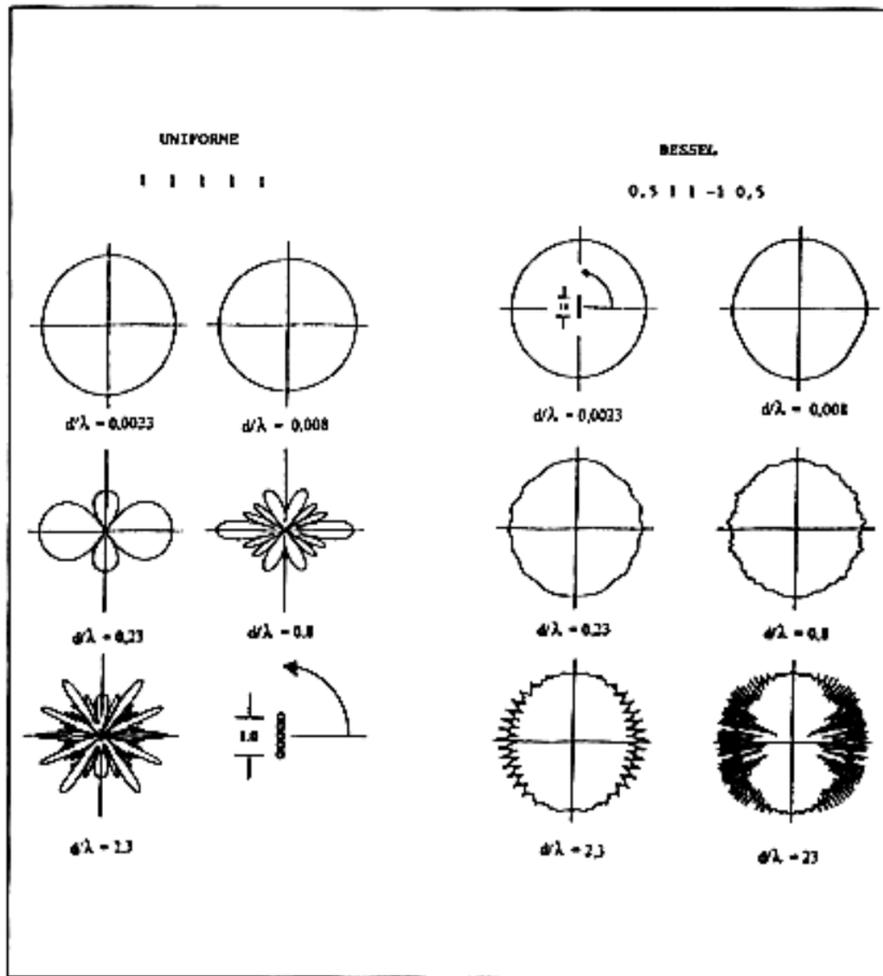
En los grandes espacios a sonorizar, en general se necesita una gran "penetración", y una radiación de amplia cobertura. Se obtiene apilando varias unidades de alta capacidad de potencia, complementadas con grandes alineaciones de "subwoofer" para frecuencias por debajo de 45 Hz. Este sistema corresponde a una logística de transporte y manejo de las diferentes unidades (mayor flexibilidad), en las que debe tenerse en cuenta la directividad muy estudiada de las mismas. Las unidades de bajos-medios suelen tener un ángulo de apertura de 70° y las unidades de agudos de 30° en el plano horizontal.

Las técnicas de predicción de la directividad en campo lejano de los arrays parten de la suma de las contribuciones de las fuentes individuales que lo componen, siendo las amplitudes y fases de la señal eléctrica aplicadas a cada fuente, así como la distancia de separación entre las mismas, el factor determinante de la directividad del conjunto en el margen de frecuencias de interés. Se parte de la consideración de fuentes puntuales a las que corresponde una radiación esférica que es el caso de un altavoz típico cuando radia una frecuencia cuya longitud de onda es varios órdenes de magnitud mayor que su diámetro efectivo como pistón. A medida que la frecuencia emitida por el hipotético altavoz considerado aumenta, el emisor se vuelve más directivo, concentrando su energía espacial en lóbulos.



Si se suponen idénticas todas las fuentes de la alineación, este inconveniente (para el cálculo) puede paliarse fácilmente sin más que aplicar el principio de multiplicación de diagramas; es decir se puede seguir considerando la alineación como compuesta por fuentes puntuales multiplicando a posteriori por la función de directividad de la fuente unitaria. Para encontrar unas relaciones convenientes entre las amplitudes y fases a aplicar a cada una de las fuentes de una alineación, los electroacústicos hemos recurrido a determinadas propiedades de funciones o series conocidas. Así pasamos desde las sencillas alineaciones uniformes, cuyas ecuaciones trascendentes son clásicas, a alineaciones en las que la distribución de amplitudes sigue una serie binomial, cuya propiedad fundamental es la anulación de los lóbulos secundarios para valores de $d/\lambda < 1$, o aquellas basadas en las propiedades de los polinomios de Tchebitcheff, utilizadas por Dolph para controlar a voluntad la amplitud de los lóbulos secundarios.

El dibujo sirve de ejemplo para mostrar la evolución de los patrones de directividad en función del cociente d/λ . En todas ellas, y debido a las funciones trascendentes que integran los algoritmos de las directividades, para valores múltiples enteros de d/λ aparece un lóbulo a 90° cuya amplitud iguala a la del lóbulo principal. A medida que d/λ aumenta, éste lóbulo secundario se desplaza en dirección al principal. De aquí deducimos que cuando se trata de sonorizar una arena, con un único array, se puede elegir entre diferentes tipos de alineaciones al objeto de emitir en direcciones preferentes.



En esta nueva figura se muestra la comparación entre un array uniforme y el equivalente de Bessel para distintas relaciones de d/λ , en el caso de 5 fuentes alineadas. Así pueden conformarse unos patrones de directividad en forma de balones, más parecidos a los de rugby tan apreciados por los técnicos, en especial si se trata de arrays de dos dimensiones.

Somos de la opinión que con una cuidada relación de d/λ , las alineaciones de tipo binomial darían mejores resultados no sólo por la ausencia de lóbulos laterales, sino que debido a su mayor índice de directividad, permitirían sonorizar de forma más uniforme un estadio o plaza de toros. (Efectivamente puede conseguirse fácilmente una relación de 6 dB entre el ángulo 0° y 30° según el plano vertical del lóbulo principal). Si además los altavoces radian en fase permite incrementar la eficacia del sistema, obteniéndose también un mayor alcance.

CONCLUSIONES

El análisis de los parámetros de directividad y las alteraciones de la respuesta en frecuencia de los sistemas de sonorización en grandes recintos al aire libre son sólo una pequeña parte de los muchos factores que podemos encontrar en estos acontecimientos. Puede decirse que su observación y estudio ofrece un compendio práctico de electroacústica profesional. Es también una experiencia diaria, cambiante y enriquecedora, para técnicos, ingenieros y fabricantes.

Comprender en su totalidad el fenómeno relacionado con los conciertos de música moderna y la parafernalia que involucran, es complejo y está por hacerse. Visto bajo la componente acústica del problema, un análisis más amplio ayudaría a entender la razón de porqué mezclas tan altamente distorsionadas y con fases incoherentes tienen tan gran nivel de aceptación entre la mayoría de los oyentes.

La música "rock" en grandes espacios abiertos es el producto final de imágenes sonoras, iluminación espectacular, imágenes visuales, representación, simbolismos, ambiente y "extras" muy costosos. Ninguno de estos factores puede despreciarse porque están estrechamente relacionados.

BIBLIOGRAFÍA

- Fielder, L. : Subwoofer Performance for Accurate Reproduction of Music, JAES, 36, 6, 88.
 Pfretzschner, J.; Sigüero, M.: Refuerzo Sonoro, "Calidad acústica de salas", F. Areces, 94.
 Greiner, R.; Eggers, J.: Spectral Amplitude Distribution, JAES, 37, 4, 89.