

Estudio de las características acústicas en espacios abiertos con refuerzo electroacústico

A. Pérez García* ; M. A. Martín Bravo** ; José Andrés Alonso Tuda** ; M. Vega Gordaliza**

* Laboratorio de Técnicas Instrumentales.

** Dpto. de Termodinámica y Física Aplicada.

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Pso. del Cauce s/n. 47.011 Valladolid

Tfno: 983/42.34.75

e-mail: aper@lfi.uva.es

PACS: 43.50.Sr

Resumen

En conciertos al aire libre normalmente no nos planteamos su calidad acústica desde el punto de vista técnico, tal vez lo más importante que se considera es la calidad artística del grupo musical o simplemente nuestro gusto personal. Al contrario que en los recintos cerrados donde las propiedades acústicas de la sala se consideran importantísimas. En lugares abiertos con refuerzo electroacústico la responsabilidad de la calidad sonora depende únicamente del ingeniero de sonido, cuya actuación sobre el sistema ha de ser casi inmediata. Normalmente los medios técnicos que usa son la experiencia y un “buen oído”. En este estudio hemos medido “in-situ” las características acústicas en espacios al aire libre con refuerzo electroacústico, presentando los resultados obtenidos de la directividad de arrays de altavoces y la distribución de NPS sobre el área de audiencia.

Summary

This study deals with the characteristics of the system of sound reinforcement in free field. Nowadays in these types of concerts, the audience doesn't take into account the acoustic quality from the technics point of view, perhaps the most important thing was the artistic quality of the musical group or only our personal taste. In concert halls the acoustic characteristics are very important, by the contrast, in open spaces with electroacoustic reinforcement the responsibility of the sound quality depend on the sound engineer. Normally they work with experience and “ear of music”. In this work we have measured “in situ” the acoustic characteristics in open spaces with electroacoustic reinforcement, showing the results of the directivity of loudspeakers and distribution of SPL in the audience zone.

1. Introducción

Normalmente los espacios al aire libre habilitados para la realización de conciertos, mítines, obras teatrales, etc., requieren de un sistema de refuerzo electroacústico, ya que en unos casos el elevado ruido de fondo, en otros las grandes aglomeraciones de público hacen prácticamente inviable la inteligibilidad de la palabra o la recepción fiable de la música. En las referencias [1] y [2] nos encontramos la descripción de la problemática y las características de la sonorización de conciertos musicales al aire libre.

En líneas generales, en un concierto en espacios abiertos con refuerzo electroacústico deseamos una buena fidelidad, para lo cual necesitamos una respuesta en frecuencia plana en prácticamente todo el rango de audición (20 Hz a 17 KHz), una buena respuesta a transitorios (“pegada limpia”), una baja distorsión y una relación señal/ruido aceptable, y esto se ha de cumplir para toda la zona de audiencia: directividad de las fuentes sonoras adecuada para conseguir una buena distribución de los Niveles de Presión Sonora. Por otro lado nos vamos a encontrar, en cualquier sistema de amplificación sonora en el que tengamos micrófonos y altavoces, el fenómeno de la realimentación acústica, siempre presente aunque muchas veces difícil de percibir y algunas otras muy molesto, como la existencia de una reverberación artificial o incluso un “acoplo” destructivo.

La calidad acústica de un sistema de reproducción y amplificación sonora viene limitada por los transductores: micrófonos y altavoces, y en mayor medida por los últimos. Normalmente los altavoces nos van a restringir la respuesta en frecuencia, nos producirán una elevada distorsión en bajas frecuencias y con altos niveles de amplificación, su eficacia de radiación es pobre por lo que tendremos que transportar un número considerable de cajas de altavoces con el consiguiente aumento de peso. La directividad dependerá de la frecuencia, dificultando una distribución uniforme sobre la zona de audiencia y su naturaleza mecánica hará que la respuesta a transitorios pueda ser lenta.



Figura 1. Montaje del escenario.

En el estudio se analizaron todos estos aspectos: directividad de arrays de altavoces, distribución de NPS, distorsión de la señal y realimentación acústica. Debido a la dificultad que lleva asociada este tipo de ensayos y a la extensión del trabajo decidimos presentar en este artículo los resultados obtenidos "in-situ" de la directividad de los arrays y la distribución de los NPS, en una instalación de refuerzo sonoro de tamaño medio.

2. Descripción del sistema

El sistema electroacústico ensayado corresponde al que se instaló con motivo de la fiesta de la Comunidad Autónoma de Castilla y León en la localidad vallisoletana de Villalar de los Comuneros. La empresa responsable de la sonorización de los conciertos fue Real Audio System.

El equipo de sonido era de 20000 Vatios de potencia y aunque no vamos a detallar el sistema completo de amplificación sí se hará el de radiación sonora, ya que éste es el que nos determinará los parámetros ensayados. Estaba formado por dos torres de altavoces situadas a ambos lados del escenario (figura 1). Cada una compuesta por cuatro cajas de subgraves y ocho cajas de graves - medios - agudos (figura 2).

Los altavoces de subgraves son de la casa JBL de 18", modelo 2241H, reproducen la señal proveniente de un filtro paso-bajo con una frecuencia de corte en 180 Hz. Los de graves y medios tienen una frecuencia de corte variable, controlada automáticamente por un procesador estéreo Hitac-Audio, que varía desde 850 Hz a 3500 Hz y son JBL de 15", modelo 2226. Las bocinas son JBL de 2", modelo 2450J.

La instrumentación de medida que se utilizó fue: analizador de espectro mod. 2144, micrófono mod. 4165, preamplificador mod. 2639 y calibrador sonoro mod. 4231 todo ello de Brüel & Kjaer. Como señal de prueba se utilizó un ruido rosa grabado en un CD.

3. Directividad de los arrays de altavoces

Al tratarse de ensayos "in-situ" se está determinando los diagramas polares de directividad del conjunto de altavoces en presencia del suelo. Obviamente este último influirá de forma notable debido a los fenómenos de interferencia.

Para medir la directividad del conjunto se emitió ruido rosa por una sola columna de altavoces. El micrófono se colocó a una distancia de 10 m, y una altura de 1.15 m. Puesto que solo nos interesa conocer la directividad en la zona de audiencia y considerando la radiación del array de altavoces simétrica, se midió en una cuadrante frontal, en puntos discretos (figura 3). Para asegurarnos de que estamos fuera del campo próximo del array comprobamos que se satisfacen las dos condiciones de la referencia [5]: La separación entre dos altavoces contiguos es pequeña en comparación con la distancia de medida ($b = 0.5 \text{ m} \ll r = 10 \text{ m}$), y $r^2 = 100 \text{ m}^2 \gg \lambda^2/36 = 2 \text{ m}^2$, donde λ es la longitud de onda mayor ($f=40 \text{ Hz}$, $\lambda = 8.5 \text{ m}$).

Los diagramas polares de directividad se han calculado siguiendo la siguiente expresión:

$$D(\theta) = L_p(\theta) - L_{p\text{ref}}$$

Éstos se presentan en la figura 4, vemos cómo la directividad va aumentando hasta la primera frecuencia de corte, donde gradualmente dejan de actuar los altavoces de subgraves y comienzan los de graves y medios. En 250 Hz presenta un comportamiento algo extraño que puede deberse a la actuación conjunta de ambos grupos de altavoces. También se observa una transición en la tendencia de los diagramas ya que se produce un cambio en 300 Hz. A partir de esta frecuencia y hasta la segunda frecuencia de corte fijada por el procesador automáticamente, entre los 850 Hz y los 3500 Hz, actuarán los altavoces de graves y medios pasando después esta tarea a las bocinas. Se ha de señalar que el grupo de altavoces de subgraves (4 cajas con dos altavoces de 18" cada uno) estaban sobre el suelo, mientras que el grupo de altavoces de graves-medios-agudos está formado por una matriz 2x4, y además está situa-

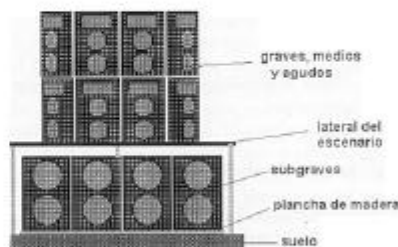


Figura 2. Detalle de la colocación de altavoces en cada columna.

da por encima de los de subgraves, a una altura de 1'3 metros del suelo, aproximadamente.

Junto con los diagramas polares se indica el índice de directividad (DI) medido a 0°. Su cálculo no es del todo exacto, ya que sólo se ha tenido en cuenta la radiación en el plano horizontal para calcular la potencia acústica total de radiación. No obstante este valor da una idea de la variación de la directividad con la frecuencia.

$$DI = 10 \log Q = \left[\frac{|\rho_{ax}|^2 \cdot 4\pi^2}{\rho_0 c \cdot W} \right] \quad dB$$

En campo libre: $DI = L_{\rho_{ax}} - \overline{L_{\rho}}$

En nuestro caso $\overline{L_{\rho}}$ corresponde al valor medio de los L_{ρ_i} medidos en el plano horizontal.

El array de altavoces es más directivo a medida que aumenta la frecuencia, pero también encontramos algunos diagramas con una distribución que no se ajusta al comportamiento teórico. Estas distribuciones anormales podemos verlas a las frecuencias de 600 Hz y 800 Hz, donde deberíamos encontrar el máximo de directividad en el eje del array. Este comportamiento puede deberse a interferencias destructivas que se producen por reflexiones en el suelo.

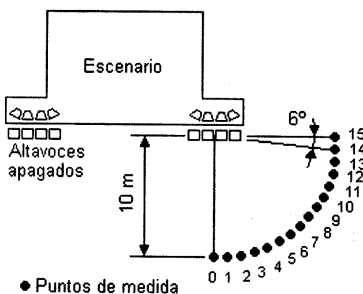


Figura 3. Puntos de medida para determinar los diagramas polares de directividad.

4. Distribución de niveles de presión sonora

Para realizar estas medidas dividimos el área de audiencia en una cuadrícula. Se midió en bandas de tercio de octava en 16 puntos distribuidos como se muestra en la figura 5. Se emitió ruido rosa por ambas torres de altavoces, como la distribución de los altavoces es simétrica (a la izquierda y derecha del centro del escenario), al igual que las condiciones del espacio que rodea al escenario, se midió solamente en el lado derecho

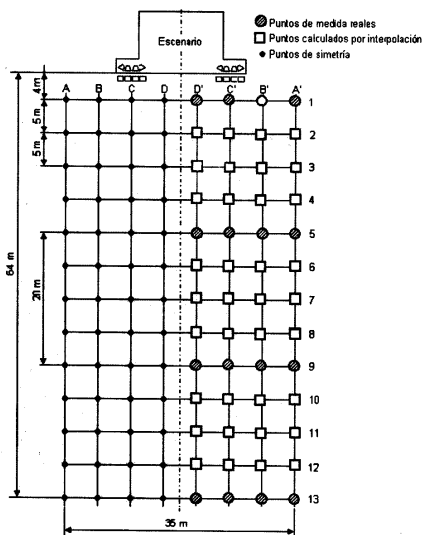


Figura 5. Distribución de los puntos de medida de los NPS en la zona de audiencia.

de la zona de audiencia. Para la representación de la distribución de NPS se han calculado el resto de los puntos por interpolación y simetría.

En sonorizaciones al aire libre se ha de asegurar que el área de audiencia quede cubierto con un NPS uniforme, superando el nivel del ruido de fondo en al menos 10 dB.

La distribución de NPS depende de la frecuencia, viéndose afectada principalmente por la directividad de los altavoces y el efecto de la reflexión en el suelo.

En la figura 6 se presentan las distribuciones de NPS en el área de audiencia. Para bandas de frecuencia de 40 Hz a 16 KHz. Hay que remarcar que son valores relativos (respecto al nivel de presión sonora máximo en cada banda de frecuencia), en este punto no nos interesa conocer los valores absolutos, ya que estos son fácilmente modificables con una buena equalización.

Las frecuencias que más contribuyen a la inteligibilidad de la palabra están comprendidas entre 300 Hz y 4 KHz, pero para una reproducción totalmente fiel este ancho de banda ha de aumentarse de 100 Hz a 8 KHz. En las gráficas podemos observar como en los márgenes de frecuencia comprendidos entre los 400 Hz y 8 KHz obtenemos una buena distribución de NPS. En concreto para las bandas de frecuencia de 500, 1K, 2 K, y 4 KHz (frecuencias más significativas para la inteligibilidad de la palabra) se puede ver una buena distribución de niveles sonoros sobre el campo de audición.

Para una buena fidelidad musical se necesita un margen de frecuencias entre los 40 Hz y 14 KHz, ya que la ampliación de

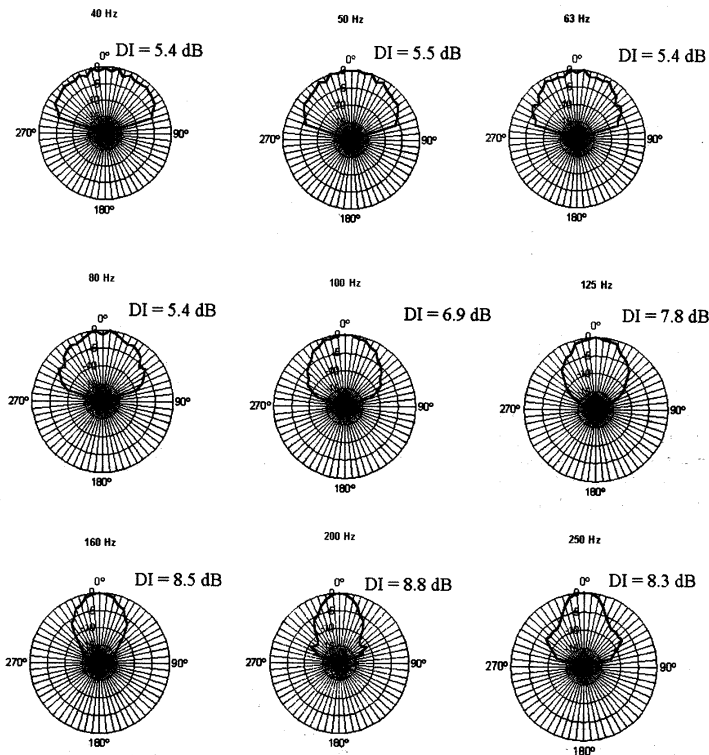


Figura 4. Diagramas polares de directividad de los arrays de altavoces. También se indican los índices de directividad para $\theta = 0^\circ$.

este margen no contribuye a la mejora de la escena sonora. Así, en las frecuencias por encima de los 8 KHz, que sólo tienen influencia en el aspecto musical, no son necesarios elevados niveles de presión sonora salvo en tipos de música muy concreta.

A frecuencias por debajo de los 400 Hz se observa que el equipo responde perfectamente proporcionando cualidades musicales que le dan a la escena sonora características de fuerza y profundidad. Además se distribuyen estos niveles por todo el área de audiencia debido a la poca directividad de las bajas frecuencias y a la poca absorción del suelo a estas frecuencias.

5. Conclusiones

Como balance final del análisis realizado al sistema de sonorización, basándonos en los datos obtenidos, podemos concluir que el sistema presenta una distribución de NPS con

unas variaciones por debajo de 20 dB sobre el área de audiencia considerado (35 m x 64 m). Esto nos hace pensar que un refuerzo sonoro en la zona trasera de audiencia mejoraría la calidad acústica del concierto. Un refuerzo sonoro completo trasero, en todo el margen de frecuencias, resultaría excesivamente costoso ya que habría que duplicar los elementos utilizados en la sonorización directa (amplificadores, altavoces, mangueras., etc). Por todo esto, el refuerzo trasero se puede limitar a frecuencias medias y altas, ya que son éstas las que presentan una mayor deficiencia. También pensamos que elevar e inclinar las torres de altavoces hacia el público mejoraría la distribución de NPS.

Estas posibilidades se barajaron por parte de los técnicos encargados de la sonorización del concierto, pero fueron descartadas por imposibilidades económicas y técnicas.

En bajas frecuencias la distribución es bastante buena y encontramos alguna anomalía en frecuencias de la banda vocal (de 300Hz a 4kHz aproximadamente).

Queremos señalar que en la celebración del concierto el público ocupó una zona aproximada de 20 m x 20 m junto al

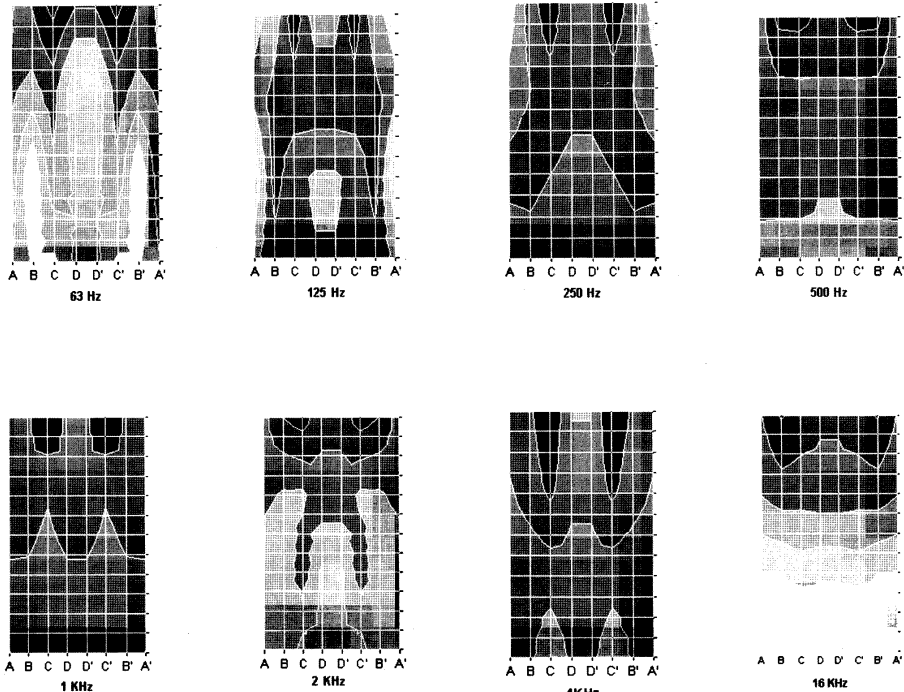


Figura 6. Variaciones de NPS en la zona de audiencia. Δ NPS entre zonas de distinto color = 5 dB.

escenario, un área muy pequeña comparada con la que se ha analizado en este trabajo. Al ocupar una zona bastante reducida, la variación del NPS sobre el público estaba en unos 10 dB como máximo, proporcionando una buena distribución del NPS en ese área.

Durante la actuación del grupo Gabinete Caligari intentamos informarnos de cómo se “oía el concierto” haciendo una pequeña encuesta a algunas personas del público asistente; la valoración subjetiva fue muy positiva en cuanto a la calidad acústica. Aunque ha de tenerse en cuenta que en la valoración subjetiva del público intervienen factores que se escapan al campo propiamente técnico, como pueden ser la motivación o estado de ánimo de los asistentes, sus gustos particulares de tipo de música, la actitud del grupo en la actuación, efectos visuales, etc.

En la actualidad se celebran muchos conciertos de este tipo, cuya calidad no suele ser buena. En general presentan

una distribución del NPS poco homogénea, la directividad del array de altavoces no se suele tener en cuenta a la hora de ubicarlos en las posiciones más idóneas para sonorizar el recinto y el sistema suele presentar distorsiones elevadas con una gran presencia de graves que colorea el pasaje musical. Todos estos inconvenientes son achacables, en buena medida, a la gran movilidad geográfica de los grupos musicales, y por tanto de los sistemas de sonorización, con la consiguiente premura en el montaje y recogida de los equipos, la equalización cambiante que ha de adaptarse a lugares completamente dispares, y en general a motivos económicos o de falta de tiempo necesario para mejorar la sonorización de los espacios. También afecta de forma significativa a la calidad de un concierto la climatología, que incluso puede llevar a determinar la clausura del mismo.

Pese a la pobre calidad sonora ofrecida en los conciertos al aire libre, constituyen un fenómeno exitoso en la actualidad.

Esto está motivado porque no solamente se trata de un espectáculo acústico, sino que involucra una parafernalia añadida, como imágenes, gestos, complicidad con los artistas, etc. Incluso puede llegar a ser un modo de contactar con gente que tiene un estilo de vida marcado por el tipo de música que escucha. Por tanto el éxito de los conciertos al aire libre no está tanto en una sonorización acústica perfecta como en una buena comunicación entre el artista y su público, aunque sin duda ayudará a alcanzar este objetivo la buena sonorización del recinto.

Referencias

[1] Pffretzschner J. ; Siguero M.: Refuerzo Sonoro, Calidad Acústica de Salas, F. Areces, 94.

[2] Siguero M.; Pffretzschner J.: Electroacústica en grandes espacios abiertos. Tecnicacústica 95.

[3] Meyer J.; Seidel F.: Large Arrays: Measured Free-Field

Agradecimientos

Somos conscientes de la complejidad que conlleva el montaje de un sistema de sonorización tanto en la distribución de equipos como en los ajustes técnicos y todo esto en cortos espacios de tiempo, aún así la empresa de sonorización Real Audio System nos prestó toda su colaboración durante la instalación y ecualización del sistema de refuerzo sonoro. Por todo ello queremos agradecerles su desinteresada e imprescindible colaboración en la realización de este trabajo.

Polar Patterns Compared to Theoretical Model of a Curved Surface Source. JAES 38, 4, 1990.

[4] Gander M.R.; Eargle J.M. Measurement and Estimation of Large Loudspeaker Array Performance. JAES 38, 4, 1990.