

Evaluación acústica de prototipo para escenario portátil

43.55.B

López-Carronero García, Amaya^{2,3}, Fernández Comesaña, Daniel^{1,2}, Holland, Keith²

¹ Microflown Technologies

Tivolilaan 205

6824 BV

Arnhem

Holanda

E-Mail: fernandez@microflown.com

² Institute of Sound and Vibration (ISVR)

University Road, Highfield

S017 1BJ

Southampton

Reino Unido

³ EUITT, Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

Carretera de Valencia km. 7

28031

Madrid

España

ABSTRACT

Musical performances in acoustically non-conditioned spaces, especially those held outdoors in an urban environment, find great difficulties to integrate without becoming a nuisance. The chosen locations are often not suitable from the acoustical point of view and this usually leads to an abuse in amplification levels, which can generate rejection from the inhabitants or neighbours affected by these types of performances.

The designs were based on the usage of parabolic curves and their capacity to project the sound produced at the focal point as plane wave fronts. The first approach to design and improve the reflector involved the usage of the virtual environment of EASE, and later, the final solution was built as a scale model and tested in the small anechoic chamber at ISVR.

The evaluation of the scaled reflector's response over a defined audience area was done using the sound visualization method Scan & Paint, developed by Microflown technologies.

RESUMEN

Los eventos musicales en localizaciones no acondicionadas ex-profeso para ello, en especial los que tienen lugar en el entorno urbano, encuentran una gran dificultad para integrarse adecuadamente sin suponer una molestia. Las localizaciones elegidas a menudo no son adecuadas desde el punto de vista acústico, y esto da lugar a un abuso en los niveles de

amplificación, pudiendo estos generar un rechazo por parte de los habitantes o vecinos afectados por este tipo de actividades.

Los diseños se basaron en el uso de curvas parabólicas, y en su capacidad para proyectar el sonido generado en el punto focal como frentes de onda planos.

La primera aproximación para diseñar y perfeccionar el reflector implicó la utilización del entorno virtual EASE, y más tarde, la solución final fue construida como un modelo a escala en la sala anecóica pequeña del ISVR.

La evaluación de la respuesta del modelo a escala del reflector sobre un área de audiencia definido se realizó utilizando el método de visualización sonora Scan & Paint, desarrollado por Microflown Technologies.

1. Introducción

Es frecuente encontrar todo tipo de eventos musicales en lugares con pobres condiciones acústicas. Una mala elección del lugar dónde llevar a cabo el espectáculo unido al uso de niveles de amplificación excesivos suelen provocar molestias en el vecindario, generando rechazo social a este tipo de eventos.

El escenario portátil propuesto basa su diseño en optimizar el campo sonoro, redirigiendo la energía hacia el área de audiencia, y a la vez evitando la contaminación acústica del entorno. El diseño también debe ser económicamente eficiente y portable de cara a su producción industrial, almacenamiento y transporte, para lo cual se busca minimizar el número de diferentes perfiles empleados. Estos preceptos dieron lugar al desarrollo de una superficie facetada con paneles desmontables, que se apoyaban sobre una estructura de barras y conectores. Los conectores, orientaban estas barras de forma que el ángulo con el que la superficie se inclinaba hacia el área de audiencia determinaba la cobertura de esta.

Puesto que la superficie no es un paraboloide de revolución, no tiene un centro focal único, sino más bien unas zonas en las que la amplificación resultaba más evidente. El análisis de los efectos del reflector se realizó con la fuente posicionada en el lugar donde esta colocación daba lugar a una mayor amplificación.

Puesto que la fuente empleada para el análisis tenía una cierta direccionalidad, se probaron dos configuraciones de funcionamiento. En la primera, la fuente apuntaba hacia el área de audiencia, y en la segunda, la fuente apuntaba hacia el reflector.

2. Teoría

2.1. El comportamiento de los reflectores parabólicos

La distancia focal, y por tanto la curvatura de la parábola tiene un efecto no sólo en la efectividad de la reflexión, sino también en la respuesta en frecuencia, coloreando la banda en la que la longitud de onda es similar a la distancia focal [1].

Para un reflector parabólico de revolución, con secciones circulares, ortogonales al eje, la amplificación en el punto focal ha sido calculada por Walström [1] y sus derivaciones matemáticas llevan a encontrar un máximo de amplificación para la siguiente relación entre la distancia focal (a) y el radio (R):

$$R \approx 4a \quad (1)$$

La amplificación máxima para esta relación de curvatura resultaba ser la siguiente:

$$F_{pmax} = \frac{\pi R}{\lambda} \ln 5 \approx \frac{5R}{\lambda} \quad (2)$$

(donde lambda es la longitud de onda de la frecuencia amplificada). De acuerdo con la ecuación 2, cabría esperar un coloreo a medida que se incrementa la frecuencia.

En cuanto al efecto del posicionamiento de la fuente dentro del reflector, los estudios de Yamada Y. e Hidaka T [2] revelan las variaciones en los patrones de amplificación, para una sola sección parabólica y una frecuencia concreta. La localización de la fuente, condiciona la distribución de energía sobre el área de audiencia y la existencia de patrones de interferencias que podrían suponer un efecto contrario al pretendido.

Los reflectores cóncavos han sido ampliamente tratados en acústica de salas dadas las focalizaciones que generan en determinadas zonas de la audiencia puesto que la maximización energética en ciertos puntos de la sala indirectamente da lugar a la aparición de patrones de cancelación en las zonas adyacentes a los puntos de enfoque.

Estos problemas se han resuelto en varios casos célebres como el “Royal Albert Hall” o el “Tanhalle Düsseldorf” mediante la colocación de difusores o absorbentes en conjunto con resonadores de Helmholtz. En el diseño del reflector propuesto se busca maximizar la energía reflejada sobre el área de audiencia, así que se buscó una solución de compromiso entre la reducción en las focalizaciones (que aumentaban al reducir el tamaño de los paneles y asemejar el reflector a un paraboloide) y la optimización de la energía reflejada (que se reducía al aumentar el tamaño de los paneles) [3].

2.2. Diseño del reflector para lograr maximizar la energía acústica sobre un área de audiencia definido.

El reflector fue diseñado a partir de una sección horizontal parabólica como la descrita en el apartado anterior que se desarrolló (manteniéndose esta horizontalidad en todas las secciones) a lo largo de una generatriz parabólica de igual curvatura, inclinada sobre el área de audiencia para conseguir que las reflexiones se concentrasen sobre un área de audiencia concreto. En la figura 1 puede apreciarse un croquis de los parámetros de diseño.

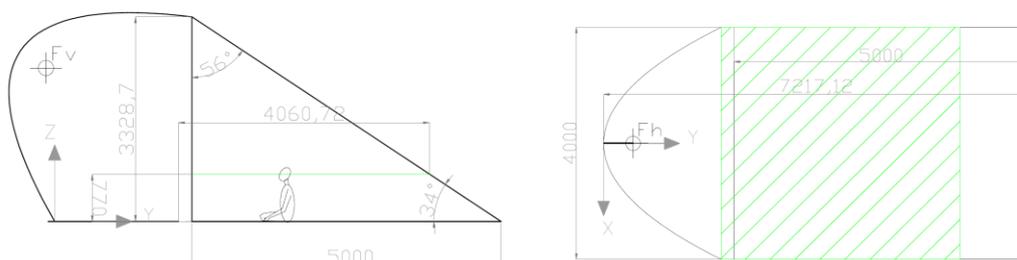


Figura 1 – Croquis de los parámetros geométricos de diseño: Sección lateral (izquierda) y planta (derecha).

3. Instrumentación y montaje

Una vez construido y ensamblado el reflector, se procedió a medir su comportamiento acústico en una pequeña cámara anecoica del ISVR de la universidad de Southampton. En

dicha sala, no se cumplen condiciones de campo libre en bajas frecuencias debido a sus reducidas dimensiones. Sin embargo, al tratarse de la evaluación de una maqueta a escala, las frecuencias relevantes a estudiar también están en un rango más elevado, por lo que esto no supuso un problema. El rango de frecuencias estudiado fue 500 Hz – 20 kHz, lo que permitió prever el posible comportamiento de un reflector a escala real.

En cuanto al equipamiento electroacústico empleado se utilizó una sonda P-U estándar con acondicionador de señal y tarjeta de sonido Microflown Technologies, así como un pequeño altavoz cuya respuesta en frecuencia tuvo que medirse in situ. El campo de presión en el área de audiencia fue evaluado mediante el programa Scan & Paint. También se utilizó una cámara Logitech WebCam Pro 9000 que permitió grabar en video el proceso de medición y asignar a cada localización la medición correspondiente.

En la siguiente figura se puede ver una foto del montaje empleado en la evaluación acústica del reflector.

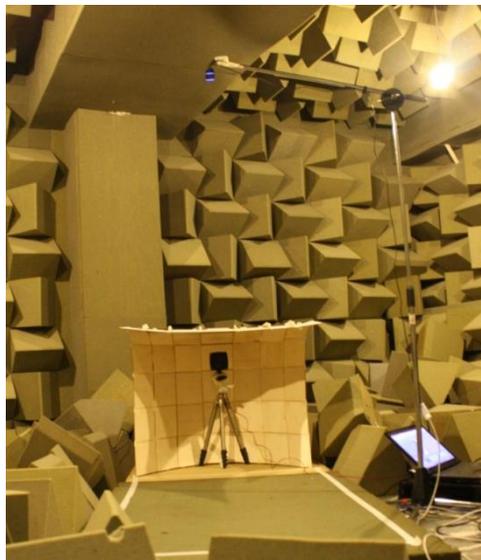


Figura 2 - Foto del montaje: Colocación de la cámara necesaria para la utilización del sistema de medida Scan & Paint y área de audiencia absorbente delimitada con cinta adhesiva.

Puesto que la fuente no era omnidireccional se evaluaron dos configuraciones de funcionamiento. En la primera la fuente apuntaba hacia el área de audiencia, siendo importantes las interferencias entre el sonido directo y las reflexiones, y dando lugar a grandes focalizaciones. En la segunda configuración, el altavoz se colocó apuntando hacia el reflector. En este caso la distribución de presión sonora era más homogénea y la amplificación con respecto a la configuración sin reflector se ajustaba al área de audiencia definida en la fase de diseño.

4. Metodología

Las mediciones efectuadas tienen como objetivo analizar el efecto del reflector sobre el área de audiencia. Se estudió la amplificación así como la respuesta en frecuencia debida a su colocación.

Para evaluar el efecto del reflector, se empleó el altavoz descrito en el apartado de equipamiento. Este fue colocado a la altura prevista en la fase de diseño como zona de

máxima amplificación con ayuda de un pequeño trípode como puede verse en la Figura 2. En los experimentos llevados a cabo se empleó ruido blanco, a fin de lograr una excitación lo más uniforme posible en todo el espectro audible. Puesto que la respuesta del altavoz estaba lejos de ser plana, se empleó también un micrófono de referencia, colocado en la base del altavoz, a fin de poder obtener resultados de forma comparativa.

La técnica de medida comúnmente conocida como “Scan & Paint” [4] fue utilizada para adquirir la información acústica necesaria y para elaborar los mapas sonoros mostrados en este artículo. Este nuevo método es un derivado de las técnicas de escaneo que durante años han estado en el mercado, pero que hasta ahora han sido poco utilizadas debido al alto coste de los sistemas de posicionamiento de los sensores, y sus altas limitaciones a la hora de evaluar distintos entornos.

“Scan & Paint” se basa en combinar la señales adquiridas con la sonda de intensidad PU (presión-velocidad de partícula) con la información posicional obtenida a través de una video cámara. Por tanto, la sonda es desplazada manualmente sobre el área de estudio mientras un video es grabado. A continuación, la localización es llevada a cabo valiéndose de herramientas de procesamiento de imagen basadas en localización de objetos por color. Por último, los distintos mapas sonoros de presión, velocidad o intensidad pueden ser producidos para estudiar las distintas regiones de interés combinando la información posicional con las señales acústicas adquiridas.

5. Resultados

El análisis mediante el método “Scan & Paint”, permitió visualizar la distribución del nivel de presión sonora en el área de audiencia, así como las focalizaciones e interferencias existentes.

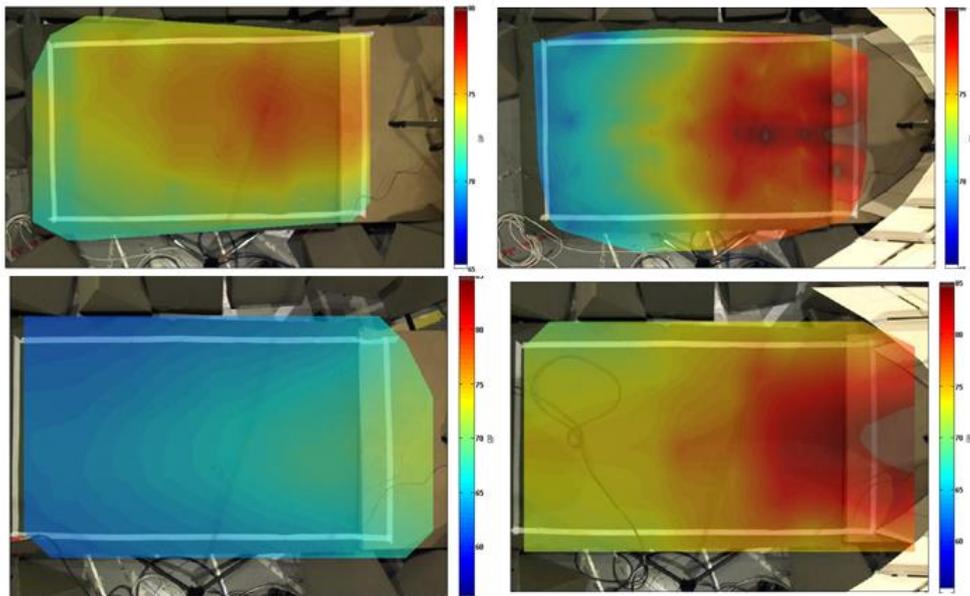


Figura 3 - Mapas acústicos de presión de las dos configuraciones con (derecha) y sin (izquierda) el reflector. En la parte superior el altavoz está apuntando a la audiencia, mientras que en las figuras inferiores el altavoz ha sido rotado 180 grados. [dB ref 20 e-6]

La información recogida en los mapas sonoros también permitió analizar la respuesta en frecuencia del reflector en las dos configuraciones descritas en el apartado anterior, tanto de forma promediada sobre todo el área de audiencia, como sobre posiciones concretas de éste área.

La resolución espacial de los resultados es totalmente ajustable, y para el caso estudiado ha sido acotada a un punto de malla cada 0.15 metros en una superficie total de 0,8 x 1.4 metros. Por lo tanto, gracias al método de escaneo usado ("Scan & Paint") podemos llevar a cabo en menos de 3 minutos la toma de información en unos 50 puntos diferentes.

El nivel de presión promediado sobre el área de audiencia, con y sin el reflector para la primera configuración (con el altavoz apuntando a la zona de audiencia), mostró una amplificación mayor en medias y bajas frecuencias, como puede verse en la Figura 4. Esto es debido principalmente a la mayor directividad en altas frecuencias, que causa una minimización de la radiación trasera, y por tanto reduce la posible aportación del reflector.

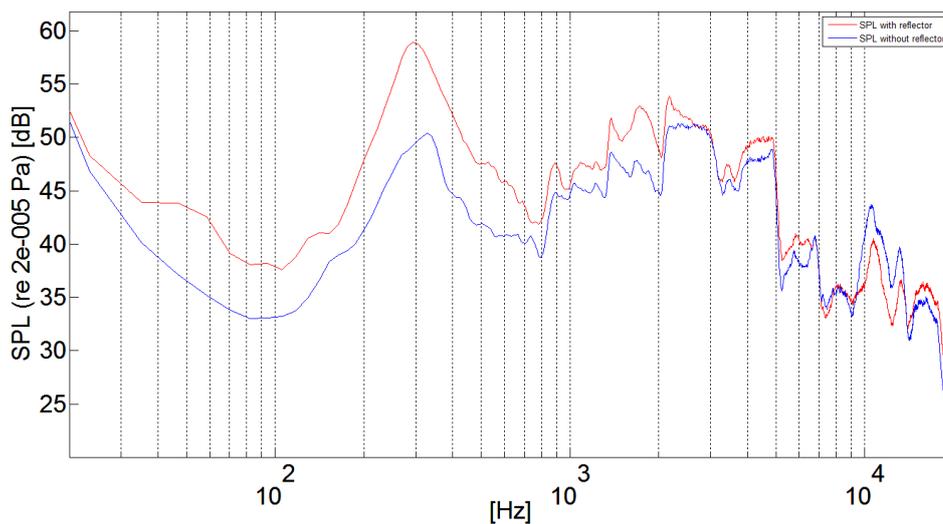


Figura 4 – Comparación del efecto promediado en banda ancha del reflector para la primera configuración de medida, en la que el altavoz apuntaba hacia la audiencia con la frecuencia sin escalar.

En la segunda configuración (con el altavoz apuntando al reflector), las frecuencias más amplificadas, eran por el contrario, las medias-altas, como puede verse en la figura 4, por el mismo motivo explicado en el caso anterior. Es importante considerar esto al pensar en instrumentos reales (sobre todo en el caso de la voz cantada) ya que tienen similares patrones de direccionalidad, especialmente en aquellos instrumentos con un registro más agudo [5]. El hecho de que la amplificación total también sea mayor, puede dar lugar a conclusiones equívocas, ya que también es lógico que al radiar al revés el altavoz, el efecto del reflector sea mucho más perceptible. Debe tenerse en cuenta que en la segunda configuración los niveles globales son también menores.

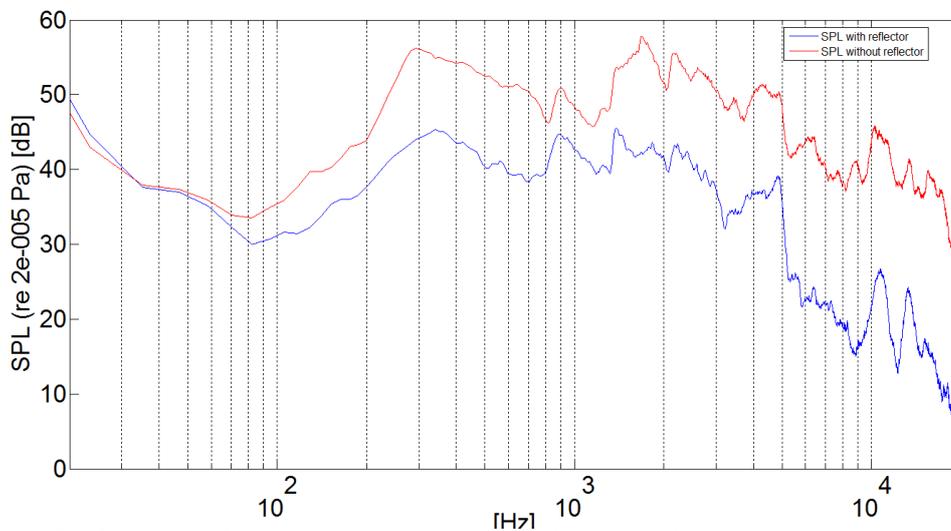


Figura 5 – Comparación del efecto promediado en banda ancha del reflector para la segunda configuración de medida, en la que el altavoz apuntaba hacia el reflector con la frecuencia sin escalar.

6. Discusión

El principal problema a la hora de evaluar el reflector acústico fue la falta de criterios objetivos o de normativa propia, como la existente en el caso de acústica de salas, ya que al no existir campo reverberante, la mayoría de los parámetros empleados en acústica de salas y recogidos en la ISO 3382- parte 2, no son aplicables.

La utilización del escaneo “Scan & Paint” permitió analizar los efectos del reflector sobre todo el área de audiencia en términos de amplificación y respuesta en frecuencia.

El comportamiento acústico del reflector real en frecuencias altas no puede ser estudiada ya que la tarjeta empleada en la evaluación sólo permitía estudios del rango de frecuencia hasta 20 kHz que sobre la maqueta a escala 1:5 correspondían a un rango que tenía su máximo superior en los 4 kHz.

Los estudios con EASE para el reflector de tamaño real mostraban un campo que iba incrementando su homogeneidad a medida que aumentaba la frecuencia. Esto resulta lógico, puesto que para mayores longitudes de onda el facetado era menos importante y el comportamiento del reflector se asemejaba más a un paraboloide perfecto.

Para frecuencias más elevadas, la longitud de onda se hace proporcional al tamaño de los paneles y por tanto aumenta el scattering reduciéndose las focalizaciones y dando lugar a un refuerzo más homogéneo.

El reflector fue analizado también con un maniquí a escala para dos posiciones del área de audiencia, obteniendo la respuesta al impulso en ellas y convolucionando varias señales acústicas con estas, para obtener auralizaciones evaluables de forma subjetiva. Esta evaluación, cuya descripción no se ha desarrollado en el presente artículo, ponía de manifiesto el coloreo a altas frecuencias en los puntos en los que la influencia del reflector era clara.

7. Conclusiones

Mediante la utilización del método de mapeo sonoro “Scan & Paint” fue posible evaluar con rapidez y precisión las modificaciones en el campo de presión, inducidas por la presencia del reflector. Este método habría permitido además, evaluar con mayor precisión algunas zonas concretas así como las variaciones en el campo sonoro debidas a la introducción de elementos difusores en el reflector.

Pudo comprobarse la eficacia del reflector en cuanto a su capacidad para dirigir la energía acústica hacia una zona de audiencia concreta, y con una cobertura prevista en la fase de diseño. La posibilidad de evaluar la respuesta en frecuencia en distintas áreas también permitió comprobar la heterogeneidad del campo sonoro en este aspecto cuando el altavoz apuntaba hacia la audiencia, y la influencia de las interferencias era más notable. En la segunda configuración, para la cual el altavoz apuntaba hacia el reflector, la respuesta en frecuencia mostraba mayor homogeneidad y niveles de amplificación relativos.

8. Referencias

- [1] Wahlström S. (1985) The parabolic reflector as an acoustical amplifier, *JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY*, Vol 33, 418-429.
- [2] Yamada Y., Hidaka T. (2005), Reflection of a Spherical wave by acoustically hard, concave, cylindrical walls based on the tangencial plane approximation, *JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA*, Vol 118, 818-831.
- [3] López-Carronero A. (2013), Portable acoustic Shell for unamplified music performances. MSc Dissertation, University of Southampton.
- [4] Fernández Comesaña D., Steltenpool S., Carrillo Pousa G., de Bree H.-E., Holland K. R., “Scan and Paint: Theory and Practice of a Sound Field Visualization Method,” *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2013, Article ID 241958, 11 pages, 2013.
- [5] Martínez L. (2009) Caracterización acústica de un coro: espectro y directividad, Proyecto Fin de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid.