

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS EN EL AUDITORIO DEL CSM DE NAVARRA

Arregui, A.; Machín, J.; San Martín, R.; Arana, M.

Departamento de Física. Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadia. 31006. Pamplona. Spain
(marana@unavarra.es)

Resumen

Las exigencias de la norma ISO 3382 no permiten un análisis profundo de la variabilidad de los diferentes parámetros en una sala a partir de las medidas mínimas requeridas. En el auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra (CSMN) realizamos medidas exhaustivas (en todas las posiciones del oyente) de múltiples parámetros acústicos. Ello nos ha permitido analizar con precisión la correlación entre resultados experimentales y el modelo teórico de Barron. Asimismo, hemos planteado el estudio introduciendo otras teorías modificadas aplicadas a medidas experimentales de la fuerza acústica (G) y de la claridad musical (C_{80}).

Palabras-clave: acústica de salas, difusión, estadística espacial de respuesta de salas.

Abstract

The requirements of ISO-3382 do not allow a deep analysis of the variability of different parameters in a room on the basis of the minimum measurements required. A thorough measurement campaign was carried out in the auditory of the High School of Music of Navarre. A precise analysis of the correlation between experimental results and the theoretical Barron's model has been carried out. Likewise, the study has included other modified theories applied to experimental measurements of acoustic power (G) and the clarity of music (C_{80}).

Keywords: Room acoustics, diffusion, spatial statistics of room response.

PACS no. 43.55.Br, 43.55.Gx.

1 Introducción

En un trabajo ya clásico [1] llevado a cabo en 17 salas de concierto, Barron comparó los resultados experimentales obtenidos en parámetros acústicos monoaurales con los predichos por la teoría clásica de acústica de salas. Observó que las mayores diferencias eran producidas por el hecho de que los niveles debidos a las reflexiones decrecen conforme se incrementa la distancia a la fuente, resultado discrepante con la teoría clásica de campo difuso de Sabine.

En base a ello, propuso una revisión de la teoría para la caída del nivel sonoro en salas de concierto, bajo la asunción de que el nivel sonoro total se compone de una componente directa (d) y una componente reflejada con caída energética exponencial, la cual comienza cuando llega el sonido directo. En esta última se incluyen las reflexiones tempranas (e_r), con retrasos inferiores a 80 ms, y las reflexiones tardías (l), por encima de 80 ms.

La expresión para sus energías es:

$$d = 100/r^2 \quad (1)$$

$$e_r = (31,200 \cdot T/V) \cdot e^{-0.04r/T} (1 - e^{-1.11/T}) \quad (2)$$

$$l = (31,200 \cdot T/V) \cdot e^{-0.04r/T} e^{-1.11/T} \quad (3)$$

Como muestran las expresiones, la energía directa solamente depende de la distancia mientras que las reflexiones próximas y tardías dependen también del volumen y del tiempo de reverberación T , tomado (en el análisis de Barron) como el valor promedio de los tiempos de reverberación en las tres bandas de octava de 500 Hz, 1 y 2 kHz. las anteriores fórmulas llevan a las siguientes expresiones para la fuerza acústica (G) y la claridad (C_{80}):

$$G(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} (1 - e^{-1.11/T}) + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} e^{-1.11/T} \right] \quad (4)$$

$$C_{80}(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} (1 - e^{-1.11/T})}{\frac{31,200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} e^{-1.11/T}} \right] \quad (5)$$

Las salas analizadas se consideraron "razonablemente difusas", evitando techos fuertemente difusores, ausencia de focalizaciones de superficies cóncavas, espacios razonablemente proporcionados (largo, ancho y alto) y recintos sin forma de abanico.

No obstante, Vorländer [2] propone que el campo reflejado comienza con la llegada de la primera reflexión (el tiempo medio entre dos reflexiones ($1/\bar{n}$), o lo que es lo mismo, en términos de camino libre medio $\bar{d} = \frac{4V}{S}$), por lo que modifica la fórmula de Barron sustituyendo la distancia r por el camino libre medio. La ecuación propuesta ahora depende de la absorción y la superficie:

$$G(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{A}{S}} (1 - e^{-1.11/T}) + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{A}{S}} e^{-1.11/T} \right] \quad (6)$$

$$C_{80}(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{A}{S}} (1 - e^{-1.11/T})}{\frac{31,200T}{V} e^{-\frac{A}{S}} e^{-1.11/T}} \right] \quad (7)$$

Por otro lado (si bien con aplicación específica a recintos religiosos) Zamarreño [3] propone otra modificación sobre la ecuación de la energía, en la que introduce dos nuevos términos (β y μ) las cuales dependen del tipo de iglesia a estudio. Este nuevo parámetro ha sido obtenido a partir de un proceso de regresión no lineal con el objetivo de maximizar la correlación entre la predicción y los resultados experimentales.

$$G(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{\beta}{T}r} \right] \quad (8)$$

$$C_{80}(r) = 10 \cdot \log \left[\frac{\frac{100}{r^2} + \frac{31,200T}{V} e^{-\frac{\mu r}{T}} (1 - e^{-1.11/T})}{\frac{31,200T}{V} e^{-\frac{0.04r}{T}} e^{-\frac{1.11}{T}}} \right] \quad (9)$$

Finalmente, también se han planteado [4] estudios de la distribución del sonido en salas mediante la técnica de Kriging [5] aplicada a medidas experimentales de la fuerza acústica (G) y de la claridad musical (C_{80})

2 Metodología

Para la realización de las medidas experimentales se ha utilizado material preparado para cumplir la norma ISO 3382-1: PC Toshiba Satellite con interfaz de audio Digidesign VXpocket y provisto con el software WinMLS 2004 Professional, amplificador ElectroVoice Q44-II de 2x450W, conjunto de altavoces AWM DO12 formado por 12 altavoces en disposición dodecaédrica, preamplificador Norsonic 335, micrófonos de campo libre G.R.A.S. 40AC, termómetro e higrómetro, cableado con conectores tipo lemo y cableado con conectores tipo SpeakOn. Como señal de excitación se ha utilizado un barrido sinusoidal simple de 20 segundos de duración.

El auditorio medido (Auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra, Figura 1 y Figura 2) tiene un volumen de 4,414 m³ y capacidad para 375 personas sentadas. El escenario está construido en forma de abanico invertido, con una altura de 1 metro respecto la zona de audiencia, la cual, disponiendo de una inclinación de 30° está dividida en 2 partes: la platea con 273 butacas y el palco, compuesto por 102. Ambas están separadas por un pasillo de 2 metros de longitud.

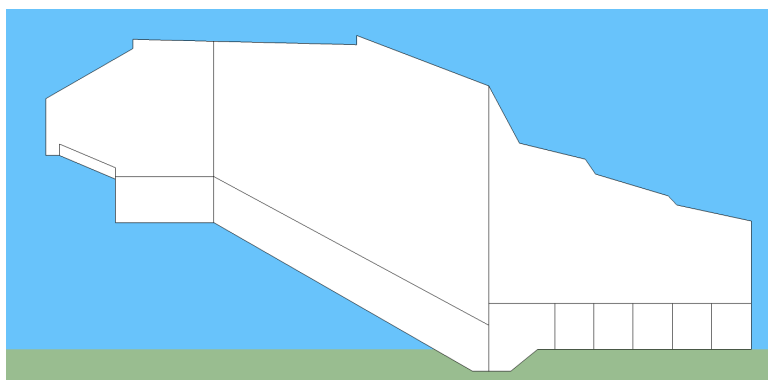


Figura 1 Perfil del auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra

La fuente omnidireccional se situó en el escenario, en una posición próxima a la ubicación típica del solista, a una altura de 1.5 metros. Los micrófonos se colocaron a 1.2 metros de altura y se obtuvieron medidas para cada uno de los 375 asientos.



Figura 2. Vista del auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra. En primer plano la platea, al fondo el escenario.

3 Resultados y discusión

Realizaremos el análisis en base a los gráficos de dispersión que representan los resultados experimentales para los valores de C_{80} y G en todas las butacas (375) versus las predicciones teóricas de Barron y Vorländer, siempre en función de la distancia. Consideraremos tres rangos de frecuencias: bajas (L, promedio de las bandas de octava de 125 y 250 Hz); medias (M, promedio de 500 Hz y 1 kHz) y altas (H, promedio de 2 y 4 KHz.). También exploraremos la posible influencia de caracterizar la reverberación del recinto bien mediante el índice EDT, bien mediante el índice T_{30} . Todavía más, analizaremos la posible mejora en la correlación tomando el valor de EDT para la contribución de la energía temprana (early) y el valor de T (T_{30}) para la contribución de la energía tardía (late).

La primera conclusión clara es que las predicciones teóricas son notablemente mejores para el parámetro C_{80} que para la fuerza acústica G . Para este último parámetro, la correlación entre los modelos teóricos y los resultados experimentales es prácticamente nula en bajas frecuencias, muy

pobre en altas frecuencias y aceptable en frecuencias medias. Para éstas, el ajuste con los resultados experimentales es mejor con la propuesta de Vorländer que con la de Barron.

Refiriéndonos (de ahora en adelante) al parámetro C_{80} , nos hemos planteado diferenciar índices para la contribución temprana (evaluando dicha contribución con el índice EDT) y tardía, evaluada con el índice T. Las predicciones obtenidas con tal propuesta no mejoran los resultados (correlación con los resultados experimentales) con respecto a considerar un único índice para el tiempo de reverberación en las fórmulas, bien sea EDT, bien sea T. La Figura 3 muestra los gráficos de dispersión utilizando EDT para la predicción teórica (Barron) y diferenciando EDT y T para el mismo modelo. Similares resultados se obtienen para todos los rangos de frecuencias.

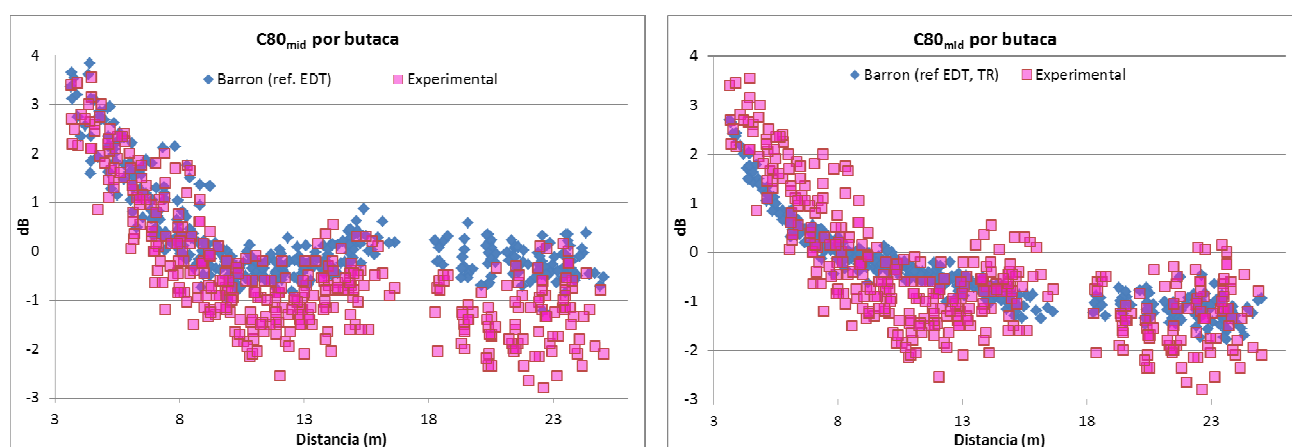


Figura 3. Gráficos de dispersión utilizando EDT para la predicción teórica y diferenciando EDT y T (Barron)

Un resultado interesante tras revisar todas las tablas de correlaciones es el siguiente. La correlación mejora apreciablemente (en torno a un 10% el coeficiente de correlación) cuando se utiliza el índice EDT, en lugar de T, en las fórmulas de predicción. La tabla 1 muestra los coeficientes de correlación en los tres rangos de frecuencias para ambas teorías y para ambos índices de reverberación.

Tabla 1. Coeficientes de correlación para el índice C_{80} .

Teoría	Índice	Bajas (L)	Medias (M)	Altas (H)
Barron	EDT	0.70	0.85	0.80
	T	0.64	0.84	0.72
Vorländer	EDT	0.64	0.86	0.72
	T	0.57	0.80	0.65

La Figura 4 muestra las gráficas de dispersión correspondientes para la teoría de Barron.

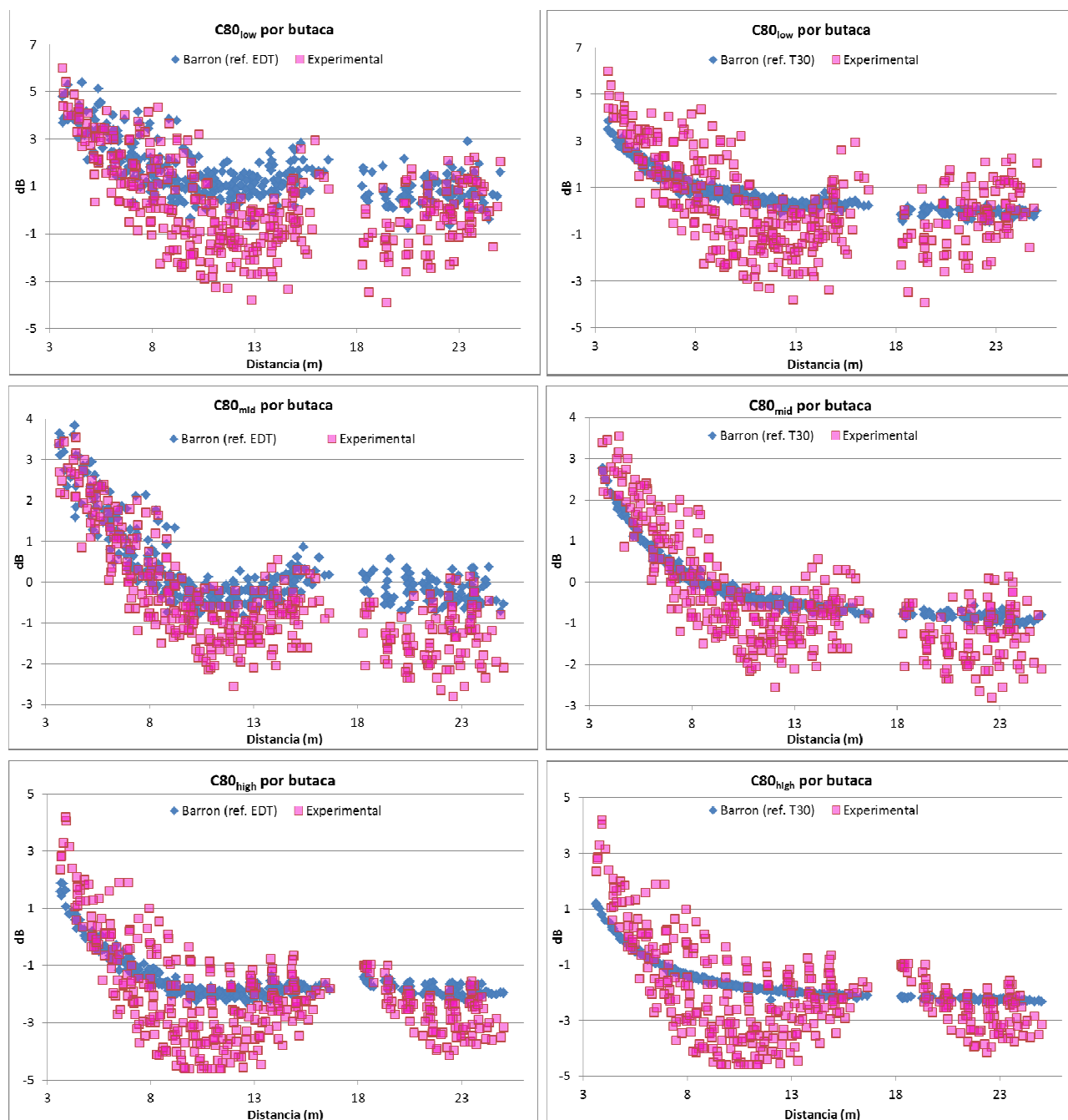


Figura 4. Gráficos de dispersión para L, M y H con EDT y T (Barron).

Finalmente, los coeficientes de correlación obtenidos con la propuesta de Barron son ligeramente superiores a los obtenidos con la propuesta de Vorländer.

4 Conclusiones

Se han tomado medidas exhaustivas (375 posiciones) de los parámetros C_{80} y G en el auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra en Pamplona (España). Se ha llevado a cabo un análisis de correlación entre los resultados experimentales y los predichos por dos formulaciones teóricas propuestas por Barron y Vorländer, basadas ambas en la hipótesis de campo difuso y caída exponencial. El grado de predicción para el parámetro G es prácticamente nulo, salvo para frecuencias medias. La capacidad de predicción del parámetro C_{80} es claramente superior. La predicción no mejora si se discrimina el valor de la reverberación mediante el índice EDT para la energía temprana y T para la tardía, con respecto a la utilización de un único índice (EDT ó T) para ambos tramos. Finalmente, el coeficiente de correlación (resultados experimentales versus predicción) mejora en torno a un 10% si se utiliza el valor experimental del EDT en lugar del valor de T .

Referencias

- [1] Barron, M.; Lee, L.J. Energy relations in concert auditoriums, *J. Acoust. Soc. Am.*, 84(2), 1988, 618-628.
- [2] Vorländer, M.; Revised relation between the sound power and the average sound pressure level in rooms and consequences for acoustic measurements , *Acustica*, 81, 1995, 332–343.
- [3] Galindo, M.; Zamarreño, T.; Girón, S. Acoustic analysis in Mudejar- Gothic churches, *J. Acoust. Soc. Am.*, 121 (1), 2007, 234-250.
- [4] Segura, J.; Cerdá, S.; Giménez, A.; Montell, R.; Barba, A.; Cibrián, R. Análisis mediante estadística espacial de la distribución de diversos parámetros de salas, *Jornadas Nacionales de Acústica*, Cáceres, Spain, 2011.
- [5] Krige, Danie G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa*, 52 (6), 1951, 119-139.