

DISTRIBUCIÓN DEL CAMPO SONORO EN RECINTOS PRISMÁTICOS DE PLANTA RECTANGULAR, EN L Y EN U

Rosa M^a Rodríguez¹, Francisco Simón², Antonio Moreno³

CAEND, Consejo Superior de Investigaciones Científicas

C/ Serrano, 144
28006Madrid. España
Tel: +34 91 561 88 06
Fax: +34 91 411 76 51

E-mail:

1. rmr_alves@yahoo.es
2. f.simon@csic.es
3. amoreno@caend.upm-csic.es

Resumen

En este trabajo se estudia la distribución del campo sonoro en recintos prismáticos de planta rectangular, en L y en U mediante experimentación en maquetas a escala 1:10 para dos condiciones de absorción. Se comparan los resultados con las teorías geométrico-estadísticas existentes y se obtienen, ecuaciones empíricas, basadas en una generalización de la ecuación de Barron-Lee, para la predicción de la variación del nivel de presión sonora con la distancia. Se encuentra que estas ecuaciones son función de la geometría del recinto y en menor cuantía de las condiciones de absorción. Se observan alteraciones importantes del SPL en el entorno de las esquinas interiores de los recintos en L y en U atribuibles a efectos de difracción. El uso de estas ecuaciones, como aproximación de la variación de SPL, simplifica considerablemente el cálculo mediante modelos numéricos de los parámetros acústicos del recinto, particularmente en el caso de múltiples fuentes emisoras (aulas, restaurantes).

Palabras-clave: Distribución del campo sonoro, , modelos a escala, factor de alinealidad.

Abstract

This work deal with SPL distribution in enclosures by using reduced models, scale 1/10, of prismatic enclosures of plants in I, L and U, under two conditions of sound absorption. Experimental results show strong differences with results afforded by geometrical theories and commercial simulation programs. Thus new empirical equations, based on a generalization of Barron-Lee equation, are obtained. Formal equations for SPL distribution with distance are found to be mainly dependent of enclosure geometry and absorption. Around interior corners significant alterations of SPL are found, that can be attributed to diffraction. Simplified equations of SPL with distance can be used advantageously in predictive models of acoustic parameters of enclosures, particularly in cases of multiple sound sources, such as classrooms and restaurants.

Keywords: sound field distribution, scale models, non-linearity factor.

1 Introducción

Las principales teorías geométrico-estadísticas utilizadas en la actualidad para la predicción del campo sonoro en recintos, como la teoría de campo difuso [1,2], la teoría de Barron-Lee [3] u otras[4,5], se elaboraron a partir de mediciones realizadas en recintos reales, recintos que se caracterizaban por ser de gran volumen y geometría generalmente rectangular destinados al culto, como salas de música o auditorios, en los que hay un único foco emisor y múltiples oyentes o receptores.

En la actualidad hay multitud de recintos que requieren de un diseño acústico, cuyas características son muy distintas de los arriba mencionados: tienen volúmenes inferiores, planta de geometría distinta de la rectangular (por ejemplo, forma de L o forma de U) y están destinados a otros usos (por ejemplo, salas de conferencias, aulas, restaurantes, etc.) que en ocasiones suponen un número elevado de emisores y receptores repartidos por todo su volumen.

Los actuales programas de simulación numérica funcionan bastante bien en el caso de salas de música y auditorios con geometría rectangular para lo cual fueron inicialmente diseñados, pero todavía presentan deficiencias y limitaciones que deben ser investigadas para conseguir su mejora. Algún ejemplo podría ser la presencia de esquinas interiores, que deben considerarse mediante fenómenos de difracción o la mencionada presencia de múltiples fuentes emisoras que, si bien podría ser tenida en cuenta, hace que se dispare el coste computacional (tiempo y memoria) de los cálculos.

En este trabajo se ha estudiado el modelo de propagación de un campo acústico confinado en un recinto de tamaño medio en función de su geometría. Se estudian, en concreto, tres recintos prismáticos: con planta rectangular, en forma de L y en forma de U. De este modo se introducen esquinas (diedros) interiores, elementos sencillos a la vez que importantes y presentes en la mayoría de los recintos de uso cotidiano y que permiten estudiar los efectos de la difracción que producen.

La metodología es similar a la utilizada en otros casos ya referenciados. Se plantean los casos experimentalmente –se hará mediante modelos a escala– y después se utilizan procedimientos de ajuste que permitan calcular los parámetros de las ecuaciones generales que estos recintos deben cumplir. No solo se estudia la distribución del campo dentro del recinto sino el efecto de la naturaleza de la señal utilizada en las mediciones.

2 Descripción del sistema experimental

Como se ha dicho, se ha llevado a cabo una investigación en modelos a escala 1/10 de tres recintos prismáticos: uno con planta rectangular, otro con planta en forma de L y el último en forma de U cuyo volumen equivalente siempre era menor que 300 m³. En estos modelos, en los que se suponen condiciones de campo difuso, se mide la respuesta impulsiva a una señal generada mediante la descarga de un condensador eléctrico a baja tensión desarrollado en el Instituto de Acústica [6]. Las medidas se llevaron a cabo para dos condiciones distintas de absorción acústica del recinto, en la primera de ellas todas las superficies eran reflectantes y en la segunda se instaló un techo absorbente.

Los puntos de medida se seleccionan de modo que se muestrea todo el recinto de acuerdo a líneas rectas lo que permite estudiar la variación del nivel de presión sonora con la distancia. Se distribuyen a lo largo de dos trayectorias, una diagonal otra axial. En cada trayectoria se sitúa un segundo micrófono en una posición fija y que sirve de referencia, lo que permite corregir la variabilidad de las sucesivas señales de excitación dentro de una trayectoria dado que el uso de señales impulsivas impide garantizar la total repetibilidad de la excitación producida.

Dada la naturaleza de la señal y el rango de frecuencias en el que se trabaja, debido al factor de escala, –hasta 50 kHz–, Los valores obtenidos deben ser corregidos por los efectos de alinealidad –inherente a las señales impulsivas [8,9]– y por la atenuación de la onda acústica en el seno del aire [10,11].

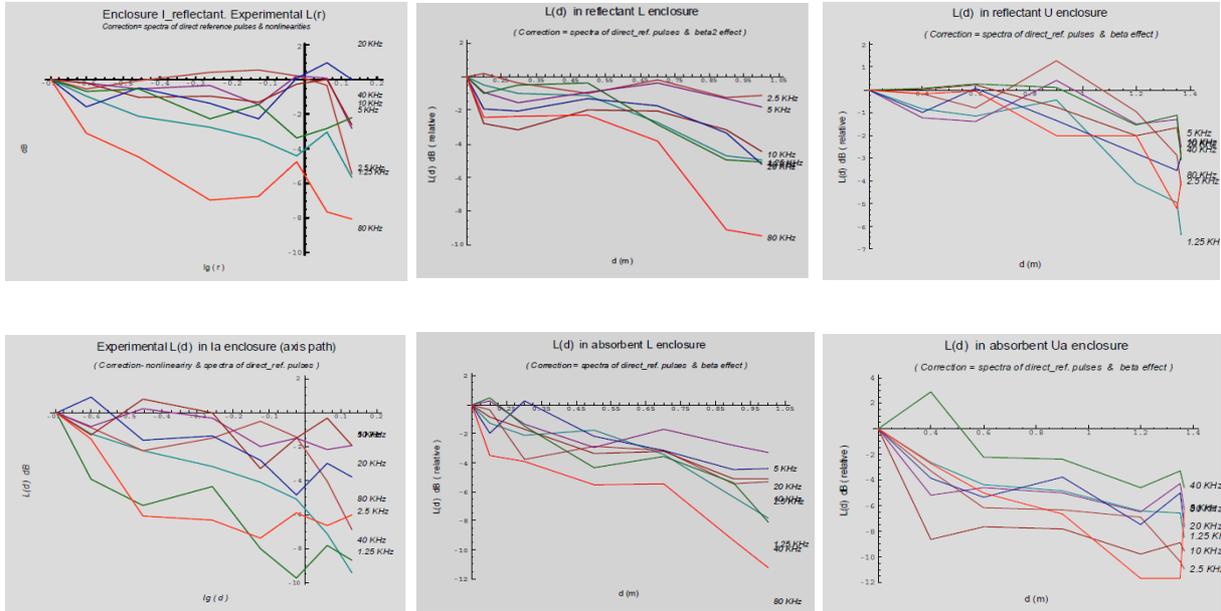


Figura 1 – Curvas de nivel de presión acústica con la distancia para condiciones de propagación lineales.

3 Resultados y discusión

En otros estudios realizados [3,4] se ha observado que una generalización de la ecuación de Barron consigue un buen ajuste a los valores experimentales en todos los casos considerados, lo que apoya el gran fundamento de esta ecuación tipo, que depende de tres parámetros A, B y C.

$$I = I_o \cdot \left(\frac{1}{r^2} + A e^{-Br^C} \right) \tag{1}$$

En los modelos citados el parámetro A toma el valor

$$A = \left(\frac{16\pi}{0.161} \right) \cdot \frac{T}{V} \tag{2}$$

Además, según las experiencias de Barron [3]

$$B = \frac{0.04}{T} \tag{3}$$

Expresando la ecuación (1) en nivel se tiene que:

$$L_I - L_{I_0} + 20 \lg(r) = 10 \lg(1 + Ar^2 e^{Br^C}) \quad (4)$$

En esta ecuación el primer miembro está relacionado con parámetros del campo directo y el segundo miembro con parámetros del campo reverberante. Además los valores de los parámetros del primer miembro se puede obtener a partir de los valores medidos, de forma que los parámetros A, B y C se pueden obtener mediante procesos de ajuste.

En primera instancia, suponiendo C=1 y dejando libres los parámetros, A y B se pueden obtener curvas, para ambos miembros de la ecuación (4), como las representadas en la figura 2.

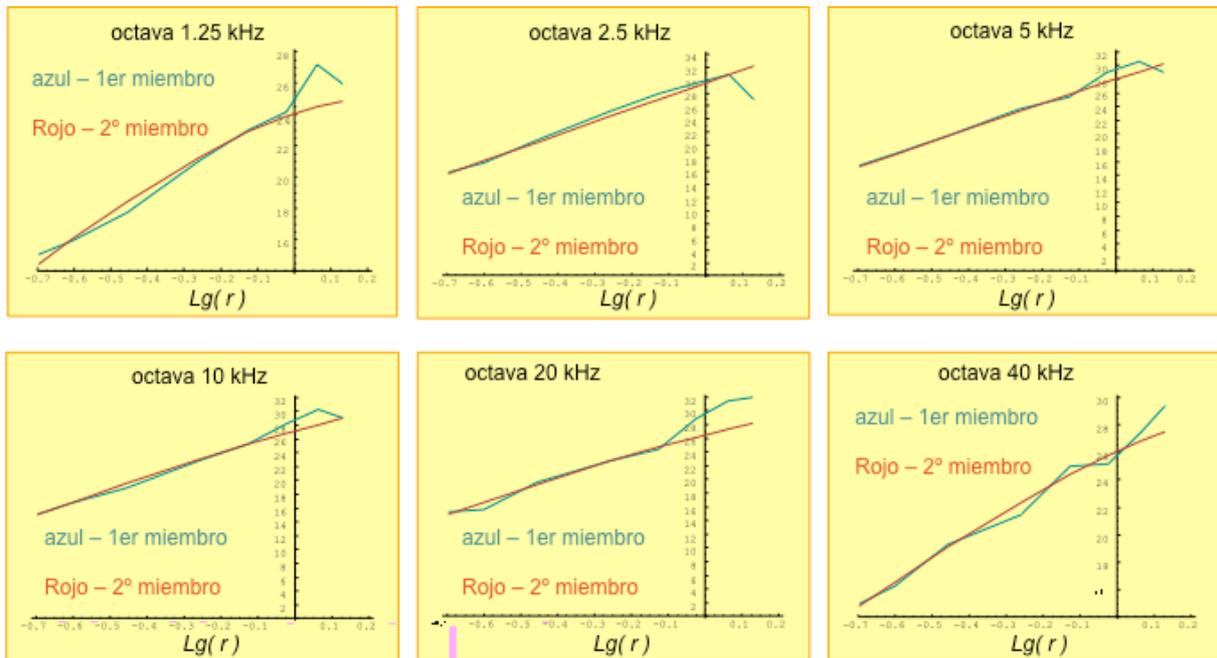


Figura 2 – Curvas obtenidas mediante ajuste de la ecuación (3)

Operando en la generalización de la ecuación de Barron (1), ya con C=1, se obtiene la ecuación:

$$\lg \left[10^{0.1[L(I/I_0)]} - r^{-2} \right] = \lg(A) - B \lg(e) r \quad (5)$$

El segundo miembro de esta ecuación es lineal en r y por mínimos cuadrados puede conseguirse la mejor aproximación a la curva del primer miembro definida para cada recinto, cada trayectoria y cada banda de frecuencia. En este ajuste se ha asignado a A el valor de la ecuación (2) conforme a la teoría del campo difuso clásica y a la de Barron.

Por este procedimiento se determina para todos los recintos la expresión del parámetro B de la exponencial. Para recintos con techo absorbente se obtiene:

$$B = \frac{a}{T} \quad (6)$$

Lo que arroja valores de 0.16, 0.13 y 0.13 para los recintos en forma I, L y U respectivamente.

Los recintos con techo reflectante también se ajustan bien a una expresión como la de la ecuación (6), (por ejemplo para recintos en L a = 0.095), Sin embargo con una expresión del tipo

$$B = \frac{a}{T(T-1)} \quad (7)$$

se obtienen correlaciones ligeramente superiores 0.08, 0.08 y 0.06 para recintos en I, L y U respectivamente. A cambio la expresión (7) diverge para T = 1, por lo que su uso en recintos en los que su tiempo de reverberación tome valores cercanos a este valor no es aconsejable.

Estas ecuaciones son función de la geometría del recinto y de sus propiedades macroacústicas que determinan las características de la respuesta impulsional.

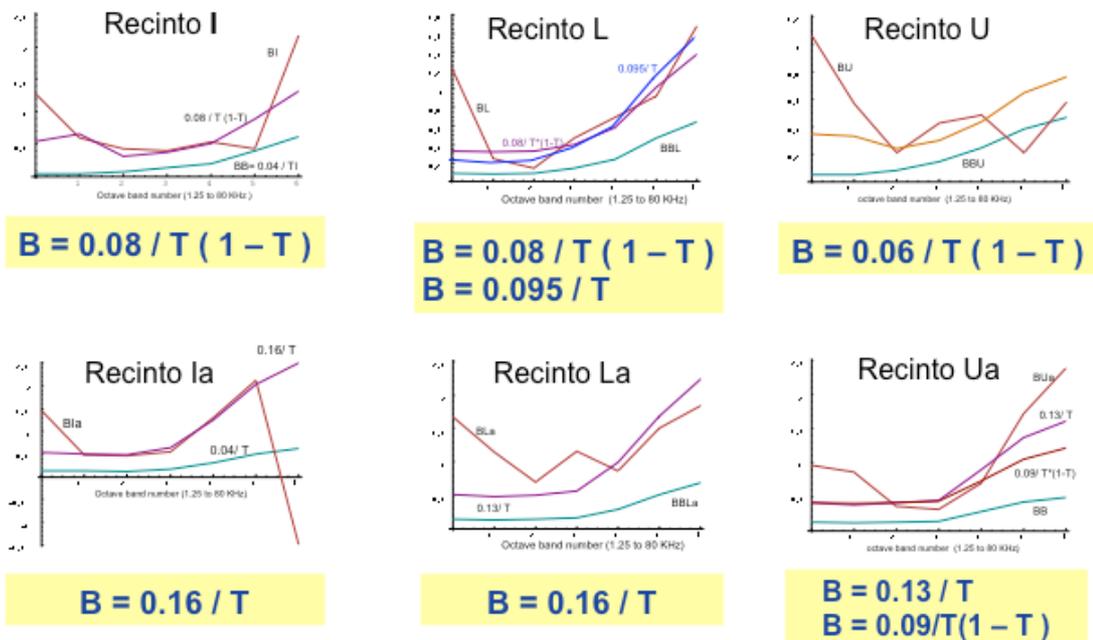


Figura 3 – Curvas de ajuste para cada uno de los recintos estudiados.

Al comparar los resultados experimentales del nivel sonoro a lo largo de trayectorias axiales y diagonales con los calculados numéricamente mediante las ecuaciones empíricas se observan disminuciones de la presión medida en las zonas de sombra producidas por las esquinas en los recintos con planta en forma de L y de U, como era de esperar.

Las áreas de estas zonas afónicas son función de la frecuencia de manera bastante coincidente con las encontradas en las barreras de ruido por efecto de la difracción.

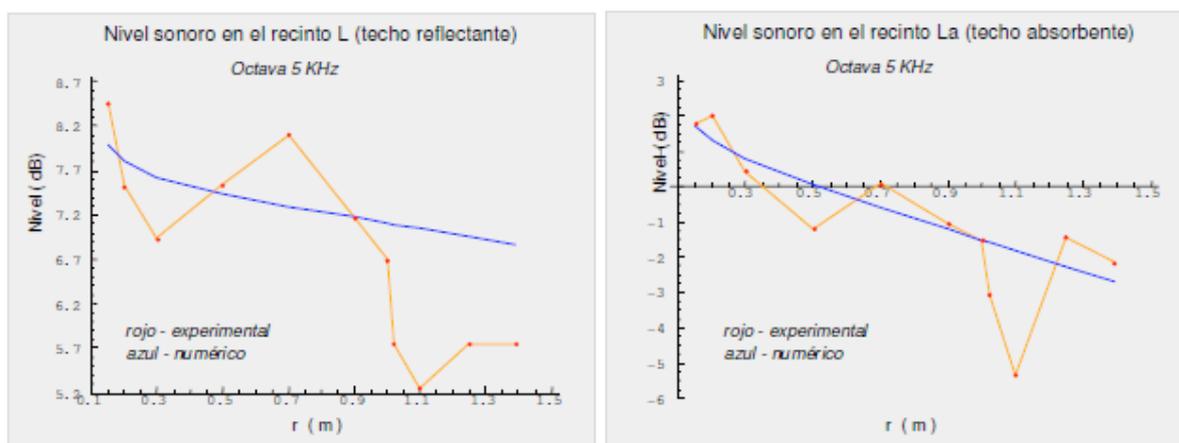


Figura 4 – Curvas de nivel sonoro con la distancia en recintos donde se forma sombra acústica.

4 Conclusiones

Se ha generalizado la ecuación de Barron para recintos prismáticos con planta I, L y U, con techos reflectante y absorbente. Estas ecuaciones permiten predecir los niveles de presión acústica en su volumen y son función de la geometría del recinto y de las propiedades macroacústicas que determinan las características de la respuesta impulsional.

Existen efectos de difracción en torno a las esquinas en los recintos en L y en U, que son de gran importancia para el uso de modelos simplificados de simulación numérica de la acústica de recintos, tales como los de imágenes o los de rayos y que deben ser tenidos en cuenta si se quiere que en las zonas de sombra las predicciones sean fiables.

A este respecto la elaboración de un modelo analítico como el presentado en este trabajo debería ampliarse para incluir este efecto si se quiere que en estas zonas sea de utilidad.

El uso de estas ecuaciones como aproximación de la variación de nivel de presión sonora dentro de un recinto prismático para las fuentes de ruido, hace viable el cálculo mediante modelos numéricos.

Esta simplificación permite el uso de los modelos numéricos relativamente simples para el estudio de recintos con múltiples emisores y el cálculo de parámetros acústicos que determinan la calidad acústica de estos recintos, como la inteligibilidad, claridad u otros.

Agradecimientos

Parte de este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y competitividad a través del proyecto de referencia BIA2009-11753.

Referencias

- [1] Morse, P. M. Sound waves in rooms. Rev. Mod. Phys., 16, 1944, 69-1150

- [2] Schroeder, M. R.; Kuttruff, K. H. Frequency Response Curves in Rooms. Comparison of Experimental, Theoretical, and Monte Carlo Results for the Average Frequency Spacing between Maxima. *J. Acoust. Soc. Am.* 34(1), 1962, 76-80.
- [3] Barron, M.; Lee, L-J. Energy relations in concert auditoriums. *J. Acoust. Soc. Am.* 84(2), 1988, 618-628.
- [4] Zamarreño, T.; Giral, S.; Galindo, M. Acoustic energy relations in Mudejar-Gothic churches. *J. Acoust. Soc. Am.*, 121 (1), 2006, 234-250.
- [5] Cirillo, E.; Martellotta, F. An improved model to predict energy-based acoustic parameters in Apulian-Romanesque churches. *Appl. Acoust.*, 64(1), 2003, 1-23
- [6] de la Colina, C. Aproximación de la fuente puntual ideal, *Tesis doctoral*, U. Autónoma de Madrid, 1995
- [7] Moreno, A.; de la Colina, C.; Simón, F. Caracterización acústica de explosiones de baja potencia. *Anales de Física*, 97(3), 1997, 149-157.
- [8] Moreno, A.; de la Colina, C.; Simón, F. Factores fundamentales en la atenuación de impulsos acústicos producidos por explosiones de baja potencia. *Revista de Acústica*, 18(3/4), 1997, 11-13
- [9] Moreno, A.; Rodríguez, R. M.; Fernández, M. J.; Simón, F.; de la Colina, C. Un modelos de simulación de ecogramas en recintos para excitaciones con impulsos débilmente alineales. *Revista de Acústica*, 40(3/4), 2009.
- [10] ISO 9613-1:1993. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- [11] ISO 9613-2:1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation.