

DISTRIBUCION DE NIVELES SONOROS EN UN RECINTO PRISMÁTICO CON PLANTA EN FORMA DE L

PACS: 43.55 Ka, 43.55 Fw

R. M. Rodríguez; F. Simón; C. Colina; M. J. Fernández; A. Moreno (*)
Instituto de Acústica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
C/ Serrano, 144
28006 Madrid. España
Tel: +34 915 618 806
Fax: +34 914 117 651
E-mail (*): amoreno@ia.cetef.csic.es

ABSTRACT

Given the primary importance of sound level on intelligibility his study considers the influence of L-shaped enclosures on sound level distributions as a function of distance to sound source.

Results of well stated theories, will be compared to experimental results obtained on a 1:10 scale model. Classical theories commonly used to predict acoustic fields in rooms, such as the diffuse field theory, as well as recent improvements to this, mainly consider the typical "shoes box" shape.

This work deals with the adequacy of these theories to prismatic enclosures with L-shaped ground plan. That shape, frequent in usual rooms, introduces aspects related to wedge diffraction that can influence considerably the internal acoustic field distributions. Two degrees of absorption and two different lines of reception points are considered that are aimed to encompass most realistic situations.

RESUMEN

Por su importancia en la inteligibilidad y a efectos de diseño predictivo, se estudia, en recintos con planta en L, las distribuciones de niveles acústicos en función de la distancia a la fuente proporcionada por distintas teorías comparadas a la obtenida experimentalmente en una maqueta a escala.

Las teorías utilizadas para predecir el comportamiento acústico de un recinto, tanto la teoría tradicional de campo difuso como las más recientes que introducen mejoras respecto a ésta, se basan fundamentalmente en el estudio de recintos de planta rectangular.

En este trabajo se estudia la aplicación de estas teorías en recintos prismáticos de planta en forma de L. Esta forma, frecuente en recintos de uso cotidiano, introduce aspectos de interés ligados a la difracción por diedros, en el campo sonoro interior. Se consideran dos situaciones de absorción con la intención de que comprendan la mayor parte de las situaciones de uso y dos tipos de trayectorias de exploración espacial en donde los efectos de difracción se estiman de distinta intensidad, y también representativos de las situaciones reales.

1. INTRODUCCIÓN

La inteligibilidad es uno de los parámetros fundamentales de la calidad de recintos en donde la comunicación oral es su función dominante. Como factor primordial, adverso, de la inteligibilidad actúa el nivel de ruido de fondo de origen interno, ya que se supone un aislamiento del exterior satisfactorio. Como tal ruido deben considerarse las conversaciones de los usuarios con exclusión de los interlocutores del interesado y esto debe ser válido para todos los usuarios del recinto. Es importante por tanto disponer de modelos de cálculo que permitan realizar estimaciones que faciliten el diseño en función de la finalidad del mismo. Históricamente los primeros modelos se elaboraron a partir de mediciones realizadas en recintos reales [1]. Así nació la teoría del campo difuso con aportaciones de fundamentación teórica en base a teorías estadísticas generales [2], [3], [4].

En la década de los 90 Barron [5] observó en salas de gran volumen y geometría rectangular que la ley de variación del nivel con la distancia difería de la teoría del campo difuso anterior. En estudios de otros autores siguiendo una línea semejante al anterior, en grupos de recintos con un denominador común, encuentran comportamientos acústicos específicos dentro de cada categoría de recintos, entre los que cabe destacar los estudios en iglesias gótico-mudéjares [6] y para iglesias románicas [7].

Paralelamente se han desarrollado una gran multiplicidad de modelos de simulación en ordenador, que se basan fundamentalmente en la teoría de la imágenes [8] en la teoría de rayos [9], y sus optimizaciones de conos cilíndricos o prismáticos [10] y combinaciones de ambas [11]. De entre estos modelos en ordenador hemos seleccionado el EASE, y su módulo AURA, basado en el conocido algoritmo de CAESAR un programa anterior.

En este trabajo hemos iniciado el estudio de la influencia de la geometría de un recinto en su comportamiento acústico. Partimos, en concreto, de un recinto prismático con planta en forma de L, con lo cual introducimos esquinas (diedros) interiores, elementos sencillos a la vez que importantes y presentes en la mayoría de los recintos de uso cotidiano. Intentamos por tanto introducir un elemento en el que pueden ser importantes los efectos de difracción de las mismas.

Para ello hemos llevado a cabo una investigación en un modelo a escala 1/10 de un recinto prismático y planta en forma de L, cuyo volumen es $< 300 \text{ m}^3$. En este modelo, en el 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 [12]. Los resultados de estas medidas se comparan con los obtenidos de aplicar la teoría tradicional de campo difuso y teorías más recientes, como la teoría revisada de Barron-Lee, y con los obtenidos de la simulación acústica del recinto, a escala real, mediante el citado programa EASE 4.1.

2. MEDIDAS EXPERIMENTALES EN UN MODELO A ESCALA

El enfoque experimental se lleva a cabo mediante un modelo a escala, basándose en el formalismo de la respuesta impulsiva, propia de los sistemas lineales, que nos proporciona una herramienta potente y precisa para conocer el campo acústico interior. Para ello, se construyó una maqueta acústica a escala 1/10, con planta en forma de L, en la que se suponen condiciones de campo difuso. Las dimensiones de la misma han sido elegidas de modo que sean representativas de recintos reales, procurando a su vez que no sean iguales entre sí, ni múltiplos exactos unas de otras para aumentar la difusión y regularidad de espaciado entre las frecuencias propias y entre las sucesivas reflexiones. En esta maqueta, y para las secuencias de parejas emisión-recepción, se midieron las respuestas impulsivas a una señal generada mediante la descarga de un condensador eléctrico a baja tensión.

Se eligió la escala 1:10 para la realización del modelo porque se ajusta bien a nuestro sistema de generación de la señal impulsiva. En el modelo a escala se ha medido en el rango de frecuencias de 1.000Hz a 50.000 Hz. Este rango de frecuencias corresponde en el recinto real al rango de frecuencias de 100Hz a 5.000Hz, que es el usado habitualmente en acústica

arquitectónica. Por otra parte, esta escala permite manipular fácilmente la instrumentación necesaria para la realización de los ensayos.

El modelo que se ha construido para esta experimentación está formado, en su perímetro por tableros de aglomerado chapado en melamina por una de sus caras de 40 mm de espesor y en su base y cubierta por tableros de aglomerado chapado en melamina por sus dos caras de 19 mm de espesor. Los tableros se han fijado mecánicamente entre sí perimetralmente y a la base, sellándose la junta perimetral con un cordón de silicona, para asegurar la necesaria estanquidad. En todo el perímetro superior se ha colocado una junta elástica de espuma de polietileno, que garantiza la estanquidad del conjunto una vez colocado el techo, y facilita su manejo.

Los puntos de medida se han seleccionado de modo que se muestrea todo el recinto pero dispuestos alineadamente a lo largo de dos trayectorias para facilitar el estudio de la variación del nivel de presión sonora con la distancia. Una trayectoria sigue las diagonales, conectadas, de los dos rectángulos que constituyen la base, tal como se indica en la Figura 1. La segunda trayectoria sigue dos rectas conectadas, cada una paralela a las caras de cada rectángulo pero descentradas para evitar coincidencia de las reflexiones. En ambas situaciones se situó la fuente emisora al principio de la trayectoria respectiva.

Las medidas se llevaron a cabo para dos condiciones distintas de absorción, la primera de ellas con todos los paramentos reflectantes y la segunda introduciendo un techo absorbente.

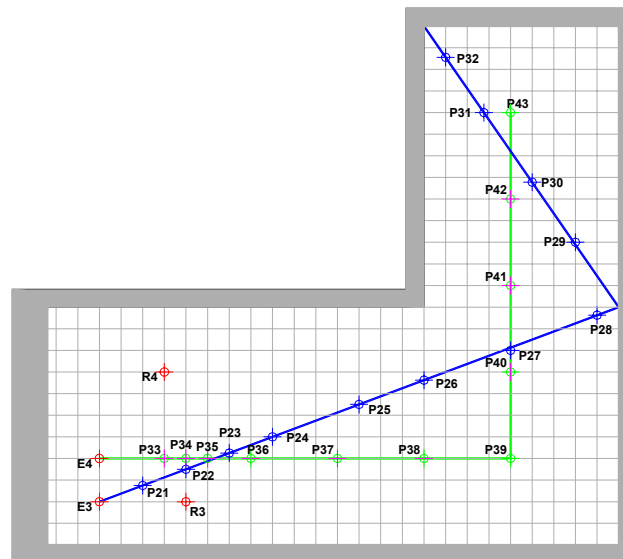


Figura 1. Planta del recinto con las trayectorias y posiciones de los puntos de emisión y recepción

3. SIMULACIÓN NUMERICA EN ORDENADOR

Se introdujeron los datos y características del modelo a escala real equivalente al construido en maqueta en el software de simulación EASE 4.1. Los tiempos de reverberación del recinto para las dos situaciones de absorción, así como los coeficientes de absorción de los materiales utilizados que se obtuvieron a partir de las medidas realizadas en la maqueta a escala, en cuyo proceso se utilizaron técnicas avanzadas de tratamiento de señal de las que destacamos el filtrado numérico inverso. Estos datos se introdujeron en el modelo numérico, teniendo en cuenta las reglas de similitud entre sistemas relacionados por un factor de escala.

Asimismo se situaron las fuentes de emisión que se supusieron fuentes esféricas, caracterizándolas mediante sus diagramas de atenuación y su nivel de emisión y se seleccionaron los mismos puntos de recepción que los medidos en la maqueta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han analizado comparativamente los resultados experimentales y los calculados por las teorías del campo difuso, de Barron y por el programa AURA, tanto para el modelo en su situación de reflectante como con el techo absorbente, para las dos trayectorias 1 y 2.

En las figuras 1 y 2, se resumen los resultados obtenidos en este estudio. Presentan para tres bandas de octava, representativas del intervalo estudiado y para las distintas trayectorias y condiciones de absorción, los resultados experimentales comparados a los de predicción numérica de las teorías mencionadas y de simulación por ordenador.

Para facilitar la comparación se han ajustado las distintas curvas de modo que todas coinciden en el primer punto, el más cercano a la fuente, que, sin pérdida de generalidad, se ha hecho igual a cero.

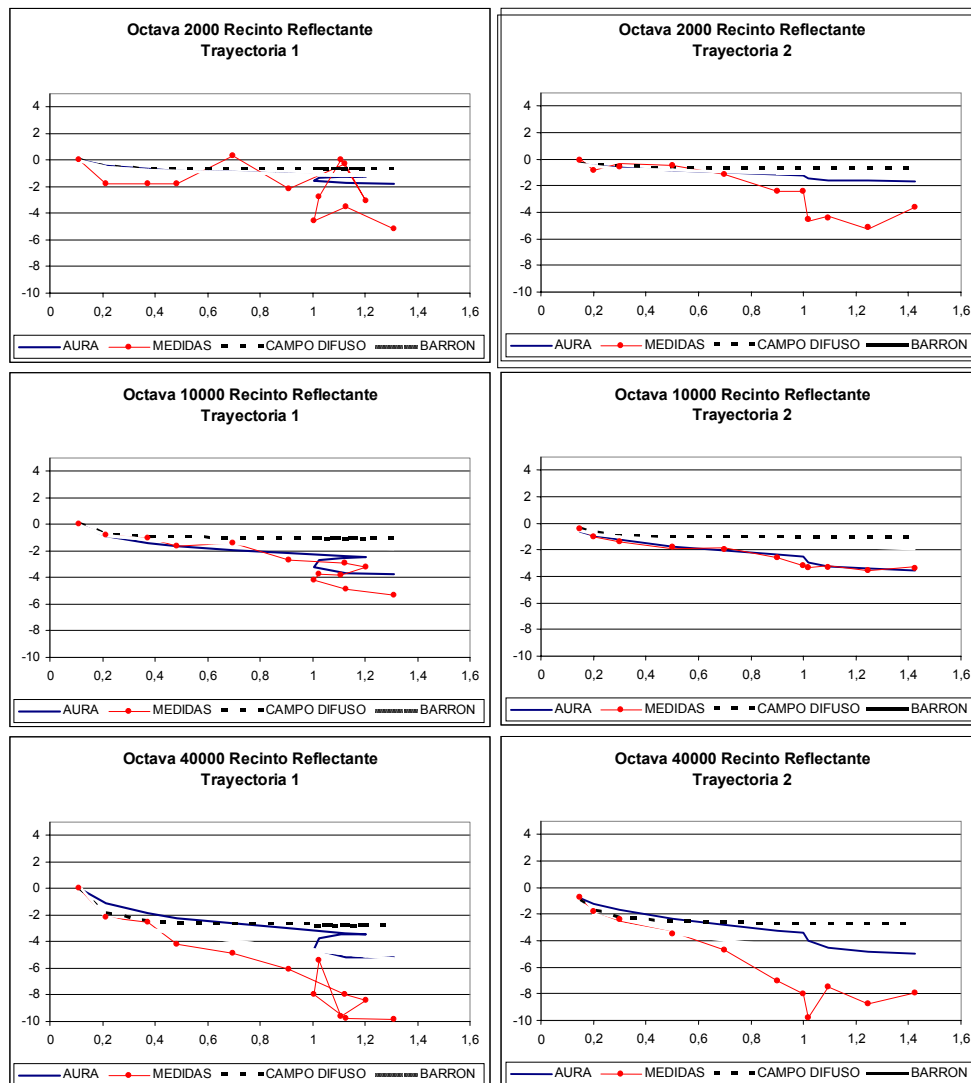


Figura 2. Niveles de presión acústica en función de la distancia en el recinto reflectante para distintas bandas de frecuencia y trayectorias.

En el recinto con planta en forma de L, sin techo absorbente, las ecuaciones de la teoría clásica y de Barron-Lee se apartan de los resultados experimentales al aumentar la distancia, dando disminuciones muy inferiores. No detectan el efecto de difracción del diedro interior. La simulación EASE por el contrario muestra una gran concordancia cualitativa con los resultados experimentales para ambas trayectorias, incluido el efecto de sombra del diedro, si bien cuantitativamente los efectos están atenuados. Es patente sin embargo que esta simulación no

es sensible a los efectos de coincidencia de fase de los puntos de insonificación directa en la proximidad de la arista, fenómenos descritos en barreras de reducción del ruido ambiental exterior. Como era de esperar los efectos de difracción son mas intensos en la trayectoria 1 que en la 2.

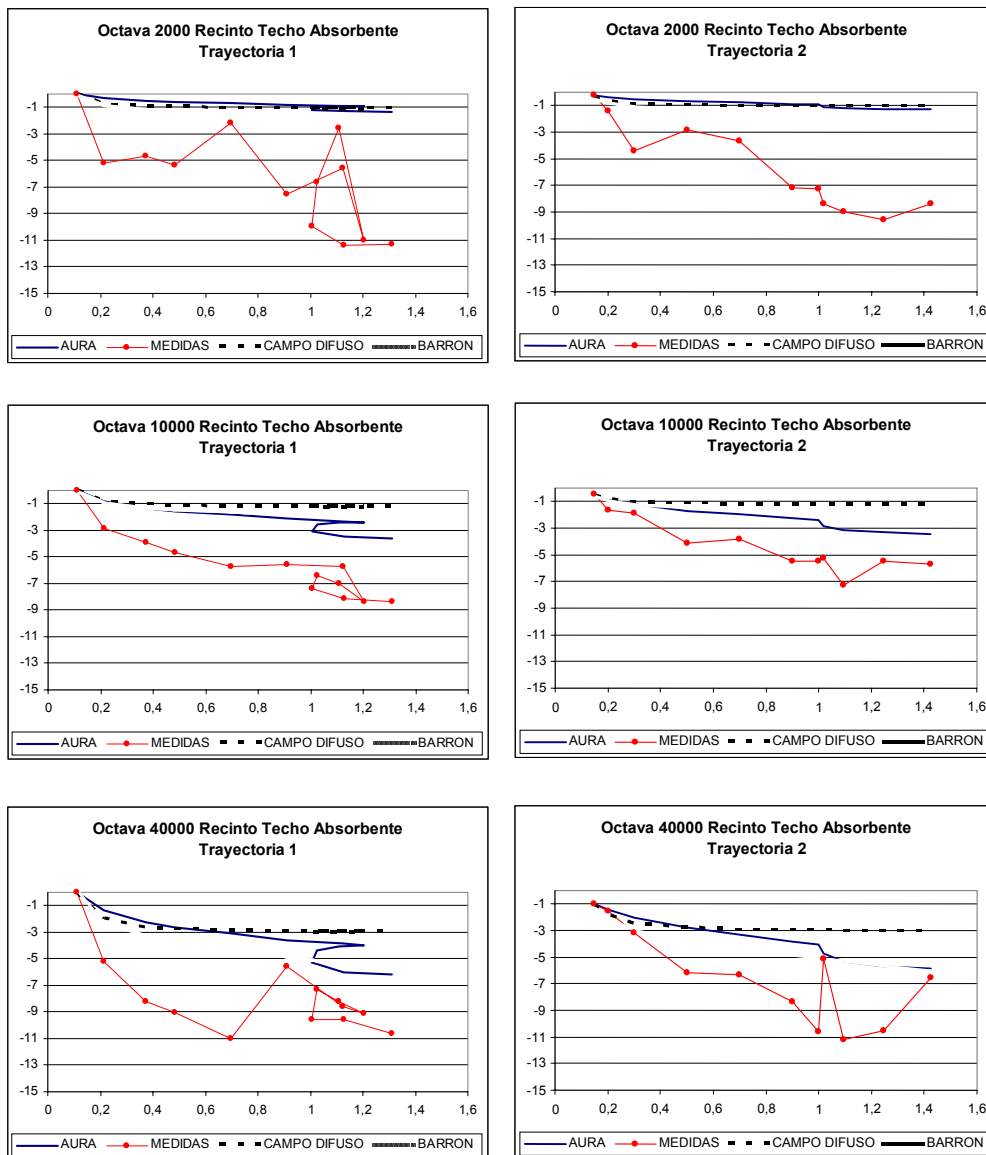


Figura 3. Niveles de presión acústica en función de la distancia en el recinto con techo reflectante para distintas bandas de frecuencia y trayectorias.

La presencia de un techo absorbente ocasiona algunas variaciones sobre la panorámica anterior en cuanto a la intensidad de las diferencias que ahora es mayor entre los puntos experimentales y los calculados. Los puntos experimentales siguen funciones de mayor atenuación con la distancia con techo absorbente que sin él, resultado menos patente tanto en los resultados de las teorías empíricas como en los de la simulación en ordenador.

Tanto los resultados de la simulación como los puntos experimentales en la zona de penumbra muestran clara tendencia a situarse niveles inferiores a los de la zona de radiación directa, aunque en ocasiones la diferencia sea pequeña.

5. CONCLUSIONES

Las teorías de Campo Difuso y de Barron no reflejan los fenómenos de difracción y sombra producidos por el diedro interior en la zona afectada por éste.

Existe una mayor concordancia de los resultados experimentales con la ecuación de Barron, que con la teoría de campo difuso tanto para la situación de recinto reverberante como absorbente.

En todos los casos la disminución de nivel con la distancia de los puntos experimentales es mayor que la preconizada por las teorías y por la simulación.

Hay que señalar que el software de simulación EASE muestra una gran analogía cualitativa con los resultados experimentales aunque de forma atenuada. No es sensible sin embargo el efecto de coincidencia de fase (realce de niveles) en la parte de insonificación directa alineados con la arista del diedro (fenómeno muy conocido en las barreras anti-ruido).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. C. Sabine, Collected papers on acoustics, Dover Publications Inc., 1964
- [2] Waetzmann E., & Schuster K., en Müller-Pouillet, Lehrb. d. Phys. 2 Auflage, 1929
- [3] Eyring C. F., Reverberation time in "dead" rooms, J. Acousti. Soc. Amer. 1(1930), pp 217-
- [4] Kuttruff H., Room Acoustics, Applied Science, London, 1979
- [5] Barron, M. & Lee, "Energy relations in concert auditorium" JASA 84, 618-628, 1998.
- [6] Sendra, J. J. & Zamarreño, T., El campo sonoro en las Iglesias gótico-mudéjares con cubiertas de Madera: aplicación del modelo de Barron, Tecnicústia, La Coruña, 1995
- [7] Cirillo E., Martellotta F. (2002), An improved model to predict energy-based acoustic parameters in churches, *Applied Acoustics*, Vol. 64, No. 1, pp. 1-23.
- [8] Cremer, L., Geometrische Raumakustik, Hirzel Verlag, Stuttgart, 1948
- [9] Krokstadt A., Ström S., & Sørsdal, S., Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique, J. Sound Vib. 8, 118, 1968
- [10] Vian J. P., Different computer modelling methods-Their merits and their applications, 12th ICA Congress, Vol II, E4-10, Toronto, 1986
- [11] Vorländer M. "Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm" JASA, 86(1):172-178, 1989.
- [12] Colina, C., Tesis Doctoral : "Aproximación de la fuente acústica ideal mediante impulsos de explosiones y descargas de condensadores eléctricos a baja tensión". Universidad Autónoma de Madrid 1995.