

# “Campo acústico en recintos de planta en I en L y en U. Aplicación al diseño acústico en restauración”

## Tribunal:

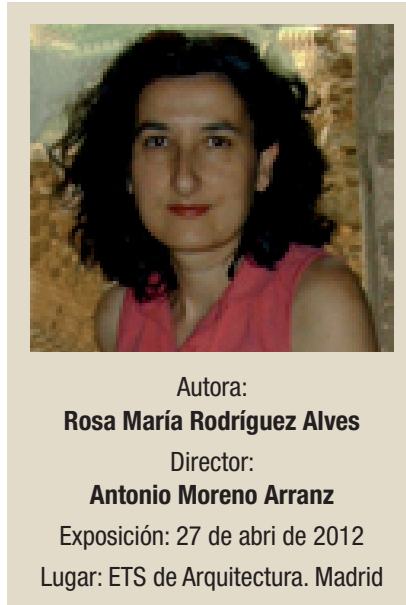
**Presidente:** Javier Neila González (ETS Arquitectura-Universidad Politécnica de Madrid)

**Secretaria:** Teresa Bravo María (Centro de Acústica Aplicada y Evaluación no Destructiva (CAEND)-CSIC)

**Vocales:** Pedro Cobo Parra (Centro de Acústica Aplicada y Evaluación no Destructiva (CAEND)-CSIC)

Alicia Giménez Pérez (ETSI Industriales-Universidad Politécnica de Valencia)

María Machimbarrena Gutiérrez (ETS Arquitectura-Universidad de Valladolid)



tesis se haya realizado un programa de exploraciones experimentales ambicioso, a la par que lo más simplificado posible, para obtener distribuciones de campos sonoros en recintos prismáticos de plantas en forma de I, L y U; en donde se exploran trayectorias axiales y diagonales. En paralelo se ha explorado el tiempo de reverberación y se ha completado con estudios análogos en recintos acoplados formados a partir del recinto de planta en U, por su utilidad actual en recintos de interés arquitectónico rehabilitados para restaurantes. Por su facilidad operativa la experimentación se planteó en maquetas a escala reducida asegurando el cumplimiento de los requisitos en este tipo de estudios.

## Resumen:

Este trabajo aborda el estudio de la calidad acústica de restaurantes y usa la inteligibilidad como magnitud para su valoración. La conversación en el entorno de cada mesa se considera como señal de interés para quienes la ocupan, mientras que las conversaciones de los comensales de las restantes mesas se consideran ruido perturbador junto con el procedente de otras fuentes interiores o exteriores.

La relación señal-ruido juega un papel primordial en todos los modelos objetivos de predicción de la inteligibilidad en recintos comúnmente aceptados en la actualidad. La calificación de la inteligibilidad de un recinto de restauración requiere un mapa de inteligibilidad en una retícula suficientemente fina que cubra la zona de público, en cuyos puntos se necesita calcular los nive-

les de señal y de ruido, así como el tiempo de reverberación u otro parámetro relacionado con la señal recibida en el tiempo de integración auditiva. Esto conlleva una cantidad ingente de potencia computacional tanto en memoria como en tiempo. Si se dispone de ecuaciones sencillas y fiables de distribución del nivel sonoro en función de la distancia a la fuente sonora los enormes requerimientos de cálculo mencionados podrían reducirse en un factor importante. La teoría estadística clásica de recintos presenta justamente este escenario, pero trabajos relativamente recientes de Barron y colaboradores indican la mejor adecuación de ecuaciones empíricas algo más complejas, dentro de la sencillez, las cuales a su vez han sido cuestionadas en parte por otros autores.

La importancia de estas ecuaciones ha condicionado que en esta

Los resultados experimentales directos se han corregido de los efectos alineales derivados de las descargas eléctricas usadas como señales de excitación, tanto en el tiempo de reverberación como en la distribución de niveles. Con este fin se han desarrollado ecuaciones de corrección de ambas magnitudes en función del parámetro de alinealidad en el rango de débil alinealidad.

También se han aplicado correcciones del exceso de absorción sonora en el seno del aire a los valores de humedad relativa, temperatura y presión atmosféricas reinantes en el interior de las maquetas durante la experimentación, para las frecuencias transpuestas por el factor de escala, en relación con la escala real. Como resultado se obtuvo un paquete de archivos de datos expe-

rimentales correspondientes a condiciones lineales.

Se ha mostrado 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. El conjunto de ecuaciones empíricas que ajusta cada caso particular solamente difiere en el valor de una de las tres constantes del tipo funcional: el factor ligado al término exponencial. Un valor de esta constante cercano al valor medio de la serie de casos estudiados se ha usado en el cálculo de los mapas de inteligibilidad en recintos prismáticos.

Los resultados experimentales del nivel sonoro a lo largo de trayectorias axiales y diagonales comparados a los calculados numéricamente con las ecuaciones empíricas presentan disminuciones justamente detrás de las esquinas de los recintos con plantas en forma de L y de U. 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. A distancias superiores los valores

experimentales tienden de nuevo hacia las curvas empíricas.

Se ha estudiado la influencia en los mapas de inteligibilidad del ruido de fondo, de la absorción sonora, de la distribución de las mesas, de la densidad de mesas por unidad de superficie, del porcentaje de ocupación y su distribución espacial así como de la posición de la mesa de señal. El ruido conversacional resulta ser el factor más adverso a la inteligibilidad. Al aumentar la densidad de mesas (ocupadas) la valoración de la inteligibilidad disminuye e inversamente.

La influencia negativa de las mesas de ruido conversacional disminuye rápidamente al aumentar la distancia a la mesa de señal: pudiendo afirmarse que las 4 a 8 mesas más próximas a la de señal, junto con la absorción total del recinto, constituyen los dos factores que condicionan la inteligibilidad influyendo negativamente el primero y positivamente el segundo. Este resultado difiere del ofrecido por la teoría geométrica estadística clásica donde todas las mesas tienen la misma influencia con independencia del sitio que ocupen en el recinto, y también con la teoría derivada de la

ecuación de Barron, que ocupa una posición intermedia.

Mayor absorción y menor densidad de mesas (ocupadas) mejoran la inteligibilidad en todos los casos pero la absorción no siempre puede neutralizar el efecto adverso de la densidad de mesas de la cual parece existir un valor frontera imposible de neutralizar en la práctica con incrementos de absorción.

El grado de inteligibilidad en torno a la mesa de señal es poco sensible a la posición de ésta dentro del recinto, resultado que simplifica el enunciado de criterios de calidad acústica de utilidad práctica tanto en diseño como en reglamentaciones de control.

La influencia del ruido de fondo estacionario y homogéneo resulta de escasa o nula influencia en la inteligibilidad para niveles de 20 dB o inferiores a los niveles normales de conversación.

La subdivisión del restaurante en subespacios menores mediante septa de separación parcial media y alta, presenta ventajas ya que dentro de cada subespacio la inteligibilidad no depende más que de las características de éste.

## Abstract:

This work deals with the acoustic quality of restaurants and proposes intelligibility as the proper quantity to assess for it.

Speech of people sitting around a table is considered as the signal of interest for this group while speech of occupants of the remainder tables constitutes a disturbing noise. Intelligibility conditions in the area of every table in the restaurant should reach a similar score.

Signal to noise ratio plays a capital roll in any objective models commonly accepted these days to account for speech intelligibility in enclosures. To qualify an enclosure a more or less fine scanning of audience surface should be performed comprising both signal and noise levels. That involves a big amount of computing power concerning memory and execution time. If, for instance, simple equations of sound level distribution in enclosures as a function of distance exist with a sufficient confidence degree, computing process can dramatically be alleviated. Such scenario is offered by the classical geometrical acoustic model but experimental observations, mainly by Barron and collaborators, lead to improved equations, which in turn have been partially questioned by other authors.

The importance of these equations lead us to plan an experimental program to obtain sound level field distributions in prismatic enclosures with I, L and U shaped horizontal sections. Axial (parallel to the main axes of enclosures)

and diagonal trajectories were used. These studies were completed with the study of coupled rooms resulting from U enclosure, given their actual interest in rehabilitation and adaptation of ancient buildings to modern restaurants.

To facilitate handlings and reduce time, experiments were conducted in reduced scale models, fulfilling the requirements of this type of studies. Sound level distribution and reverberation time were then obtained.

Direct experimental results were corrected of nonlinear effects accompanying spark pulses used as excitation signals, in both levels and reverberation times. To that purposes corrective equations for both quantities were derived as a function of a nonlinear parameter, in the weakly nonlinear range. Also corrections of excess of sound absorption in air at frequencies used in reduced scale models with regard to the frequencies at full scale have been applied. A package of experimental data files corresponding to linear conditions was obtained.

A generalization of Barron's equation has been proved to functionally match the experimental results in all cases considered then suggesting that it is very likely a well founded (proper) equation. The ensemble of equations adapted to each case only differs of each others in one of the three initial constants: the factor affecting the exponential term. Therefore a value near the mean of this factor has been used to derive intelligibility maps of rectangular enclosures.

Experimental results of sound level along axial and diagonal trajectories compared to computed values show well marked dips just 'behind' the corners in L and U shaped enclosures. Areas of these dips are frequency dependent in a much similar manner to those found in noise barriers by diffraction effects. At higher distances experimental levels show a tendency to lie over empiric curves. The influence on intelligibility maps of background noise, sound absorption, table distribution, density of tables, percent of occupancy and distribution in space and the position of the signal table were studied.

The speech noise is found to be the mayor disturbing factor of intelligibility. As the density of (occupied) tables increases the intelligibility score in the signal table decreases, and reversely.

The negative influence of remainder tables decreases rapidly as the distance increases: it can be said that the 4 to 8 nearer occupied tables in conjunction with room absorption constitute the main factors governing intelligibility, respectively in the negative and positive senses. This result differs of classical geometric theory where any table has the same influence on intelligibility independently of its location, and also differs of Barron's equation, that occupies an intermediate position

The intelligibility score around the signal table remains nearly independently of the table position, then simplifying the derivation of useful criteria to design or control the acoustic quality of a restaurant.

More absorption and less table density (occupied tables) improve intelligibility at any instances. But absorption not always can neutralize the adverse effect of table density whose limit is about 2 to 2.5 people by square meter.

The influence of homogenous and steady background noise shows a minor influence on intelligibility for levels 20 dB, or more, below the speech level.

Subdividing restaurants into several sub-enclosures some advantages could be obtained because intelligibility, for medium and high separating septa, only depends on conditions within each partial enclosure considered.