

NECESIDAD DE PAUTAS Y NORMATIVA ACÚSTICA ESPECÍFICAS EN LAS CONSTRUCCIONES ESCOLARES: LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE, UN EJEMPLO

PACS: 43.55 GX

Yebra, M., Bleda, S. y Vera, J.

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99, 03080 Alicante, España
Tel. 965903400, Fax 965903682. E-mail: jenaro@disc.ua.es

ABSTRACT

In this paper a acoustic based mesuraments report in Alicante University, over the last decade, is shown.

Inapropiated room design in educational buildings for acoustic goals is demonstrated. The teaching and learning are in a hard way against the intrusive noise and excessive reverberation without any real protection law.

In fact the poor acoustic results for these classrooms claim to working, just today now, to develop new and better acoustical standards in intelligibility and acoustical comfort.

INTRODUCCIÓN

A estas alturas puede parecer irrelevante, plantear la necesidad de establecer unas pautas arquitectónicas y una normativa acústica especiales en **arquitectura escolar**, pero es evidente la creciente demanda de éstas por la población general. Las condiciones acústicas en la edificación, es uno de los índices de confort que más preocupación está suscitando, en los últimos años, en la opinión publica local e internacional.[4], [10]

Creemos que se debería poner mayor énfasis en el ámbito de la Enseñanza, puesto que el problema que presentan los edificios de aulas con mala calidad acústica tiene implicaciones de largo alcance para el aprendizaje en general, así como en particular, para aquellos alumnos o profesores, que tengan deficiencias en la recepción, interpretación y/o producción del lenguaje hablado (trastornos audiológicos, disléxicos, procesos en lengua materna) cuyo número se puede estimar en más del 20% de la población escolarizada activa en la actualidad y con tendencia al alza por motivos socioculturales de diversa índole. [7]

La realidad actual es que no existen pautas específicas de acústica arquitectónica para espacios escolares. Por lo que es práctica común, usar de referencia las escasas indicaciones

de la NBE-CA 88, llegando a seguir como máximo, en el mejor de los casos, recomendaciones no debidamente contrastadas sobre tiempos de reverberación y las curvas NC sobre ruido de fondo intrusivo.

Los requerimientos que se le exigen a las aulas siguiendo tan sólo los planteamientos mencionados, son a todas luces inadecuados e insuficientes, cuando lo que está en juego es la consecución de espacios que aseguren la satisfactoria comunicación y aprendizaje. Para ello es necesario valores bajos de ruido intrusivo y reverberación para conseguir elevados ratios de señal(palabra)-ruido y campo directo(palabra)-campo reverberado(palabra). También será necesario mejorar el aislamiento de las aulas para desterrar injerencias entre discursos adyacentes y distracciones innecesarias.

MEDIDAS REALIZADAS

Se han realizado medidas de aislamiento y acondicionamiento acústico en la totalidad de los edificios dedicados a la docencia en la Universidad de Alicante, y al menos en dos tipos de aulas distintas en cada recinto. Por lo que consideramos que disponemos de información sobre todos los tipos de soluciones constructivas que se puedan dar normalmente a los cerramientos. De igual forma ocurre con el mobiliario, decoración y aspectos formales en los tratamientos de acabados superficiales y materiales, y por supuesto de la relación de sus elementos con el entorno.

Los parámetros que nos van a servir para nuestro estudio serán:

- Aislamientos estandarizados ponderados D_{nTw} y L'_{nTw} .
- Tr_{60} , EDT y RASTI.
- Distribución y densidad de 'modos propios'
- Balance de niveles de presión sonora y Eco.

Los criterios de referencia adoptados son los siguientes:

Aislamientos verticales y horizontales.

Se consideran adecuados los valores de la NBE-CA 88 para edificios docentes, siempre que el nivel total de ruido de inmisión debido a estos cerramientos no de cómo resultado un ambiente sonoro que supere el criterio NC 25. [1], [11]

Tr_{60} , EDT y RASTI.

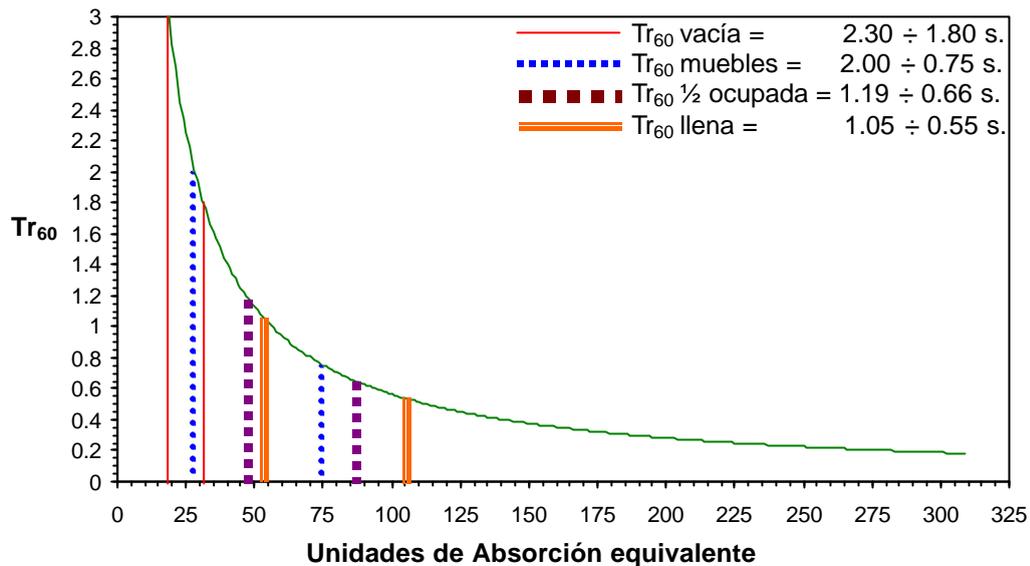
Apuntaremos en primer lugar la magnífica correlación que se da entre EDT y RASTI : [12]

$$RASTI = 0,58 - 0,21 \ln (EDT)$$

Este parámetro como indicador objetivo de inteligibilidad debe ser tal que consigne valores de ésta > 90% lo que le corresponde a valores RASTI > 0,76 [6]

Proponemos esta medida de reverberación como evaluadora de la inteligibilidad. Traducido a valores numéricos corresponde entre 0,3 y 0,6 segundos en aula **con alumnos** para excelente inteligibilidad. [3]

Por otra parte dada la similitud, en este tipo de recintos, entre EDT y Tr_{60} y puesto que este último se puede estimar de manera relativamente fácil a partir de la geometría inicial con el conocimiento de la absorción de los materiales de acabado y elementos de mobiliario presentes, hemos estudiado los valores de Tr_{60} para varios estadios posibles en el aula, como puede apreciarse en la figura siguiente.



Se demuestra que para conseguir el objetivo propuesto anteriormente bajo cualquier supuesto de ocupación posible, las aulas **sin alumnos** deben tener aproximadamente una reverberación media de $Tr_{60}=0,6$ s. De esta manera y admitiendo capacidades máximas de 300 alumnos se puede inferir que las Unidades de Absorción añadidas (≈ 150 UA) bajan éste como mucho a 0,3 segundos, lo que es un resultado global excelente. [8], [12]

De acorde a los resultados mostrados en la gráfica - construida para recintos cuyo Volumen medio ronda los 380 m^3 - se puede concluir que en nuestro caso solamente algunas aulas funcionan correctamente cuando tienen su aforo completo, pero que son deficientes en cualquier otro caso, que es lo más común.

Espectros de ruido ambiental.

Consideraremos normales espectros de nivel global < 65 dB para tráfico en fachada y 80 dB para palabra de 1 a 2 metros del grupo de conversación. En este caso se debería de tener en cuenta la elevada reverberación que es usual encontrar en lo que convenimos en llamar 'zonas comunes'.

Modos propios.

Seguiremos el criterio de Bonello, donde se baraja la propiedad de que sea una distribución monótona creciente junto con ciertas restricciones a la existencia de duplicidad de frecuencias resonantes bajo ciertos supuestos. [2]

Balance de niveles de presión sonora.

Esta cuestión se plantea después de constatar que la inexistencia de refuerzos geométricos en la cabecera de las aulas, constituye uno de los factores con mayor responsabilidad sobre la escasez de nivel sonoro en el tercio último de este tipo de recintos.

Riesgo de Eco.

Tiene en cuenta la posible percepción de un pico reverberante debido a reflexiones tempranas de gran potencia. Se evalúa en función de la zona proporcional que puede verse afectada por tal fenómeno.

RESULTADOS OBTENIDOS Y VALORACIÓN

Según lo que hemos planteado anteriormente, se muestran los valores medios para aulas **sin alumnos** y su valoración objetiva en la siguiente tabla resumen:

<u>AISLAM</u>	<u>MÁX.</u>	<u>MÍN.</u>	<u>MED.</u>	<u>S</u>	<u>NBE-CA-88</u>	<u>% incorrecto</u>
ENTRE-AULAS	55	32	44	7.5	45 dBA	50%
ZONAS COMUNES	48	26	34	5.1	45 dBA	95%
FACHADAS	59	34	46	8.6	30 dBA	0%
FORJADOS	61	53	57	2.4	45 dBA	0%
IMPACTO	49	39	44	3.4	80 dBA	0%
<u>REVERB.</u>	<u>MÁX.</u>	<u>MÍN.</u>	<u>MED.</u>	<u>S</u>	<u>PROP.</u>	<u>% incorrecto</u>
Tr ₆₀	2.00	0.75	1.43	0.38	0.8	90%
EDT	1.61	0.59	1.13	0.31	0.6	90%
RASTI	0.73	0.50	0.60	0.5	>0.7	90%
<u>GEOMET.</u>	<u>%desfavorable</u>		<u>incidencia</u>			
ECO	30%		1/3 inicial			
BONELLO	2%		250 Hz			
DENS. MODAL	30%		20 Hz ÷ 80 Hz			
BAL. N.P.S.	100%		1/3 final			

ANÁLISIS

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

Aislamientos verticales y horizontales.

El aislamiento de fachada y forjados se soluciona habitualmente de forma correcta. (100%).

El correspondiente a los cerramientos verticales entre-aulas falla de forma injustificable aproximadamente la mitad de los casos.

Y es insuficiente (95%), a todas luces, el que se da en las separaciones a zonas comunes, esto se debe principalmente a la presencia de ventanas y puertas (mediocre carpintería e idiosincrasia de la puerta en sí). Se aconseja que se adopte como solución en proyecto la 'doble puerta' con la que se puede conseguir unos 10 dB de ganancia como hemos comprobado experimentalmente.

Tr60, EDT y RASTI.

Los valores que arrojan estas medidas no son nada esperanzadores, puesto que tan sólo el 10% de las aulas cuando estén ocupadas al 25% de su capacidad por lo menos, presentan una buena inteligibilidad. Hay que tener en cuenta que las medidas fueron hechas en periodo nocturno o festivo.

Y los buenos resultados se corresponden con aquellas aulas de menor volumen y/o con un mobiliario más absorbente, situaciones que se producen sin necesidad de razonamientos acústicos deliberados.

Modos propios.

El análisis modal según las dimensiones de los recintos y para el caso más común de habitaciones paralelepípedicas, nos indican una pauta general correcta con salvedades en bajas frecuencias, donde ciertas proporciones geométricas potencian la respuesta en ese rango espectral, que se puede valorar subjetivamente cuando la voz aparece muy rica en graves, quedando un discurso confuso.

O más objetivamente, al analizar con detenimiento las curvas de caída en ese rango de frecuencias que presentan comportamientos anómalos achacables al acoplamiento de resonancias muy próximas en zonas de baja densidad modal. Podemos aventurar que un 35% de las muestras sufren detrimento en su inteligibilidad debido a esta causa. [5]

Espectros de ruido ambiental.

Con respecto a los espectros de ruido ambiental cabe destacar que su composición espectral nos obliga de alguna manera, no sólo a preocuparnos de los valores de aislamiento global, sino a que según el entorno sea de carretera o conversacional se debería de potenciar la protección, donde estos son más energéticos, en las bandas inferiores a 125 Hz o alrededor de 500 Hz respectivamente. No existe ningún aula que esté libre de esta contaminación, ni entorno que presente alguna protección.

Riesgo de Eco.

La presencia de zonas con riesgo de Eco en aproximadamente el 30% de los casos, es una cuestión si se quiere inevitable cuando la capacidad de alumnos aumenta y por lo tanto ciertas dimensiones también. Pero es grave que aún a sabiendas de ello, y siendo el parámetro de determinación más simple, no se haya solucionado a nivel de diseño en ninguno de los casos detectados.

CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

1.- Con respecto a la problemática del aislamiento, se puede decir que aunque los valores indicados en la NBE-CA 88 los consideramos, en una primera aproximación, suficientes, es necesario aquilatar esos parámetros de protección con exigencias constructivas de mayor calidad (tipo de vidrio y carpintería, puertas dobles...) que conlleven una buena relación Señal/Ruido ($NC < 25$).

2.- La valoración del entorno sonoro de las aulas depende tanto de la ubicación del edificio continente (ruido medioambiental) como de los usos internos de los recintos fronterizos de las 'salas de clase' (pasillos, patios, distribuidores, servicios, vestíbulos...). Por ello aparte de la protección por distancia o por barreras arquitectónicas a las fuentes de ruido exterior clásicas, se debería de tener en consideración el resto del potencial acústico contaminante que usualmente se produce en el interior del propio edificio. Y dictar normativa tendente tanto a aislar como a acondicionar dichos elementos. Todo esto, dicho con la misma pretensión que en el párrafo precedente ($NC < 25$). Aunque se debería reflexionar también sobre la conveniencia de mitigar el desasosiego que produce el efecto 'cocktail' en las zonas de convivencia e interrelación.

3.- Para finalizar abordaremos lo relativo a la inteligibilidad en función de parámetros internos del aula. Las cuestiones de forma no han sido determinantes en los resultados obtenidos, puesto que en ningún caso se han encontrado elementos que intencionadamente tengan alguna bondad acústica. Simplemente las geometrías se adecuaron a la capacidad deseada en cada momento o al sentido modulador del aprovechamiento del suelo en función de una estética global.

Lo mismo se puede decir de la calidad acústica de los materiales y mobiliario presente, los criterios si los hubo fueron de durabilidad, resistencia y economía. En ningún caso parece que haya habido una reflexión sobre la indudable importancia que tienen estos recintos en la comunicación y por supuesto en el proceso de enseñanza-aprendizaje que es su única razón de existir. Por lo que es necesario que los proyectistas dispongan de pautas a seguir y herramientas objetivas que les conduzcan a diseños de excelencia acústica incuestionable.

La solución global de este problema se podría encontrar si cualquier proyecto de edificación escolar futuro tuviera en cuenta todas las pautas siguientes con los criterios de valoración propuestos en este trabajo.

- 1) Valoración de la capacidad aislante de los cerramientos ciegos.
- 2) Calidad especial para las situaciones con cerramientos mixtos.
- 3) Estudio medioambiental de la zona de ubicación. Límites de inmisión.
- 4) Acondicionamiento y protección de las zonas comunes.
- 5) Balance de Niveles de presión sonora, refuerzos geométricos.
- 6) Soluciones propuestas a las deficiencias de forma (Ecos, modos propios)
- 7) Tiempo de reverberación en función de la Inteligibilidad.

REFERENCIAS

- [1] American Speech-Language and Hearing Association (ASHA), *Guidelines for acoustics in educational environments*, 37, Suppl. 14, pp. 15-19, 1995.
- [2] Bonello, O.J. *A New Criterion for the Distribution of Normal Room Modes*, J.Audio Eng. Soc., Sept. (29)9, 597-605, 1981
- [3] Bradley, J.S. *Uniform derivation of optimum conditions for speech in rooms*, BRN 239, National Research Council Canada, Ottawa, 1985.
- [4] Ercoli, L., Azzurro, A. P., Alvarez, A. y Smael, J. *Recent studies on community noise in Bahía Blanca city (Argentina)*, Fifth International Congress on Sound and Vibration, University of Adelaide, Australia. Dec. 15-18, 1997.
- [5] Fuchs, H. V., Zha, X., Zhou, X. y Drotleff, H. *Creating low-noise environments in communication rooms*, Applied Acoustics 62, 1375-1396, 2001
- [6] Hougast, T., Steeneken, H.J.M. *RASTI: A tool for evaluating Auditoria*, Brüel & Kjær Technical Review, 1985.
- [7] Kennedy, M. *Setting Guidelines for Classroom Acoustics*, American School & University. Jul. 1, 2000.
- [8] Koradas, M. J. *Reverberation times of typical elementary school classrooms*, Noise Control, 17-19, July 1960.
- [9] Report on *ABC News, Improving learning by improving classrooms*, in 'ECHOES' Newsletter of the ASA. Winter. (12)1, 6, 2002.
- [10] Seep, B., Glosemeyer R., Hunce, E., Linn, M. and Aytar, P. *Classrooms Acoustics*, Booklet for Technical Committee on Architectural Acoustics of the ASA. August, 2000.
- [11] Swedish Council for Building Research, *Acoustic Guide: selection of acoustic quality in buildings*, April 1996.
- [12] Vera, J., *Contribución experimental al estudio del aislamiento y acondicionamiento acústico del aula escolar*, Memoria de Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 1996.