

Evaluación de la calidad acústica de un aula problemática en la Universidad Politécnica de Cartagena

(Recibido: 25/04/2016; Aceptado: 07/06/2016)

Martínez, A¹; Castro, E²; Prior, J³; Martínez-Conesa, E.J.⁴

¹Alumna ETSAE, Universidad Politécnica de Cartagena

²Dpto Física Aplicada, ETSAE. Universidad Politécnica de Cartagena

³Dpto Física Aplicada, ETSAE. Universidad Politécnica de Cartagena

⁴Dpto de Arquitectura y Edificación, ETSAE. Universidad Politécnica de Cartagena

Teléfono: 678 006 883

Email: martinezarredondo@gmail.com

Resumen. El presente artículo tiene como objetivo la evaluación de diferentes parámetros acústicos de un aula. Se establece un protocolo para la medición acústica. Los parámetros estudiados son: el ruido de fondo, el tiempo de reverberación y la inteligibilidad de la palabra. Tras la caracterización de la sala y el análisis de los resultados, se ponen de manifiesto los diferentes problemas acústicos que impiden realizar cómodamente la actividad docente.

Palabras clave. Acústica; Aula; Inteligibilidad de la palabra; Tiempo de reverberación; Ruido de fondo

Abstract. In this article different acoustic parameters of a classroom are evaluated, establishing a protocol for acoustic measurement. The parameters studied are: background noise, reverberation time and speech intelligibility. After the characterization of the room and the analysis of the results, we can appreciate the different acoustic problems that prevent comfortably teaching perform.

Keywords. Acoustic; Background noise; Classroom; Reverberation time; Speech intelligibility

1. Introducción

La capacidad de escuchar y entender lo que se dice en un aula es imprescindible para garantizar un correcto aprendizaje. Una mala acústica puede producirse por un aislamiento o acondicionamiento acústico no adecuados, por ejemplo, debido a un elevado nivel de ruido de fondo o a que las condiciones arquitectónicas del recinto hagan que el tiempo de reverberación sea demasiado elevado y se crean problemas de atención en el alumnado, especialmente si tienen audición reducida, o algún tipo de trastorno o estudian en una segunda lengua (Álvarez, 2012).

Es así como, las malas condiciones acústicas de un aula, expresada por ejemplo, en un excesivo tiempo de reverberación, un elevado ruido de fondo o una mala distribución del sonido puede derivar en trastornos psicoacústicos tales como el enmascaramiento. El principal efecto adverso y que se relaciona directamente con un proceso educativo basado en la comunicación vía oral, es la pérdida de la inteligibilidad de la palabra (González Rivera, 2010).

Para corregir las molestias acústicas presentes en el aula estudiada, se realiza un estudio acústico de la misma para poder darle posteriormente un adecuado acondicionamiento que corrija o disminuya los problemas analizados.

A menudo, el acondicionamiento acústico se confunde con el aislamiento acústico. Esta temática,

si bien complementaria a la anterior, es conceptualmente distinta, ya que se refiere al conjunto de acciones encaminadas a la obtención de una correcta atenuación en la transmisión de ruido y vibraciones entre los diferentes espacios que integran un recinto (Carrión, 1998).

2. Procedimiento experimental

2.1. Metodología

El aula objeto de estudio pertenece a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena. Se trata del aula PS13, la cual se encuentra en la planta sótano.

Los paramentos verticales están protegidos con pladur. En la pared de acceso el pladur es de color blanco y sobre él cuelgan las pizarras, mientras que el resto imitan el color del hormigón. El suelo y el techo son de hormigón armado visto. La puerta de acceso a las aulas es de cristal con perfil metálico lacado en gris. En un lateral del techo y en la parte posterior hay tragaluces que dan a uno de los dos patios del edificio.

El aula está climatizada mediante toberas, las cuales se accionan automáticamente, dependiendo de las cargas térmicas y del estado de ocupación.

La superficie es de 113,07 m², de la cual el 30% está ocupado por mesas para el alumnado. El volumen del aula es de 526 m³.

En la Fig. 1 y en la Fig. 2 pueden verse las características anteriormente descritas de la sala.



Fig. 1. Foto del aula PS13 desde la entrada.



Fig. 2. Foto del aula PS13 desde la parte posterior.

El objetivo de estudiar esta aula acústicamente es poder conocer: el ruido de fondo (RF), el tiempo de reverberación (T) y el índice de Transmisión del Discurso (Speech Transmission Index, STI).

Una vez que hemos fijado los problemas acústicos que vamos a medir, establecemos un protocolo de medición para cada uno de ellos.

Las mediciones acústicas del aula se llevaron a cabo el día 13 de julio de 2015 entre las 10:00 y las 15:00.

2.2. Protocolo para medir el ruido de fondo. Resultados obtenidos

Definimos el ruido de fondo como aquel que percibimos en el aula cuando no se realiza ninguna actividad.

Medimos el ruido de fondo para poder evaluarlo y tener un valor de referencia para fijar un nivel adecuado para la señal de prueba en la medición de tiempo de reverberación.

La medición del ruido de fondo se realiza con un sonómetro estándar que nos da la medida del nivel global de presión sonora. El tiempo de medición será de 30 segundos, con un periodo de muestreo de 0,1

segundos. Se coloca el sonómetro a una altura de 1,20 metros del suelo.

Para medir el ruido de fondo colocaremos el sonómetro en las posiciones definidas en la Fig. 3.

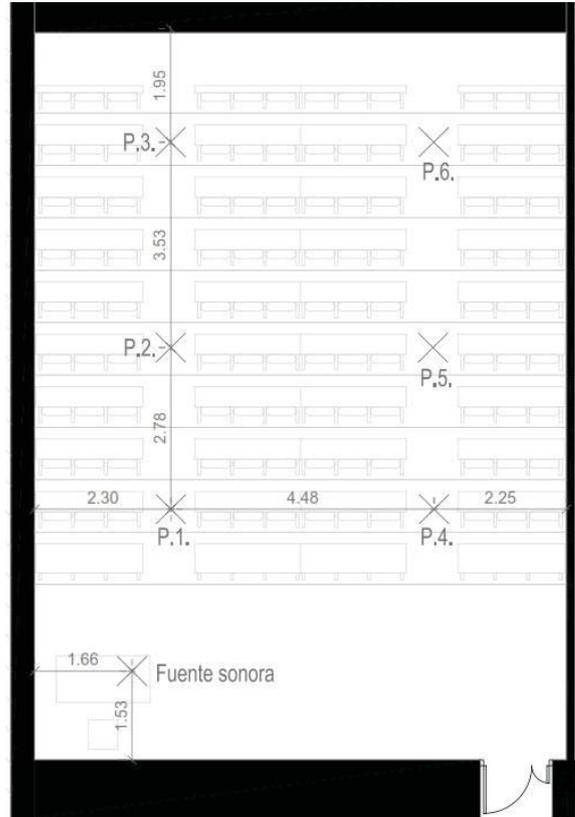


Fig. 3. Plano del aula PS13 con puntos de medición acotados.

Una vez medido, se calcula la media del resultado global de cada punto. Estos valores se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Ruido de fondo (en dBA) del aula PS13.

Punto	1	2	3	4	5	6	Media
RF	30,88	31,33	31,35	31,78	31,44	31,40	31,36

Para evaluar el grado de molestia que provoca en un oyente cierto ruido ambiental, uno de los procedimientos que se suele realizar es comparar entre los niveles de ruido de fondo existentes por bandas de octava entre 63 Hz y 8 KHz, con las curvas de referencia NC o Noise Criteria (González, 2010).

Debido a la falta de instrumental adecuado, medimos el nivel global de presión sonora medido en dBA y los comparamos con el de las curvas NC.

En la Tabla 2 se muestran los valores recomendados del índice NC para diferentes locales, así como su equivalencia en dBA.

Tabla 2. Valores recomendados del índice NC.

Recinto	Curva NC	Equivalencia dBA
Teatros	20-25	30-35
Aulas	25	35
Salas conferencias	25	35
Salas de reuniones	25-30	35-40
Cines	30	40

Así pues el ruido de fondo del aula PS13 está por debajo del valor máximo recomendado para aulas.

2.3. Protocolo para medir el Tiempo de reverberación. Resultados obtenidos

Medimos el tiempo de reverberación en segundos y lo definimos como el tiempo necesario para que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB después del cese de la fuente sonora.

Para medir este parámetro creamos un ruido blanco (Posición: "Fuente sonora" según Fig.3.), el cual mediremos desde cada una de las posiciones definidas en la Fig.3.

Se deben cumplir las siguientes condiciones (establecidas por la UNE EN ISO 3382-2):

- Una posición de la fuente y 6 posiciones del sonómetro, con tres medidas en cada caso.
- Las posiciones de medición deben estar separadas al menos 2 m.
- El sonómetro debe estar a una distancia mayor de 1 m de cualquier superficie reflectante.

Usaremos el método del ruido interrumpido. Mientras se mide, se produce un ruido durante varios segundos que luego cesa de forma repentina. Hay que medir al menos 4 segundos después de que cese el ruido para alcanzar un valor estable. Es necesario que se puedan identificar los niveles estacionarios inicial y final.

El tiempo de reverberación puede obtenerse a partir de la caída de pendiente de los primeros 20 dB (obteniendo T_{20}) o 30 dB (obteniendo T_{30}). El T_{20} ofrece una información más cercana a la primera impresión de reverberación, mientras que el T_{30} se asemeja más al tiempo de reverberación (T), aunque no tiene tanto en cuenta la reverberación tardía como el T .

En el caso del aula PS13 analizaremos la caída de pendiente los primeros 20 dB, ya que no disponemos del instrumental necesario para medir el tiempo de reverberación directamente. Se toman los valores de la recta de bajada del nivel sonoro, empezando desde que cae 5 dB respecto al valor estacionario inicial y hasta que disminuye 25 dB respecto al valor estacionario inicial.

Se hace un ajuste por mínimos cuadrados para hallar la pendiente de la recta. En la Fig.4 se representan los puntos de los primeros 20 dBA de caída así como la

ecuación y el ajuste por mínimos cuadrados de la recta.

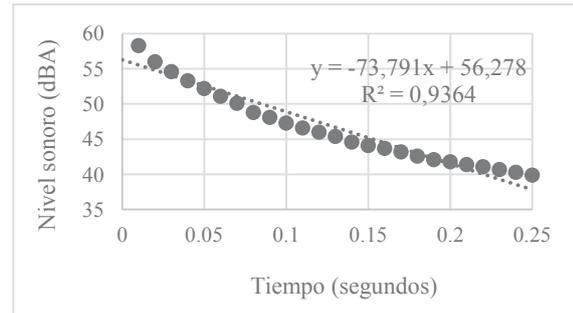


Fig. 4. Gráfica de datos de la Medición 1 en la Posición 1.

Con esa pendiente se calcula cuando tardaría en disminuir 60 dB el nivel sonoro, que es el tiempo de reverberación. Lo calculamos dividiendo 60 entre la pendiente la recta. En la Tabla 3 se recogen los datos obtenidos.

Tabla 3. Tiempo de reverberación (en segundos) del aula PS13.

Punto	1	2	3	4	5	6
Medición 1	1,01	1,24	1,44	1,33	1,40	1,50
Medición 2	1,08	1,21	1,40	1,33	1,53	1,53
Medición 3	1,05	1,24	1,46	1,41	1,48	1,46
Media	1,05	1,23	1,43	1,35	1,47	1,50

Normalmente el valor más adecuado de Tiempo de reverberación depende del uso del recinto y de su volumen. En nuestro caso, al tratarse de salas y aulas destinadas a la palabra, es conveniente que los valores sean bajos, con objeto de conseguir una buena inteligibilidad. En la Tabla 4 se recogen valores recomendados para el tiempo de reverberación.

Tabla 4. Tiempos de reverberación recomendados según uso.

Uso	TR (s)
Estudio de grabación	0,2 – 0,4
Sala de conferencias, aula	0,7 – 1,0
Teatro	0,7 – 1,2
Sala multiusos	1,2 - 1,5
Ópera	1,2 - 1,5
Música de cámara	1,3 - 1,7
Música sinfónica	1,8 – 2,0
Órgano/Coro	2,0 – 3,0

El tiempo de reverberación medio del aula PS13 es de 1,34 segundos. Este valor es superior al recogido en la Tabla 4 que fija como tiempo recomendado, para uso docente, entre 0,7 y 1 segundos.

2.4. Protocolo para medir la inteligibilidad. Resultados obtenidos

La inteligibilidad nos indica cómo afecta la sala a las palabras emitidas por un orador dentro de ella.

Se puede evaluar a partir de diferentes parámetros. Uno de los más comunes es el STI. Este parámetro caracteriza la buena comprensión del mensaje hablado a partir del tiempo de reverberación y la relación Señal/Ruido en un punto de la escucha determinado. Este método proporciona un valor entre 0 y 1 para evaluar el STI. Lo ideal para salas destinadas a la palabra es que el valor del STI sea próximo a 1.

Para obtener el STI, se genera un ruido impulsivo, por ejemplo explotando un globo. Se realiza el ruido impulsivo en la posición del profesor y se mide desde las diferentes posiciones del alumno y viceversa.

Para calcular el STI seguimos el procedimiento de cálculo del STI recogido en el capítulo 4 “Acoustic measurement and noise metrics” del libro “Architectural Acoustics” (Long, 2005). El proceso es el siguiente:

- Medir la respuesta impulsiva y posteriormente filtrarla en cada octava con un “filtro Chebyshev”.
- Calcularla energía total de cada octava, con la que se obtendrá su espectro normalizado a la energía total.
- Hallar la amplitud de modulación m a las frecuencias de modulación.

Tabla 4. Frecuencias de modulación.

Frecuencias de modulación						
0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5
3,15	4,5	6,3	8	10	12,5	

- Calcular la relación señal-ruido aparente:

$$SN = 10 \log \frac{m}{1-m} \quad (1)$$

- Limitar el rango a -15 dB y 15 dB y calcular la media ponderada total $SN_{ponderada}$ utilizando la siguiente red de ponderación para cada octava:

Tabla 5. Red de ponderación para cada octava considerada.

Red de ponderación						
0,13	0,14	0,11	0,12	0,19	0,17	0,14

- Finalmente calculamos el STI:

$$STI = \frac{SN_{ponderada} + 15}{30} \quad (2)$$

En las Tablas 6 y 7 se recogen los valores de la inteligibilidad del mensaje del profesor y del alumno, en las diferentes posiciones del aula, respectivamente.

Tabla 6. Inteligibilidad del mensaje del profesor.

STI del profesor desde la posición del alumno						
Punto	1	2	3	4	5	6
Valor	0,4890	0,5429	0,4684	0,5843	0,5274	0,5307

Tabla 7. Inteligibilidad del mensaje del alumno.

STI del alumno desde la posición del profesor						
Punto	1	2	3	4	5	6
Valor	0,4766	0,4832	0,5057	0,4902	0,4787	0,4747

Tanto el mensaje que transmite el profesor como el mensaje del alumno son entendidos de manera aceptable en el aula. Cuanto más alejado está el alumno del profesor, más difícil le resulta entender aquello que dice.

Todos los datos obtenidos están alejados del rango de la valoración en el que deberían estar al tratarse de salas dedicadas a la palabra.

3. Conclusiones

Puede decirse que el aula PS13 tiene un tiempo de reverberación alto para el uso que tiene. Esto implica que la inteligibilidad de la palabra sea insuficiente, sobre todo en los puntos más alejados de la fuente.

Del mismo modo, la inteligibilidad de la palabra está por debajo de los valores considerados recomendables para este tipo de espacios, donde la comprensión del mensaje es primordial. Estos dos factores juntos hacen que la calidad acústica del aula sea baja e inadecuada para la labor docente que se desarrolla en ella, siendo necesario un acondicionamiento acústico de la misma.

Referencias

- [1] Álvarez, et al (2012). “Caracterización y clasificación acústica de aulas. Comparativa de propuestas de mejora para la inteligibilidad”. En VIII Congreso Ibero-Americano de Acústica (Octubre - 2012 Évora) Portugal.
- [2] Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: UPC
- [3] González Rivera, C. (2010). “Acondicionamiento acústico salas de clases Colegio Emprender Osorno”. Tesis. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- [4] Long, M. (2005). *Architectural Acoustics*.
- [5] Recuero López, M. (2000). *Acondicionamiento Acústico*. Madrid: Paraninfo.
- [6] UNE EN ISO 3382-2:2008 Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios