

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

EL AUMENTO DEL AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO DE LA FACHADA DE LAS AULAS Y SU EFECTO EN LA INTELIGIBILIDAD DEL MENSAJE ORAL

PACS: 43.55.Rg

Díaz-Chyla, Alexander; de la Prida, Daniel; Pedrero, Antonio; Navacerrada, M Ángeles.
Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, E.T.S de Arquitectura, Universidad
Politécnica de Madrid.

Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid (España)

Tel: +34 910 674 853

E-Mail: arquilav.arquitectura@upm.es

Palabras Clave: fachadas, aislamiento acústico a ruido aéreo, inteligibilidad de la palabra

ABSTRACT

Direct oral communication is a key issue in the learning process, therefore, classrooms and other learning spaces must have excellent acoustic properties. This paper shows the results of measurements of airborne sound insulation of the façades of several dozen secondary school classrooms where the original windows have been replaced or another one has been added. The study analyzes the effect of improving the acoustic insulation on the direct oral message intelligibility when classrooms are affected by different traffic noise levels.

RESUMEN

La comunicación oral directa es una parte muy importante en el proceso de aprendizaje, por ello, las aulas y otros locales de aprendizaje deben tener unas condiciones acústicas excelentes. En esta comunicación se muestran los resultados de las mediciones del aislamiento a ruido aéreo de las fachadas de varias decenas de aulas de enseñanza secundaria en donde se han sustituido o doblado las ventanas originales. Se analiza el efecto de la mejora del aislamiento acústico en la inteligibilidad del mensaje oral directo, cuando las aulas están sometidas a diferentes ruidos de tráfico..

1. INTRODUCCIÓN

Para que el proceso de enseñanza se desarrolle de forma adecuada, una condición necesaria es que la inteligibilidad de la comunicación oral directa en las aulas sea muy buena. En las aulas, los niveles sonoros producidos por el ruido ambiental excesivo y los tiempos de reverberación elevados reducen la inteligibilidad de la palabra. Esto origina una degradación de la comprensión del mensaje sonoro y, como consecuencia, una disminución en el aprendizaje.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

El ruido en las aulas puede ser de origen externo o interno. El ruido interno está producido por los estudiantes, medios audiovisuales, ordenadores, sistemas de ventilación, etc. El ruido externo está originado por el tráfico de automóviles, trenes, aviones, obras, actividades en las aulas próximas, circulación por los pasillos, gimnasios, actividad en el patio de recreo, etc.

Una señal/ruido no adecuada, aparte de impedir el aprendizaje de los alumnos, afecta a los profesores, que deben elevar su esfuerzo vocal para aumentar la relación señal/ruido. En consecuencia, aumentan las lesiones por sobreesfuerzos en la voz y las bajas por enfermedad.

La legislación acústica española requiere que en las aulas de los edificios de uso educativo o cultural, el nivel de presión sonora continuo equivalente de inmisión resultante en los diferentes intervalos horarios no supere 40 dBA.

En esta comunicación se muestran los resultados de las mediciones del aislamiento a ruido aéreo de las fachadas de varias decenas de aulas de enseñanza secundaria en donde se han sustituido o doblado las ventanas originales. Posteriormente, se han calculado los niveles sonoros de inmisión en las aulas cuando éstas están sometidas a diferentes niveles sonoros producidos por el ruido de tráfico. Finalmente, se analiza el efecto de la mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo de las fachadas en la inteligibilidad del mensaje oral directo, cuando las aulas tienen un tiempo de reverberación superior al recomendado.

Existen varios métodos objetivos de evaluación y estimación de la inteligibilidad verbal a partir de parámetros físicos del ruido, de la palabra y del recinto. Entre los más conocidos están el Índice de Articulación, AI; el Nivel de Interferencia verbal, SIL; la Relación Señal Ruido ponderado A, el Índice de Transmisión de la Palabra, STI y la Pérdida de Articulación de Consonantes, Alcons. En este trabajo se estima la inteligibilidad verbal mediante el método SIL.

2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS DE LAS AULAS

Los ensayos acústicos se han realizado en 36 aulas. En 9 aulas se han sustituido las ventanas y en 27 se ha añadido una segunda ventana a la ventana original. Las aulas tenían el mobiliario escolar habitual: pupitres, sillas, pizarra, cortinas ligeras replegadas, etc. En la tabla 1 se indican los valores promedios del volumen, área de la fachada y del hueco de las aulas objeto del estudio, así como el sistema de apertura de las ventanas y el tipo de vidrios.

Fachadas de aulas con ventanas sustituidas							
Ventana, sistema de apertura		Vidrios		Nº casos	Volumen, m ³	Área de la fachada, m ²	Área hueco, m ²
Original	Rehabilitada	Original	Rehabilitada		Promedio	Promedio	Promedio
Deslizante H	Deslizante H	VS 4 mm	UVA 5-10-5	9	155	28	10,4
Fachadas de aulas con ventana doble. Se mantiene la ventana original, cámara de 15 a 20 cm							
Deslizante H	Deslizante H	VS 4-6 mm	VS 4-6 mm	27	159	30	10

Tabla 1: Propiedades geométricas de las aulas

Las mediciones acústicas se han realizado según la normativa correspondiente (UNE EN ISO 16283-3:2016. Acústica . Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada [1]). En las figuras 1 y 2 se representan los valores promedios de la Diferencia de niveles estandarizada de las fachadas de las aulas con las ventanas originales y con las ventanas sustituidas. En la figura 3 se muestran el tiempo de reverberación promedio de todas las aulas y sus desviaciones típicas. Los valores promedios del tiempo de reverberación de las aulas sin acondicionamiento acústico son superiores a los exigidos en el DB HR: Protección frente al ruido [2]. Los centros escolares estudiados se construyeron en la década de 1980.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

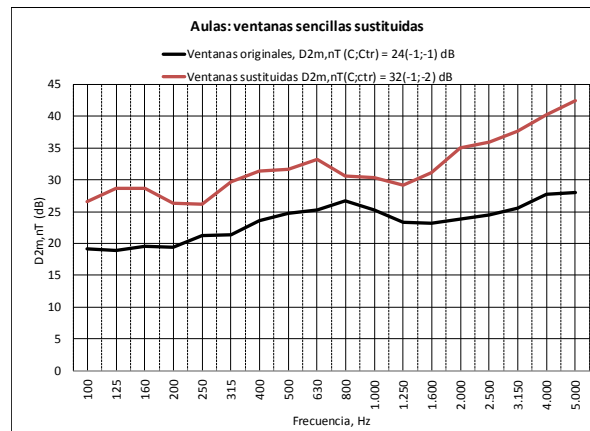


Figura 1. Diferencia de niveles estandarizada promedio de las aulas con ventanas sencillas.

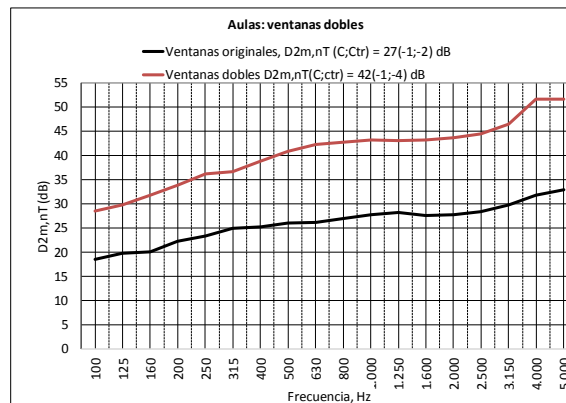


Figura 2. Diferencia de niveles estandarizada promedio de las aulas con ventanas dobles.

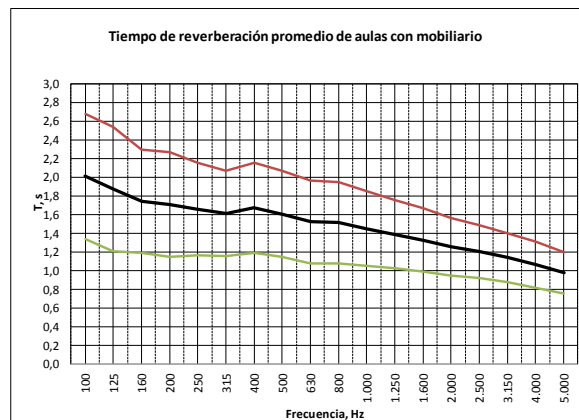


Figura 3: Tiempo de reverberación promedio de las aulas y sus desviaciones típicas

3. ESTIMACIÓN DE LA INTELIGIBILIDAD VERBAL EN LAS AULAS

Se ha realizado la estimación de la inteligibilidad mediante el método del Nivel de Interferencia Verbal, SIL (Speech Interference Level). Éste es un método sencillo para estimar o evaluar la inteligibilidad verbal en los casos de comunicación directa en un ambiente ruidoso. En este

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

método se considera la media aritmética del espectro del ruido en el ambiente, del esfuerzo vocal del orador y de la distancia entre el orador y el oyente. Este procedimiento se utiliza en situaciones en las que no pueden emplearse otros métodos de evaluación y estimación de la inteligibilidad verbal. En lo siguiente se sigue la Norma UNE-EN ISO 9921:2004. Ergonomía. Evaluación de la comunicación verbal [3,4].

El nivel de ruido de interferencia verbal L_{SIL} es el valor medio de la medida del nivel de presión sonora del ruido, en la posición del oyente, de las cuatro bandas de octava consecutivas de 500 Hz a 4 kHz y en las condiciones de ruido existentes durante el tiempo de comunicación.

El nivel de la señal verbal se determina mediante el esfuerzo vocal del orador, considerando: el nivel del ruido ambiental, el efecto de un nivel verbal elevado, el uso de un protector auditivo, la distancia y los oradores no nativos. El esfuerzo vocal del orador se representa mediante el nivel de presión sonora verbal continuo equivalente, ponderado A, a una distancia de 1 m frente a la boca del orador, $L_{S,A,1\text{ m}}$. Un ruido ambiental en el oído del orador superior a un cierto nivel de presión sonora, afecta a su esfuerzo vocal. (Efecto Lombard, 1909). Este efecto consiste en que los oradores, según el ruido ambiental en su oído, aumentan de forma espontánea su esfuerzo vocal para evitar que sus mensajes sean menos inteligibles. En la Tabla 2 se muestra la correspondencia de la evaluación de la inteligibilidad entre los métodos Nivel de Interferencia verbal, SIL y el Índice de Transmisión de la Palabra, STI.

Evaluación de la inteligibilidad	SIL	STI
	dB	
Excelente	>21	> 0,75
Buena	15 a 21	0,60 a 0,75
Suficiente	10 a 15	0,45 a 0,60
Escasa	3 a 10	0,30 a 0,45
Mala	< 3	< 0,30

Tabla 2. Evaluación de la inteligibilidad verbal mediante los métodos SIL y STI.

A continuación, en la Tabla 3, se muestran los niveles sonoros de inmisión en las aulas, cuando están sometidas a diferentes niveles sonoros exteriores producidos por el ruido de tráfico, en las situaciones ensayadas del cerramiento del hueco de fachada. La figura 4 se muestran, en bandas de frecuencia, los niveles de inmisión promedio en las aulas cuando el ruido de tráfico es de 65 dBA.

Niveles globales de inmisión en las aulas, dBA					
Niveles sonoros del tráfico	$L_{1,2m} = 55\text{ dB}$	$L_{1,2m} = 60\text{ dB}$	$L_{1,2m} = 65\text{ dB}$	$L_{1,2m} = 70\text{ dB}$	$L_{1,2m} = 75\text{ dB}$
Ventanas sin rehabilitar	31,4	36,4	41,4	46,4	51,4
Ventanas sustituidas	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5
Ventanas dobles	15,8	20,5	25,5	30,4	35,4

Tabla 3. Niveles de inmisión en las aulas para diferentes ruidos de tráfico.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

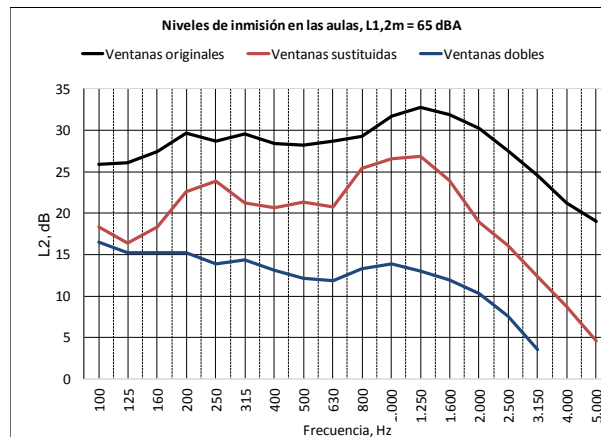


Figura 4: Niveles de inmisión promedio en las aulas, calculados cuando el ruido de tráfico es de 65 dBA.

En la Tabla 4 se exponen los valores calculados del nivel de ruido de interferencia verbal en el las aulas LSIL.

Niveles sonoros ruido de tráfico	L _{SIL} dB				
	L _{1,2m} = 55 dB	L _{1,2m} = 60 dB	L _{1,2m} = 65 dB	L _{1,2m} = 70 dB	L _{1,2m} = 75 dB
Ventanas sin rehabilitar	22,8	27,8	32,8	37,8	42,8
Ventanas sustituidas	13,7	19,1	24,2	29,2	34,2
Ventanas dobles	4,9	9,0	13,7	19,0	24,0

Tabla 4. Niveles de ruido de interferencia verbal LSIL

Finalmente, para el caso de un aula promedio sin acondicionar se analiza para diferentes distancias orador-oyente, entre 2 m y 8 m, el efecto de la mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo de las fachadas en la inteligibilidad del mensaje oral directo, cuando las aulas tienen un tiempo de reverberación superior al recomendado. En la Tabla 5 se muestran los resultados cuando el esfuerzo vocal del orador es normal, $L_{S,A,1 m} = 60$ dB y en la Tabla 6 cuando el esfuerzo vocal es elevado, $L_{S,A,1 m} = 66$ dB. En color verde se muestran las zonas con inteligibilidad excelente, en color amarillo las de inteligibilidad buena, en color morado las de inteligibilidad suficiente, y en rojo las de inteligibilidad escasa.

Esfuerzo vocal normal, aulas sin acondicionar					
		SIL			
		r = 2 m	r = 4 m	r = 6 m	r = 8 m
L _{1,2m} = 60 dB	Ventanas sin rehabilitar	26,2	20,2	16,6	14,2
	Ventanas sustituidas	34,9	28,9	25,3	22,9
	Ventanas dobles	45	39	35,4	33
L _{1,2m} = 65 dB	Ventanas sin rehabilitar	21,2	15,2	11,6	9,2
	Ventanas sustituidas	29,8	23,8	20,2	17,8
	Ventanas dobles	40,3	34,3	30,7	28,3
L _{1,2m} = 70 dB	Ventanas sin rehabilitar	16,2	10,2	6,6	4,2
	Ventanas sustituidas	24,8	18,8	15,2	12,8
	Ventanas dobles	35	29	25,4	23
L _{1,2m} = 75 dB	Ventanas sin rehabilitar	11,2	5,2		
	Ventanas sustituidas	19,8	13,8	10,2	7,8
	Ventanas dobles	30	24	20,4	18

Tabla 5. Nivel de Interferencia verbal, SIL para esfuerzo vocal normal.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Esfuerzo vocal elevado, aulas sin acondicionar					
		SIL			
		r = 2 m	r = 4 m	r = 6 m	r = 8 m
$L_{1,2m} = 60 \text{ dB}$	Ventanas sin rehabilitar	32,2	26,2	22,6	20,2
	Ventanas sustituidas	40,9	34,9	31,3	28,9
	Ventanas dobles	51	45	41,4	39
$L_{1,2m} = 65 \text{ dB}$	Ventanas sin rehabilitar	27,2	21,2	17,6	15,2
	Ventanas sustituidas	35,8	29,8	26,2	23,8
	Ventanas dobles	46,3	40,3	36,7	34,3
$L_{1,2m} = 70 \text{ dB}$	Ventanas sin rehabilitar	22,2	16,2	12,6	10,2
	Ventanas sustituidas	30,8	24,8	21,2	18,8
	Ventanas dobles	41	35	31,4	29
$L_{1,2m} = 75 \text{ dB}$	Ventanas sin rehabilitar	17,2	11,2	7,6	5,2
	Ventanas sustituidas	25,8	19,8	16,2	13,8
	Ventanas dobles	36	30	26,4	24

Tabla 6. Nivel de Interferencia verbal, SIL para esfuerzo vocal elevado.

Como se puede observar, en los recintos sin mejora del aislamiento acústico, para un esfuerzo vocal normal, la inteligibilidad del mensaje presenta ciertos problemas, incluso para distancia relativamente cercanas y niveles de ruido exterior bajos. Estos problemas se incrementan a medida que se aumenta el nivel de ruido exterior y la distancia entre el oyente y el orador. Para un esfuerzo vocal elevado, la inteligibilidad es más elevada en todos los casos, si bien para niveles de ruido exterior elevados, pero verosímiles, la inteligibilidad sigue siendo escasa. En ambos casos, la aplicación de mejoras del aislamiento acústico repercute en una mejora sustancial de la inteligibilidad, siendo más evidente para el caso de doblado de ventanas.

4. CONCLUSIONES

Las aulas son recintos destinados a la concentración donde, además, la inteligibilidad debe ser elevada para facilitar la comprensión de las exposiciones orales. Incluso en aulas donde el tiempo de reverberación es adecuado, un deficiente aislamiento acústico, puede afectar a la inteligibilidad del mensaje oral directo. Por ello, bajos niveles de inmisión son deseables.

La mejora del aislamiento a ruido aéreo de la fachada del aula, y su consiguiente reducción de los niveles de inmisión, es una condición necesaria pero no suficiente para la mejora de la inteligibilidad del mensaje oral en las aulas. En conjunto con un tiempo de reverberación adecuado, ambas definen la calidad acústica del recinto.

Además, el incremento de la inteligibilidad, derivado de la mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo de la fachada del aula, puede tener efectos beneficiosos sobre algunas patologías vocales habituales del profesorado. Como se ha podido observar en las tablas 5 y 6, en aquellos recintos con mejoras del aislamiento acústico, ante un esfuerzo vocal normal, la mejora de la inteligibilidad es sustancial incluso ante niveles exteriores elevados, siendo especialmente destacable la mejora de la inteligibilidad cuando se dobla el aislamiento.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

5. REFERENCIAS

- [1] UNE-EN ISO 16283-3:2016 Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada. Asociación Española de Normalización y Certificación; 2016.
- [2] DB-HR: Protección contra el ruido. Código Técnico la Edif., 2009.
- [3] UNE-EN ISO 9921:2004. Ergonomía. Evaluación de la comunicación verbal. Asociación Española de Normalización y Certificación; 2004.
- [4] Lazarus H. New methods for describing and assessing direct speech communication under disturbing conditions. Environ Int 1990. doi:10.1016/0160-4120(90)90006-R.