

LA ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA COMO HERRAMIENTA PARA PREVENIR EL DESARROLLO DE TRASTORNOS DE LA VOZ EN EL ÁMBITO DOCENTE. APLICACIÓN EN UN AULA DE LA UPV

PACS: 43.55.Gx, 43.55.Ka, 43.55.Rg, 43.70.Gr.

Díaz Rubio, Elena¹; Uris Martínez, Antonio¹; Segura García, Jaume²; Cerdá Jordá, Salvador¹; Fayos Jordá, Rafael¹; Cibrián Ortiz De Anda, Rosa María³, Giménez Pérez, Alicia¹.

¹ Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, camino de vera s/n, 46022, Valencia, España, eldaru@alumni.upv.es, auris@fis.upv.es, salcerjo@gmail.com, rafael.fayos@uv.es, agimenez@fis.upv.es.

² Departamento de Informática, Universidad de Valencia, avenida Blasco Ibáñez, 13, 46010, Valencia, España, jsegura@uv.es.

³ Departamento de Fisiología, Universidad de Valencia, avenida Blasco Ibáñez, 13, 46010, Valencia, España, rosa.m.cibrian@uv.es.

Palabras Clave: acústica, simulación, aulas, profesores, disfonía.

ABSTRACT

During the working hours, teachers are exposed to multiple risks to their safety and health. Among them, we find the risk of suffering from vocal cord nodules, an occupational disease related to activities that require continuous and sustained use of the voice. The development of voice disorders is influenced by multiple factors, among which we find the acoustic conditions of the workplace. In this area, different authors have carried out experimental studies with the aim of determining the optimum acoustic conditions in classrooms to guarantee the vocal health of teachers.

With all this, in this study the acoustic conditions of a classroom at the Universitat Politècnica de València have been analyzed. Based on the data obtained in the acoustic measurements, a proposal to improve the conditioning and acoustic insulation of the classroom has been made, as a preventive measure to reduce the risk of developing voice disorders.

RESUMEN

Los docentes están expuestos, a lo largo de su jornada laboral, a múltiples riesgos para su seguridad y salud. Entre ellos, encontramos el riesgo de padecer nódulos en las cuerdas vocales, enfermedad profesional relacionada con actividades que precisan un uso continuo y mantenido de la voz. El desarrollo de trastornos en la voz está influenciado por múltiples factores, dentro de los cuales encontramos las condiciones acústicas del lugar de trabajo. En este ámbito, diferentes autores han realizado estudios experimentales con el objetivo de determinar las condiciones acústicas óptimas de las aulas para garantizar la salud vocal de los docentes.

Con todo ello, en este estudio se han analizado las condiciones acústicas de un aula de la Universitat Politècnica de València. A partir de los datos obtenidos en la medición acústica, se ha realizado una propuesta de mejora del acondicionamiento y aislamiento acústico, como medida preventiva para reducir el riesgo de desarrollo de trastornos de la voz.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, encontramos numerosas aulas con unas condiciones acústicas deficientes. Este hecho, aparte de los problemas que genera en el aprendizaje del alumnado, aumenta el riesgo de sufrir trastornos de la voz en el profesorado. Por ello, es de vital importancia realizar un correcto diseño acústico de las aulas con el fin de garantizar la salud vocal de los docentes.

Un excesivo ruido de fondo en las aulas es un factor de riesgo en el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado. Siguiendo el efecto Lombard, los profesores tienden a aumentar su intensidad vocal con el aumento del ruido de la actividad, lo que a largo plazo puede derivar en daños en las cuerdas vocales. Por otro lado, el tiempo de reverberación de las aulas es un parámetro que influye en el esfuerzo vocal del profesorado. Los tiempos de reverberación excesivamente largos, dificultan la inteligibilidad del habla, pues se generan una serie de sonidos reverberantes que se superponen a la señal directa de la voz del profesor, generando un aumento del ruido de fondo. En estas circunstancias, los profesores tienden a aumentar el nivel de presión sonora de su voz para poder ser comprendidos correctamente por los alumnos. Asimismo, los tiempos de reverberación excesivamente bajos provocan que la intensidad sonora sea menor en cada punto del aula, por lo que los profesores tienden igualmente a elevar el nivel de voz.

Diferentes autores han realizado investigaciones para determinar el diseño acústico óptimo de las aulas para garantizar la salud vocal del profesorado. En este sentido, destaca el estudio realizado por D. Pelegrin-García y J. Brunskog, quienes determinaron los valores óptimos del tiempo de reverberación en función del número de estudiantes y del volumen de las aulas. Según su estudio, para aulas de 10 alumnos y volúmenes entre 60 y 170 m³, el tiempo de reverberación en condiciones de ocupación debe estar entre 0,5 y 0,65 segundos, mientras que, para aulas con 40 alumnos y volúmenes entre 240 y 280 m³, el tiempo de reverberación debe estar entre 0,7 y 0,75 segundos [1].

En un estudio posterior, D. Pelegrin-García et al. establecieron que los valores recomendados de tiempo de reverberación para métodos de enseñanza flexibles están entre 0,45 y 0,6 segundos en aulas completamente ocupadas y entre 0,6 y 0,7 segundos en estado desocupado pero amueblado, para aulas con menos de 40 estudiantes y volúmenes por debajo de 210 m³. Al diseñar aulas más grandes, un estudio acústico específico que tenga en cuenta consideraciones sobre la geometría, el material y la ubicación del orador/público puede ayudar a proporcionar una buena inteligibilidad del habla en la audiencia, al tiempo que aumenta el soporte de la voz y reduce el esfuerzo vocal [2].

G. Puglisi et al. determinaron, en su estudio sobre el uso ocupacional de la voz en las aulas, que el tiempo de reverberación óptimo para minimizar el esfuerzo vocal es de 0,7 segundos. Encontraron que los profesores tienden a levantar la voz con tiempos de reverberación más bajos y altos [3]. Por su parte, G. Calosso et al. determinaron, en su estudio longitudinal sobre los parámetros de voz de los profesores y la influencia de la acústica de las aulas, que el valor mínimo de nivel de presión sonora de las voces de los profesores se corresponde con un tiempo de reverberación medio de 0,8 segundos [4].

A modo de resumen y teniendo en cuenta las investigaciones analizadas, en la Tabla 1 se indican los tiempos de reverberación óptimos en el diseño de las aulas para reducir el esfuerzo vocal de los profesores y prevenir el desarrollo de trastornos de la voz.

Tabla 1 – Tiempos de reverberación óptimos para minimizar el esfuerzo vocal de los profesores.

Autor/ autores	Características del aula	T_R óptimo (s)
Pelegrin-Garcia y J. Brunskog [1]	10 alumnos, volumen 60 -170 m ³ , sala ocupada	0,5-0,65
	40 alumnos, volumen 240 -280 m ³ , sala ocupada	0,7-0,75
	Más de 50 alumnos, volumen >280 m ³	-
D. Pelegrin-García et al [2]	Menos de 40 alumnos, volumen inferior a 210 m ³ , sala ocupada	0,45-0,6
	Menos de 40 alumnos, volumen inferior a 210 m ³ , sala desocupada pero amueblada	0,6-0,7
	Más de 40 alumnos, volumen > 210 m ³	-
G. Puglisi et al. [3]	-	0,7
G. Calosso et al. [4]	-	0,8

Cabe destacar que estos resultados están en consonancia con resultados obtenidos para los tiempos de reverberación óptimos en el diseño acústico de aulas de enseñanza para garantizar una adecuada inteligibilidad del habla, lo que favorece la comprensión del alumnado. En este sentido, S. Bistafa y J. Bradley establecen que el tiempo de reverberación óptimo en aulas en estado desocupado y con una relación señal-ruido de 10 dB es de 0,5 segundos para un volumen de 100m³, 0,7 segundos para un volumen de 300 m³ y 0,8 segundos para un volumen de 500 m³ [5], según se indica en la Tabla 2. Estos resultados muestran que es posible diseñar acústicamente aulas que, por un lado, favorezcan la transmisión de la palabra y una adecuada comprensión del alumnado y, por otro, minimicen el esfuerzo vocal del profesorado para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz.

Tabla 2 – Tiempos de reverberación óptimos para obtener una adecuada inteligibilidad del habla.

Autor/ autores	Características del aula	T_R óptimo (s)
S. Bistafa y J. Bradley [5]	Volumen 100m ³ , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	0,5
	Volumen 300m ³ , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	0,7
	Volumen 500m ³ , relación señal-ruido de 10dB, sala desocupada.	0,8

Con todo ello, este estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento acústico de un aula de la Universitat Politècnica de València y realizar una propuesta de mejora acústica. Las medidas irán dirigidas en dos sentidos: la mejora del aislamiento acústico con el aula contigua para reducir el ruido de fondo y la mejora del acondicionamiento acústico del aula mediante la aproximación del tiempo de reverberación a los valores óptimos para prevenir el desarrollo de problemas en la voz. El aula estudiada está ubicada en el Aulario 0 de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (edificio 5N), dentro del Campus de Vera de la Universitat Politècnica de València. Se trata de un recinto de 9,8m de anchura, 15,6 m de profundidad y 3 m de altura, generando un volumen de 458,6m³. Teniendo en cuenta la distribución del mobiliario, el aula tiene una capacidad máxima de 96 alumnos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Toma de datos geométricos

La información sobre la geometría del recinto se ha obtenido a partir de su planimetría, complementando y verificando la información con mediciones in situ. Para ello, se ha contado con la planta de replanteo de la tabiquería del proyecto de ejecución del edificio, facilitada por la Oficina Técnica de la Universitat Politècnica de València. Para las mediciones in situ, se ha utilizado un láser de medición modelo *Leica DISTO Classic*.

2.2. Toma de datos acústicos

En la medición acústica, se empleó una fuente dodecaédrica omnidireccional modelo *DO12* y un sonómetro modelo *CESVA CS310*. Para determinar el acondicionamiento acústico del aula, se realizó una medición in situ del tiempo de reverberación, T_R , del aula, tomando en consideración los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO-3382-1 [6]. La fuente sonora se ubicó donde se sitúa generalmente la fuente de sonido natural (profesor) y los puntos de medida se ubicaron en posiciones representativas de la zona de los oyentes (alumnado), según se muestra en la Figura 1(a). Para el estudio del aislamiento acústico a ruido aéreo, se realizó una medición in situ entre el aula estudiada y la contigua, tomando en consideración los criterios establecidos en la norma UNE-EN ISO 16283-1 [7]. Se establecieron 5 puntos de medición en cada una de las aulas y dos posiciones de la fuente sonora, según se muestra en la Figura 1(b). En el recinto emisor, se generó un ruido de amplio espectro y se registraron con el sonómetro los niveles de presión sonora del local emisor, L_1 , y del local receptor, L_2 , para cada punto de medida y para cada una de las posiciones de la fuente sonora. En el local receptor, se midió con el sonómetro el nivel de ruido de fondo, L_F , en cada uno de los puntos de medida.

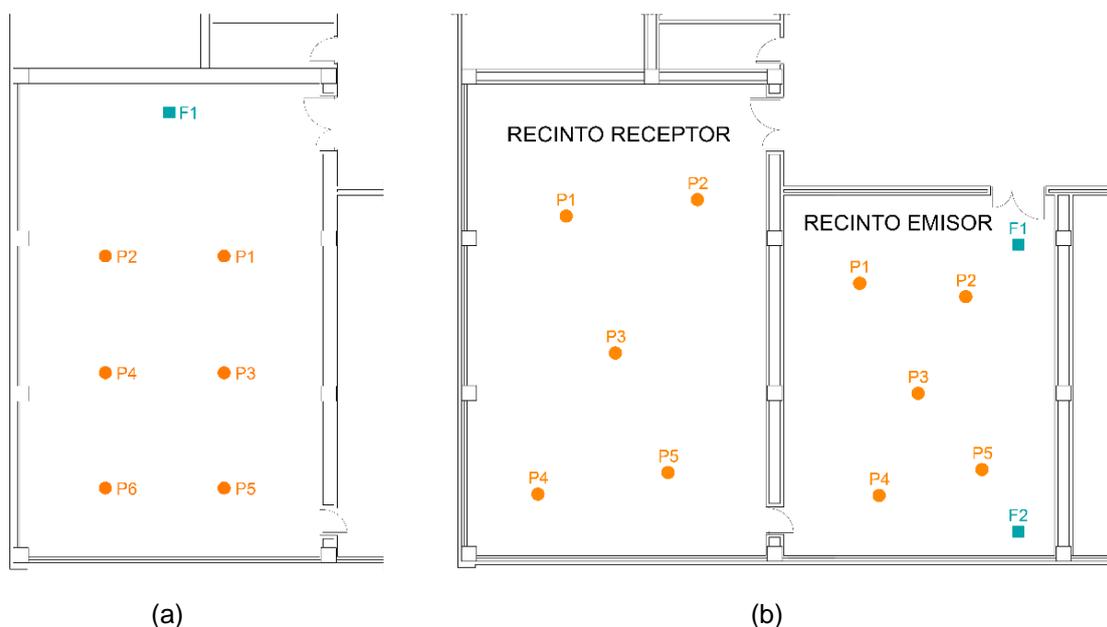


Figura 1 – Ubicación de la fuente y los puntos de medida: (a) medición del tiempo de reverberación, (b) medición del nivel de presión sonora y el nivel de ruido de fondo.

2.3. Simulación acústica

Para la propuesta de mejora del acondicionamiento acústico, se ha realizado la simulación acústica del aula con el objetivo de conocer el resultado de la intervención antes de su realización práctica. Partiendo de los datos obtenidos de los planos y las mediciones in situ, se ha levantado un modelo en 3D del aula, utilizado los programas informáticos *AutoCad* y *SketchUp* (Figura 2). El modelo en 3D del aula, se ha exportado al programa acústico *Odeon* para realizar su calibración. El proceso de calibrado consiste en asignar unas características acústicas determinadas a cada una de las superficies del modelo teniendo en cuenta los materiales reales, de tal modo que el tiempo de reverberación simulado coincida o esté muy próximo al determinado experimentalmente.

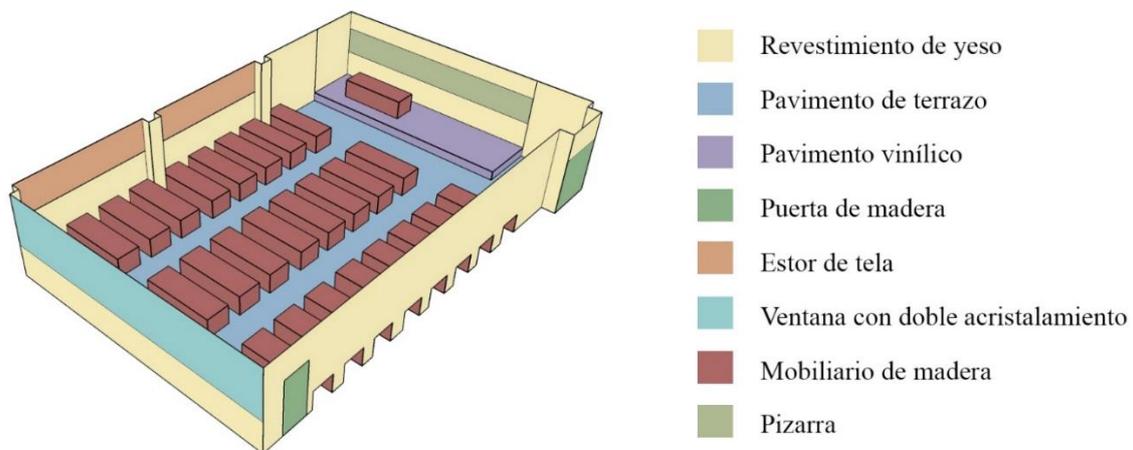


Figura 2 – Distribución por capas del modelo acústico simplificado.

3. RESULTADOS

3.1. Umbral diferencial, *JND*

En la Tabla 3, se indican valores de absorción aplicados a cada una de las capas del modelo acústico, tomando en consideración los resultados obtenidos mediante ensayos normalizados [8].

Para que la calibración del modelo acústico sea válida, la diferencia entre el tiempo de reverberación medido y simulado no debe ser perceptible para el oído humano. La norma UNE-EN ISO-3382-1 establece el umbral diferencial (*JND*, *Just Noticeable Difference*) para el tiempo de reverberación (promedio a frecuencias 500 - 1.000 Hz) en un 5%. A partir de este porcentaje, las diferencias del tiempo de reverberación son perceptibles para el oído humano [6]. En la Tabla 4, se muestra el cálculo del *JND* para cada uno de los puntos de medidas. Como puede observarse, todos los valores de *JND* son inferiores a la unidad, es decir, el error relativo es inferior al 5%. Con ello, se puede determinar que las diferencias acústicas entre el modelo real y el simulado no son perceptibles para el oído humano, resultando válida la calibración realizada.

Tabla 3 – Coeficiente de absorción de los diferentes materiales por frecuencias.

Materiales	Absorción de los materiales por frecuencias (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Revestimiento de yeso ¹	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
Pavimento de terrazo ¹	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Pavimento vinílico ²	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta de madera ¹	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10
Estor de tela ¹	0,10	0,38	0,63	0,52	0,55	0,65
Ventana con doble acristalamiento ¹	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02
Mobiliario de madera (aula vacía) ¹	0,05	0,08	0,10	0,12	0,12	0,12
Mobiliario de madera (aula ocupada) ¹	0,24	0,40	0,78	0,98	0,96	0,87
Pizarra ²	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Falso techo desmontable ²	0,30	0,32	0,35	0,35	0,34	0,34

¹ Vörländer, 2008 [8].

² Ajustado durante el proceso de calibración.

Tabla 4 – Cálculo del *JND* para cada punto de medida.

Punto de medida	Promedio 500-1000 Hz		Error absoluto	Error relativo (%)	<i>JND</i>
	T_R medido (s)	T_R simulado (s)			
1	0,90	0,91	0,01	1,11	0,22
2	0,90	0,92	0,02	1,67	0,33
3	0,91	0,92	0,01	1,66	0,33
4	0,92	0,90	0,02	2,19	0,44
5	0,91	0,95	0,04	4,42	0,88
6	0,92	0,89	0,03	3,26	0,65

3.2. Acondicionamiento acústico del aula

En la Figura 3(a), se han representado los tiempos de reverberación por frecuencias para los 6 puntos de medida, en comparación con los tiempos de reverberación óptimos para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado. Teniendo en cuenta las investigaciones analizadas y las características y dimensiones del aula, se han tomado como valores óptimos los comprendidos entre 0,65 y 0,75 segundos. Asimismo, estos valores resultan adecuados para obtener una adecuada inteligibilidad del habla, lo que facilita la labor docente y la comprensión del alumnado. Como puede observarse, los tiempos de reverberación obtenidos son superiores a los valores recomendables, por lo que la propuesta de intervención acústica tiene que ir dirigida a aumentar la absorción de los revestimientos.

Ante esta situación, se ha optado por sustituir el falso techo existente por otro con un mayor coeficiente de absorción acústica. Tras realizar diversas simulaciones acústicas con falsos techos comerciales de diferentes características acústicas, se ha optado por el panel acústico Decustik D+001 [9]. Se trata de un panel ranurado de óptimas cualidades acústicas, que se puede instalar tanto en techos como en paredes. En la Figura 3(b), se muestra una comparativa entre el tiempo de reverberación promedio en el estado actual del aula, obtenido de la medición acústica, y el tiempo de reverberación promedio con la incorporación de los paneles acústicos, calculado mediante simulaciones acústicas. Como puede apreciarse, el tiempo de reverberación

con la mejora acústica está dentro de los valores óptimos para prevenir el desarrollo de trastornos en la voz en el profesorado.

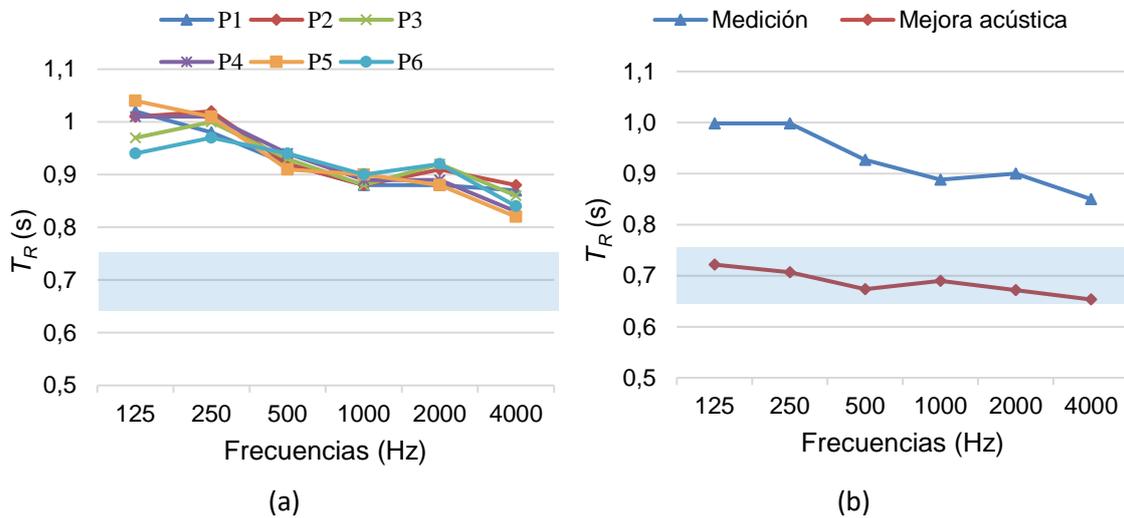


Figura 3 – (a) Tiempos de reverberación por frecuencias para los 6 puntos de medida. (b) Tiempo de reverberación promedio actual y con la mejora acústica.

En la Tabla 5, se muestran los valores del parámetro STI con y sin la mejora acústica, obtenidos a partir de simulaciones acústicas realizadas con el software *Odeon*. Los resultados obtenidos muestran que la mejora acústica propuesta resulta favorable para la inteligibilidad de la palabra, lo que confirma la posibilidad de diseñar acústicamente aulas pensando tanto en las necesidades de los oradores (profesores) como en las de los oyentes (alumnos).

Tabla 5 – Valores del parámetro STI con y sin la mejora acústica.

Punto de medida	STI (sin la mejora acústica)		STI (con la mejora acústica)	
1	0,62	buena	0,77	excelente
2	0,63	buena	0,79	excelente
3	0,58	aceptable	0,74	buena
4	0,58	aceptable	0,73	buena
5	0,59	aceptable	0,77	excelente
6	0,59	aceptable	0,76	excelente

3.3. Aislamiento acústico a ruido aéreo del aula

Partiendo de los datos obtenidos, se han calculado los valores promedio del nivel de presión sonora del recinto emisor, L_1 , el nivel de presión sonora de recinto receptor, L_2 , y el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor, L_F , mediante la aplicación de la Ecuación 1,

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

donde L_j son los niveles de presión sonora en n posiciones diferentes dentro del recinto.

Una vez obtenidos los valores promedio por frecuencia, se ha calculado el nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido con el nivel de ruido de fondo, L_{2C} , mediante la aplicación de la Ecuación 2,

$$L = 10 \log \left(10^{L_2/10} - 10^{L_F/10} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

donde L_2 es el nivel de presión sonora en el recinto receptor y L_F el nivel de ruido de fondo en el recinto receptor.

La diferencia de nivel estandarizada, D_{nT} , se ha obtenido mediante la aplicación de la Ecuación 3,

$$D_{nT} = L_1 - L_{2C} + 10 \log \left(\frac{T_R}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

donde L_1 es el nivel de presión sonora en el recinto emisor, L_{2C} el nivel de presión sonora en el recinto receptor corregido, T_R el tiempo de reverberación en el recinto receptor y T_0 el tiempo de reverberación de referencia (0,5 s).

En la Tabla 6, se recopilan los resultados obtenidos durante el proceso de cálculo del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Tabla 6 – Cálculo de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_1 (dB)	46,5	46,8	43,8	36,9	31,6	24,5
L_2 (dB)	101,2	103,7	105,8	101,3	100,5	95,8
L_F (dB)	71,4	69,6	68,8	60,2	57,6	53,7
L_{2C} (dB)	71,4	69,6	68,8	60,2	57,6	53,7
T_R (s)	1,00	1,00	0,93	0,89	0,90	0,85
D_{nT} (dB)	32,8	37,1	39,7	43,6	45,5	44,5

En la Tabla 7, se indican los valores del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, por frecuencias, obtenidos del Documento de Apoyo al Documento Básico de Protección contra el ruido (DA DB-HR) [10].

Tabla 7 – Espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, por frecuencias (DA DB-HR).

Frecuencias (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_{Ar} (dBA)	-27,1	-19,6	-14,2	-11	-9,8	-10

La diferencia de nivel global estandarizada, ponderada en A, $D_{nT,A}$, se ha obtenido mediante la aplicación de la Ecuación 4,

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \text{ dBA} \quad (4)$$

donde $D_{nT,i}$ es la diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i , y $L_{Ar,i}$ el valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado en A, en la banda de frecuencia i .

$$D_{nT,A} = 48 \text{ dBA}$$

Con el objetivo de garantizar un aislamiento a ruido aéreo adecuado, el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE), establece unos valores mínimos de aislamiento acústico que deben cumplir los elementos constructivos de separación en función del tipo de recinto. En el ámbito docente, el DB-HR establece que las aulas son recintos protegidos, es decir, recintos habitables donde se deben garantizar unas condiciones acústicas óptimas. Además, cada una de las aulas o salas de conferencias constituyen una unidad de uso diferenciada. Para garantizar la protección frente al ruido generado entre un recinto protegido y cualquier otro recinto habitable o protegido no pertenecientes a la misma unidad de uso, como es el caso de las aulas analizadas, el DB-HR establece que el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A, $D_{nT,A}$, no debe ser menor que 50 dBA [11].

En el aula estudiada, el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A, $D_{nT,A}$, es 48 dBA. Si bien el valor es próximo al mínimo de 50 dBA establecido en el DB-HR, cabe realizar ciertas mejoras para alcanzar, e incluso mejorar, el valor mínimo establecido. Para ello, se proponen las siguientes medidas:

- Actuar sobre el elemento de menor aislamiento acústico, es decir, la puerta de paso entre las aulas. En este punto, cabe plantearse dos opciones:
 - o Cambiar la puerta por otra con unas altas prestaciones acústicas.
 - o Eliminar la puerta de paso, continuando las tres capas de la partición múltiple.
- Revisar la unión entre la partición y el forjado, con el objetivo de detectar posibles huecos o perforaciones que puedan reducir el aislamiento acústico global de la partición.
- Si con las medidas anteriores no se alcanza el valor mínimo de 50 dBA, o bien busca obtener un aislamiento superior, cabe la posibilidad de instalar un trasdosado con un alto nivel de reducción acústica sobre la partición existente.

4. CONCLUSIONES

El estudio del acondicionamiento acústico del aula muestra que los valores del tiempo de reverberación, T_R , son superiores a los recomendados para prevenir el desarrollo de trastornos de la voz en el profesorado (0,65-0,75s). Ante esta situación, se ha propuesto cambiar el falso techo del aula por otro de mayor absorción acústica. Para la elección del techo acústico, se han realizado simulaciones acústicas del aula con diferentes paneles acústicos comerciales. Además, analizando el índice de transmisión de la voz, STI , se ha observado que la mejora acústica propuesta resulta favorable para la inteligibilidad de la palabra, lo que confirma la posibilidad de diseñar acústicamente aulas pensando tanto en las necesidades de los profesores como en las de los alumnos.

En el estudio del aislamiento acústico, se ha calculado el aislamiento acústico a ruido aéreo entre el aula estudiada y el aula contigua. Los resultados muestran que el aislamiento acústico a ruido aéreo, ponderado en A, $D_{nT,A}$, es inferior que el valor mínimo de 50 dBA establecido en el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación (CTE) [11]. Ante esta situación, se han propuesto una serie mejoras para aumentar la reducción acústica de la partición entre las aulas, con el objetivo de alcanzar, e incluso mejorar, el valor mínimo de 50 dBA de aislamiento acústico a ruido aéreo.

Un adecuado diseño acústico de las aulas reduce el riesgo de sufrir trastornos en la voz en el profesorado, además de facilitar la labor docente al mejorar la inteligibilidad del habla en el recinto. En la mayoría de los casos, una acústica adecuada es suficiente para garantizar la salud vocal del profesorado. No obstante, en aquellos casos particulares en los que estas medidas no sean suficientes, como puede ser el caso de profesores con patologías previas en la voz o aulas que por su tamaño o características requieren un esfuerzo vocal excesivo por parte del profesorado, se deberá realizar un estudio específico y valorar la necesidad de utilizar amplificadores de la voz.

REFERENCIAS

- [1] Pelegrín-García, D.; Brunskog, J. Classroom acoustics design guidelines based on the optimization of speaker conditions. *Proceedings - European Conference on Noise Control*, 2012 61–66. <https://doi.org/10.3813/AAA.918787>
- [2] Pelegrín-García, D.; Brunskog, J.; Rasmussen, B. Speaker-oriented classroom acoustics design guidelines in the context of current regulations in European countries. *Acta Acustica United with Acustica*, 100(6), 2014, 1073–1089. <https://doi.org/10.1121/1.3533839>
- [3] Puglisi, G. E.; Astolfi, A.; Cantor Cutiva, L. C.; Carullo, A. Four-day-follow-up study on the voice monitoring of primary school teachers: Relationships with conversational task and classroom acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(1), 2017, 441–452. <https://doi.org/10.1121/1.4973805>
- [4] Calosso, G.; Puglisi, G. E.; Astolfi, A.; Castellana, A.; Carullo, A.; Pellerrey, F. A one-school year longitudinal study of secondary school teachers' voice parameters and the influence of classroom acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(2), 2017, 1055–1066. <https://doi.org/10.1121/1.4998707>
- [5] Bistafa, S. R.; Bradley, J. S. Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(2), 2000, 861–875. <https://doi.org/10.1121/1.428268>
- [6] UNE-EN ISO 3382-1:2010. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009)
- [7] UNE-EN ISO 16283-1:2014. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 16283-1:2014).
- [8] Vorländer, M. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. 2008.
- [9] Decustik®. Ficha técnica de producto, Panel acústico Decustik D+001. https://www.decustik.com/arxiu/docs/FTP_D+001_2015_es.pdf
- [10] Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación. Guía de uso de las magnitudes de aislamiento acústico en relación con las exigencias. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HR/DA-DBHR-1.pdf>
- [11] Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HR/DBHR.pdf>