

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE AULAS. COMPARATIVA DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA INTELIGIBILIDAD

**Lidia Álvarez Morales, Jesús Calabria Ordóñez, Carlos G. Martín Cruzado, Salvador Luna
Ramírez, Alfonso D. Ortega Valle, Gloria M. Valverde**

calvarez6@us.es, jesus@genuix.es, carlos@genuix.es, sluna@ic.uma.es, alfonso@genuix.es, cenag110@acciona.com

Resumen

En esta comunicación se analiza la caracterización acústica de ocho aulas docentes de la Facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla y se proponen distintas intervenciones para la mejora de la inteligibilidad.

Con el objetivo de simplificar el análisis, el estudio acústico se ha realizado tras una clasificación previa de las aulas en grupos, atendiendo a similitudes geométricas y acústicas. Tras dicha clasificación, se proponen y simulan distintas estrategias de mejora de la inteligibilidad a aplicar en aulas pertenecientes a un mismo grupo-tipo. Estas estrategias están basadas en la instalación de materiales con un buen comportamiento acústico. El objetivo de aplicar distintas soluciones a recintos acústicamente similares es poder evaluar in-situ las prestaciones de cada solución para la mejora de la inteligibilidad y confort acústico, una vez instaladas.

Palabras-clave: aulas, inteligibilidad, confort acústico, acondicionamiento acústico.

Abstract

In this communication, eight classrooms of the Faculty of Philosophy and Psychology at the University of Seville has been acoustically characterized. Several designs are also proposed with the aim of improving their intelligibility.

In order to simplify the analysis, the acoustic study has been made after a previous classification of the classrooms in several groups, based on geometric and acoustic similarities. After classification, with the aim of improving the intelligibility, different strategies are defined to be applied to identical classrooms. These strategies are based on the installation of materials with a good acoustical behavior. The aim of applying different solutions to similar acoustic enclosures is to assess the in-situ performance of each solution in order to improve intelligibility and acoustic comfort, once installed.

Keywords: classrooms, intelligibility, acoustic comfort, soundproofing.

PACS no. 43.55.Gx

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. En estos casos el rendimiento académico puede verse comprometido: disminuye la comprensión del habla, aparecen signos de fatiga en el docente y le cuesta mantener la concentración, se crean problemas de atención en el alumnado, especialmente si tienen audición reducida, o algún tipo de trastorno o estudian en una segunda lengua [1][2].

En 2001, Picard y Bradley [3] concluyeron un profundo estudio sobre la importancia de las características acústicas en las aulas, aportando una revisión bibliográfica de lo que se había publicado hasta el momento. Desde entonces, muchos investigadores se han ocupado del tema y han centrado su trabajo en recopilar una serie de pautas y consideraciones que permitan mejorar la inteligibilidad dentro de las aulas docentes y lograr que se alcance cierto grado de confort acústico, tanto en aulas escolares [1][4-6], como en aulas universitarias [7-10]. La mayoría de estos estudios se centran en buscar soluciones para mejorar la acústica de aulas ya existentes, a pesar de que es de sobra conocido que el coste de la adecuación de un recinto mal diseñado es muy superior que al considerarlo en la fase de diseño.

El objetivo de esta comunicación es caracterizar la acústica de ocho aulas de la facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla, analizar su adecuación al uso de la palabra y determinar qué aporta el apoyo electroacústico existente en cada una de ellas si es que lo hubiere. Partiendo de estas condiciones acústicas iniciales, se propondrán una serie mejoras, utilizando dos alternativas, el uso de distintos tipos de materiales acústicos, y la incorporación de un sistema de refuerzo sonoro distinto al actualmente existente en las aulas sometidas a estudio. Dichas propuestas se valorarán analizando la simulación acústica de las mismas sobre un modelo geométrico simplificado de las aulas, previamente validado de forma que, en condiciones iniciales, el tiempo de reverberación simulado en el aula no difiera más del 5% (valor de un JND, *just noticeable difference*) del valor del tiempo de reverberación medido in situ.

2 Caracterización inicial

2.1 Descripción de las aulas

Se han caracterizado un total de ocho aulas de la facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla. El edificio se encuentra integrado en el campus, rodeado de otras facultades y escuelas. Las aulas colindan interiormente con otras aulas a través de sus paramentos laterales y con un pasillo a través del paramento en el que se sitúa la puerta de entrada. Exteriormente colindan con los aparcamientos de la facultad.

Todas las aulas tienen el mismo acabado. Los revestimientos verticales están enfoscados con mortero de cemento y enlucido de yeso, con pintura de acabado mate color blanco. El suelo es de losa de terrazo blanco de 40x40 cm y el techo es de placa de escayola pintada también en blanco. Las ventanas son de carpintería metálica de aluminio de 70 mm con acabado lacado de esmalte de poliéster para exterior de aplicación eléctrica, con capa de 60 micras, con parte fijas y correderas con rodillos regulables, premarco de acero galvanizado de 60x15 mm y vidrio de 10 mm Tienen puertas abatibles

de una o dos hojas de tablón de aglomerado con contrachapado exterior, acabado pintado y un espesor total de 3 cm. En la Figura 1 se muestran a modo de ejemplo imágenes de las aulas estudiadas.



Figura 1. Vistas desde la tarima del Aula 6 (izquierda) y desde el fondo del Aula 10 (derecha).

Las aulas se clasificaron en 4 grupos atendiendo a sus características geométricas y de mobiliario. La Tabla 1 muestra sus características geométricas más representativas. El grupo I está formado por cuatro aulas situadas en la planta baja del edificio, A1, A6, A7 y A8; el grupo II incluye las aulas de la primera planta A10 y A11; y los seminarios S1 y S2 son considerados recintos únicos, y por tanto forman el grupo III y IV respectivamente. Cabe señalar que el sistema de apoyo electroacústico existente varía entre aulas pertenecientes a un mismo grupo.

Tabla 1. Características geométricas de las aulas. Clasificación

Parámetros	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
V [m ³]	437	511	319	210
S _{aud} [m ²]	89	103,50	65	42,90
Altura máxima [m]	4,90	7,30	4,90	4,90
Anchura máxima [m]	7,70	8,63	5,65	3,70
Longitud máxima [m]	11,60	12	11,53	11,60
Nº de asientos	60	70	30	24

2.2 Ensayo acústico

El procedimiento de ensayo usado para caracterizar la acústica de las aulas en el estado inicial y para determinar si el sistema de apoyo electroacústico existente en cada una de ellas era el adecuado ha consistido, a grandes rasgos, en realizar un análisis geométrico de cada aula para definir las posiciones de fuente y receptores a considerar, y caracterizar la respuesta al impulso (RI), tanto monoaural como binaural, en dichos puntos, con y sin apoyo electroacústico. Todo ello siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma UNE-EN-ISO 3382 [11][12].

Dichas RI se han obtenido excitando la sala con una señal sinusoidal de barrido en frecuencia con ponderación rosa. Para calcular la RI en cada punto, se han considerado 4 repeticiones de 2,9 s de duración, una de pre-excitación del recinto y otras tres con las que se realiza un promediado para mejorar la relación señal-ruido. Tanto la RI en cada punto de medida definido en la sala, como los parámetros acústicos estudiados, se han obtenido con el software de medición y análisis *EASERA* (*Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis*)[13].

La fuente omnidireccional (marca *Rivas* modelo *RSAN-DAV*, junto con un amplificador *Behringer Europower EP 2500*) fue situada junto al encerado a 1,50 metros del suelo, en una posición similar a que probablemente ocupara el docente. El micrófono usado para captar la señal sonora (Micrófono de patrón omnidireccional *AudixTR40*) se colocó a 1,20 metros del suelo, altura media a la que se encuentran los pabellones auditivos de una persona sentada, en los puntos de medida seleccionados. La tarjeta de sonido empleada ha sido la *EDIROL UA-25 EX CW*. Antes y después de cada proceso de medición los micrófonos fueron calibrados. La Tabla 2 recoge todos los datos relacionados con la sesión de medidas.

Tabla 2. Resumen de los datos principales de la sesión de medidas

Normativa aplicada	UNE-EN-ISO 3382-1/3382-2
Fecha de medición	19/12/2010
Condiciones ambientales (T ^a / Humedad relativa)	14-18°C / 51-65%
Nivel de ocupación del recinto	Desocupado
Aulas estudiadas (A=Aula; S=Seminario)	Aulas planta baja: A1, S1, A6, A7, A8, S2 Aulas primera planta: A10, A11
Nº Posiciones de fuente por aula ($h_F = 1,50\ m$)	Fuente omnidireccional: 2 posiciones Sistema de apoyo electroacústico
Nº Total Puntos de medida por aula ($h_R = 1,20\ m$)	Grupo I: 12 Grupo III: 9 Grupo II: 16 Grupo IV: 5
Señal de excitación	Tipo: Barridos de señales sinusoidales Duración total: 11,6 s (4 x 2,9 s) Repeticiones: 1 preaverage + 3 average Rango frecuencial: 63 – 16000 Hz

El nivel de ruido de fondo existente durante el tiempo de medida fue cualitativamente bajo, ya que se trataba de un día festivo sin ninguna actividad en el recinto y alrededores. La relación señal ruido impulsiva, INR, superó en todas las bandas de octava los 45 dB mínimos requeridos para una estimación adecuada del tiempo de reverberación. En la Figura 2 se muestra a modo de ejemplo el valor medio registrado en las aulas pertenecientes al grupo I, representado con la línea verde.

Hubiera sido deseable realizar alguna medida con el centro en funcionamiento, para poder cuantificar las contribuciones del sistema de ventilación, aire acondicionado o calefacción, así como el ruido proveniente de aulas y pasillos contiguos o el ruido producido por los propios alumnos mover sillas y mesas [4], ya que a pesar de que es una práctica común medir el nivel de ruido de fondo en el aula desocupada, el ruido dominante durante las actividades de enseñanza tiende a ser producido por los propios alumnos [15][16].

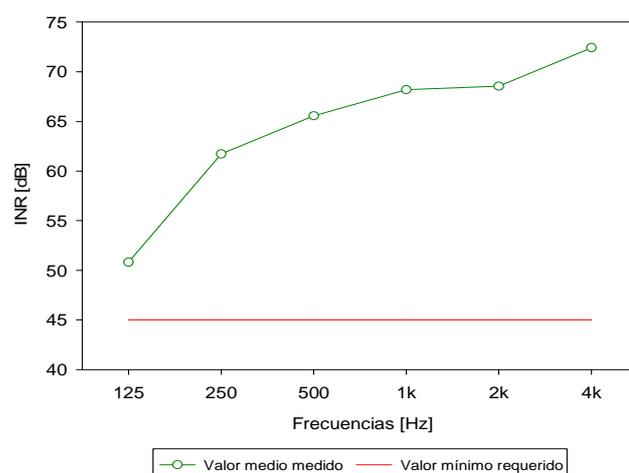


Figura 2. Relación señal a ruido impulsiva media medida en aulas del grupo I.

2.3 Resultados del estado inicial

Para una mayor claridad en el análisis, detallaremos los resultados de dos de las ocho aulas estudiadas, pertenecientes a diferentes grupos de clasificación. Éstas serán las aulas 6 y 10 (A6 y A10) consideradas representativas de los grupos I y II, y sobre las cuales se evaluarán las soluciones acústicas más relevantes.

En la Tabla 3 se recogen los resultados del valor promedio espacial y espectral de los parámetros evaluados obtenidos en el aula 6 y el aula 10 respectivamente, ambas desocupadas, sin y con el apoyo electroacústico funcionando, comparándolos con el valor considerado como óptimo o recomendado en función del volumen y el uso de la sala. La definición de dichos parámetros puede encontrarse en [11].

Tabla 3. Resultados medios en A6 y A10, sala desocupada

Parámetro evaluado	Valor medio medido (sin / con apoyo electroacústico)		Valor recomendado
	A6	A10	
T_m [s]	2,39 / 2,39	1,75 / 1,86	$0,5 \leq T_{m,op} \leq 1$ s
EDT [s]	2,43 / 2,39	1,77 / 1,83	$EDT_m \approx T_m$
D_{50m}	0,26 / 0,30	0,37 / 0,36	$D_{50m} \geq 0,50$
STI	0,47 / 0,45	0,51 / 0,53	$STI \geq 0,65$

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que ambas aulas son demasiado reverberantes, lo que implica que la inteligibilidad de la palabra sea insuficiente, sobre todo en los puntos más alejados de la fuente, donde el sonido directo recibido es menor. Del mismo modo, la definición de la palabra está por debajo de los valores considerados recomendables para este tipo de salas, donde la comprensión del mensaje es primordial. Sin embargo, la difusión del sonido en la sala es buena. Como puede verse, haciendo uso del sistema de altavoces implantado actualmente no se mejoran las características acústicas de ninguna de las aulas, por lo que se consideran inapropiados.

3 Propuesta de soluciones

Para adecuar el funcionamiento acústico del aula, se estudian cinco alternativas diferentes de acondicionamiento acústico. Estas soluciones se estudian sobre el grupo I de aulas, concretamente sobre el aula 6. Una vez estudiadas estas cinco propuestas de acondicionamiento, se estudiará la aplicación de la solución más óptima de las cinco en una de las aulas del grupo II, en concreto el aula 10.

3.1 Soluciones arquitectónicas aulas grupo I

En los siguientes apartados se describen cada una de las cinco propuestas de intervención estudiadas así como el resultado obtenido. Para estudiar el comportamiento de cada una de las soluciones se ha hecho uso del programa de simulación acústica EASE (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*) en su versión 4.2 [17]. La simulación se realiza con la sala sin ocupación.

Propuesta 1: Falso Techo

Lo primero que se ha planteado ha sido atacar a la superficie mayor y a su vez más protegida, el techo, evitando así el contacto directo con las personas y reduciendo su posible deterioro. Esta primera propuesta se centra en la instalación de un falso techo continuo basado en la instalación de placas de lana mineral y un velo de vidrio decorativo en la cara vista a la altura de las jácenas. Con esto se consigue aumentar en gran medida la absorción en el interior además de reducir la altura total y con ello el volumen efectivo del aula, favoreciendo la reducción del tiempo de reverberación hasta niveles deseados.

Se sabe que el techo del aula presenta una superficie total aproximada de 84 m^2 , por lo que es fácil estimar las características de absorción que debe presentar según la ecuación (1). El coeficiente de absorción medio que debe tener el material escogido para la construcción del falso techo está en torno a 0,7.

$$Abs_{Total} = \bar{\alpha} \cdot S \rightarrow \bar{\alpha} = \frac{Abs_{Total}}{S} = \frac{61 \text{ m}^2}{84 \text{ m}^2} = 0,726 \quad (1)$$

Propuesta 2: Falso techo + Absorción lateral

Esta segunda propuesta está basada en la anterior. Además de la instalación de un techo continuo, se propone la incorporación de paneles absorbentes en las paredes verticales con el fin de eliminar la posible aparición de ecos flotantes. Éstos suelen aparecer entre paredes paralelas reflectantes, como las que nos encontramos en estas aulas. Se han escogido en este caso paneles de lana mineral, que presentan un mayor coeficiente de absorción a bajas frecuencias. Con esto se pretende mejorar las condiciones acústicas en esas bandas.

Propuesta 3: Paneles + Absorción lateral

La tercera propuesta se centra en la instalación de paneles suspendidos horizontalmente en el techo de tamaño $2.400 \times 1.200 \text{ mm}$. La principal ventaja que presenta esta solución es el aumento de la superficie de absorción sin necesidad de cubrir todo el techo, ya que ambas caras de estos paneles están tratadas por igual y duplican con esto la superficie efectiva de absorción. Además se sugiere la instalación de dos paneles más en las superficies verticales, con el fin de mitigar la posible aparición de ecos indeseados.

Para el dimensionado de esta solución, se ha calculado el coeficiente de absorción unitario, de cada uno de los paneles, en base al coeficiente de absorción, como:

$$Abs_{unit.} = \bar{\alpha} \cdot A \quad (2)$$

$\bar{\alpha}$: Coeficiente de absorción medio del recinto.

A: Área, superficie de cada panel. En este caso: 2.400x1.200 mm (x2 caras)

El número de elementos necesarios para llevar a cabo esta solución se ha estimado a partir de la relación entre el coeficiente de absorción unitario, en la banda de 500 Hz, y la mejora de absorción requerida calculada:

$$Abs_{unit.,500Hz} = 0,63 \cdot 2,88m^2 \cdot 2 = 3,63 m^2 \quad (3)$$

$$n^{\circ} unidades = \frac{Abs_{totalrequerida}}{Abs_{unit.,500Hz}} = \frac{61 m^2}{3,63 m^2} = 16,8 uds. \quad (4)$$

A la vista de los resultados obtenidos, en la simulación se han utilizado 16 paneles suspendidos horizontalmente del techo a la altura de las vigas de canto, además de otros dos paneles más instalados sobre uno de los cerramientos verticales para evitar la aparición de los indeseados ecos flotantes.

Propuesta 4: Absorbentes unitarios suspendidos (Cubos)

En esta ocasión se combinan mejoras en la absorción del recinto con una solución estéticamente diferente. Basada en la incorporación de absorbentes unitarios suspendidos del techo. Estos elementos, se presentan en forma de cubo compuestos por espuma alveolar AM y una funda desmontable. Para el dimensionado de esta solución, se ha calculado el coeficiente de absorción unitario, de cada uno de los elementos, en base al coeficiente de absorción, tal y como se define en (2).

El número de elementos necesarios para llevar a cabo esta solución se ha estimado a partir de la relación entre el coeficiente de absorción unitario, en la banda de 1 kHz, y la mejora de absorción requerida:

$$Abs_{unit.,500Hz} = 0,8 \cdot 2,16m^2 = 1,728 m^2 \quad (5)$$

$$unidades = \frac{Abs_{totalrequerida}}{Abs_{unit.,500Hz}} = \frac{61 m^2}{1,7 m^2} = 35,88 uds \quad (6)$$

A la vista de los resultados obtenidos, en la simulación se han utilizado 38 elementos suspendidos del techo a diferentes alturas, cubriendo uniformemente todo el plano horizontal.

Propuesta 5: Absorbentes unitarios suspendidos (Cilindros) + Absorción lateral

En esta ocasión se ha optado por la instalación de elementos en forma de cilindros distribuidos por toda la superficie del techo, colocados a diferentes alturas. La propuesta combina la colocación de absorbentes unitarios suspendidos con la instalación de dos paneles absorbentes en las paredes, para evitar la aparición de ecos flotantes (3).

En este caso, se trata de fibra mineral, en forma de cilindro de 1000 mm de longitud y 190 mm de diámetro. Para el dimensionado de esta solución, de nuevo se ha calculado el coeficiente de absorción unitario, de cada uno de los elementos, en base al coeficiente de absorción del material (2).

El número de elementos necesarios para llevar a cabo esta solución se ha estimado a partir de la relación entre el coeficiente de absorción unitario, en la banda de 500 Hz, y la mejora de absorción requerida calculada:

$$Abs_{unit.,500Hz} = 1 \cdot 0,6 m^2 = 0,6 m^2 \quad (7)$$

$$n^{\circ} unidades = \frac{Abs_{totalrequerida}}{Abs_{unit.,500Hz}} = \frac{61 m^2}{0,6 m^2} = 101 \text{ uds.} \quad (8)$$

A la vista de los resultados obtenidos, en la simulación se han utilizado 90 elementos suspendidos del techo a diferentes alturas, cubriendo uniformemente todo el plano horizontal.

Resultados

En la Tabla 4, se presentan los valores promediados espacial y espectralmente del tiempo de reverberación, la definición y el STI obtenidos en la simulación de las diferentes propuestas de intervención, además de una valoración de los mismos frente a las condiciones iniciales de la sala. Se observa que los resultados obtenidos con todas las soluciones son satisfactorios. Los valores del tiempo de reverberación y la definición se encuentran dentro del rango recomendado. De igual modo, la inteligibilidad de la palabra se halla cerca de los valores recomendados.

Con el fin de conocer en más detalle los resultados, en la Figura 3, se muestran los valores medios obtenidos para el tiempo de reverberación y la definición en función de la frecuencia, comparándolos con las condiciones iniciales y los valores objetivo planteados. Puede verse que, con las propuestas 1, 3, 4 y 5, los valores del tiempo de reverberación y definición se encuentran dentro del rango recomendado para las bandas de medias y altas frecuencias. Es con la propuesta 2, con la que se ha conseguido el objetivo perseguido en todas las bandas, reduciendo el tiempo de reverberación y aumentando la definición de la palabra con respecto a la propuesta 1 en las bandas de baja frecuencia, aportando además más homogeneidad en todas las bandas.

Tabla 1. Resultados obtenidos en condiciones iniciales y con las diferentes propuestas en el aula 6

Parámetro	Inicial	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3	Prop. 4	Prop. 5	Recomendación
T_m [s]	2,39	0,65	0,59	0,63	0,73	0,76	$0,5 \leq T_{m,op} \leq 1$ s
D_{50m}	0,26	0,67	0,70	0,70	0,64	0,63	$D_{50m} \geq 0,50$
STI	0,47	0,63	0,64	0,64	0,62	0,61	$STI \geq 0,65$

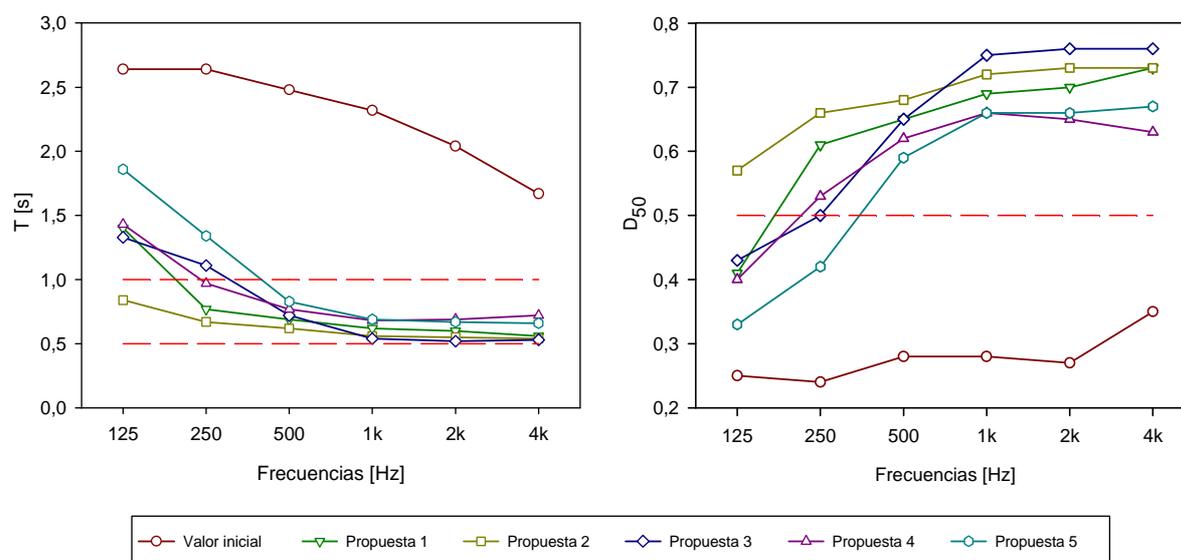


Figura 3. Valores promediados espacialmente del tiempo de reverberación y definición obtenidos tanto en el estado inicial, como con cada propuesta, para el aula 6.

3.2 Soluciones arquitectónicas aulas grupo II

Una vez estudiadas las cinco soluciones alternativas sobre las aulas del grupo I, se extrapola la propuesta 2 a las aulas del grupo II, en este caso, al aula 10. Se decide usar esta alternativa ya que es una opción con la que se alcanzan los valores acústicos marcados como objetivo en todas las bandas de octava, se eliminan los ecos flotantes y es económicamente viable.

En la siguiente tabla se recogen los valores obtenidos para los parámetros estudiados. Es importante destacar, que a la vista de los resultados, esta solución se puede considerar igualmente satisfactoria en la simulación sobre el aula 10.

Tabla 5. Resultados obtenidos en condiciones iniciales y con la propuesta 2 en el aula 10

Parámetro	Inicial	Prop. 2	Recomendación
T_m [s]	1,75	0,64	$0,5 \leq T_{m,op} \leq 1$ s
D_{50m}	0,37	0,66	$D_{50m} \geq 0,50$
STI	0,51	0,62	$STI \geq 0,65$

Por su parte, en la Figura 4 está representada la mejora que se ha conseguido en el interior del aula simulada con respecto a las condiciones iniciales en los valores del tiempo de reverberación y definición. Además se aprecia esa homogeneidad en todas las bandas de frecuencia que se buscaba. En la figura se observa cómo tanto los valores de definición como de tiempo de reverberación que se han obtenido tras la simulación están dentro de los objetivos marcados para todas las bandas de frecuencia.

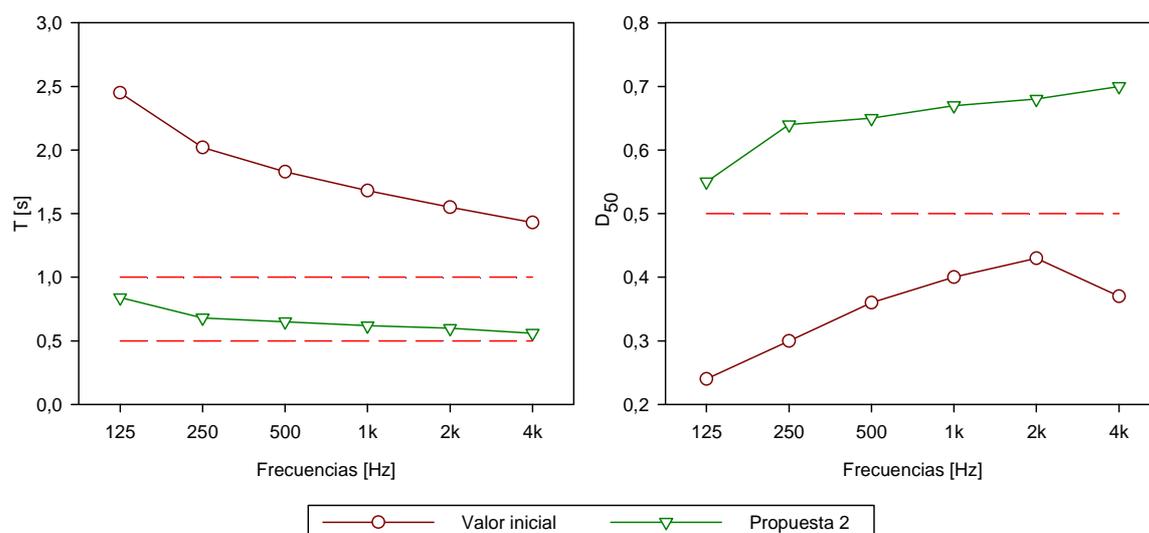


Figura 4. Valores promediados espacialmente del tiempo de reverberación y definición obtenidos tanto en el estado inicial, como con la propuesta 2, para el aula 10.

4 Conclusiones

En este trabajo, se ha estudiado en detalle la acústica de ocho aulas pertenecientes a la Facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla. Una vez analizados los resultados obtenidos tras las mediciones acústicas realizadas in situ, se han clasificado las aulas en cuatro grupos atendiendo a sus características geométricas y acabados, así como a sus condiciones acústicas.

Tras observar que las aulas eran excesivamente reverberantes para el uso docente, se han planteado cinco alternativas de intervención para corregir dicho comportamiento sobre una de las aulas del grupo I, con el fin de extrapolar las soluciones a los otros grupos. En estas alternativas también se han incluido soluciones para eliminar la aparición de ecos flotantes. Para conocer las capacidades de mejora de las cinco soluciones propuestas, se ha hecho uso del software de simulación acústica EASE y se han comparado los resultados obtenidos con cada una de ellas. En todas las alternativas estudiadas se han alcanzado valores acústicos adecuados para el uso actual de las aulas, y por tanto son consideradas válidas, siendo la propuesta 2 la que ofrece mejores resultados.

Por último, se ha estudiado la solución considerada más óptima, la propuesta 2, en una de las aulas del grupo II. Tal como se esperaba, los resultados obtenidos tras aplicar esta propuesta en las aulas del grupo II son igualmente satisfactorios, alcanzándose valores acústicos óptimos de los parámetros considerados.

Agradecimientos

El presente estudio se ubica dentro del convenio de colaboración entre la empresa ACCIONA Infraestructuras S.A. y el organismo de investigación Universidad de Málaga, en el marco del proyecto integrado “Rehabilitación energética de edificios docentes en Andalucía”, proyecto REDUCA, financiado por el Fondo Tecnológico Europeo, Fondos FEDER.

Referencias

- [1] Wilson, O. et al. *Classroom acoustics: A New Zealand perspective*. Oticon Fundation, New Zealand, June 2002.
- [2] Yebra, M.; Bleda, S.; Vera, J. Necesidad de pautas y normativa acústica específica en las construcciones escolares: Universidad de Alicante, un ejemplo. Forum Acusticum, Sevilla, 2002
- [3] Picard, M.; Bradley, J.S. Revisiting Speech Interference in Classrooms, *Audiology*, Vol. 40, 2006, pp. 221 – 244.
- [4] Siebein, G.W. et al. Ten ways to provide a high-quality acoustical environment in schools. *Language, speech and hearing services in schools*, Vol.31, 2000, pp. 376 – 384.
- [5] Trombetta, P.; Zanardo, D. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. *Applied Acoustics*, Vol. 70, 2009, pp. 626 – 635.
- [6] Acoustical Society of America. Acústica de salones de clase. *Ingenierías*, Vol. IX (Nº 30), 2006, pp. 54 – 62.
- [7] Pavčeková, M.; Rychtáriková, M.; Tomašovičre, P. Acoustical comfort predictions in classrooms with two simultaneous sound sources. *Slovak Journal of Civil Engineering*, Vol. 2, 2009, pp. 17 – 25.
- [8] Hodson, M.R. Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated classrooms. *Applied Acoustics*, Vol. 65, 2004, pp. 69 – 89.
- [9] Kendrick, P. et al. Blind estimation of time in classrooms and hospital wards. *Applied Acoustics*, Vol. 73, 2012, pp. 770 – 780.
- [10] Chisca, B.; Feijoo, S.; Álvarez, J.M. Condiciones acústicas en aulas de la Universidad de Santiago de Compostela. *Tecniacústica*, Terrasa, 2005.
- [11] UNE-EN-ISO 3382-1:2010: Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1 salas de espectáculos, Febrero 2010
- [12] UNE-EN ISO 3382-2, Erratum V2, Medición de parámetros acústicos en recintos, Septiembre 2009.
- [13] Software Design Ahnert GmbH, Manual de EASERA v.1.1, Berlin, 2006.
- [14] Astolfi, A.; Corrado, V.; Griginis, A.; Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. *Applied Acoustics*, Vol. 69, 2008, pp. 966 – 976.
- [15] Lubman, D.; Sutherland, L. C. Classroom acoustics for the 21st century. Proceedings of the 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2007.
- [16] Nijs, L.; Rychtáriková, M. Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 97, 2011, pp. 93 – 102.
- [17] Software Design Ahnert GmbH, Manual de EASE v.4.1.