

ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE LAS AULAS ESPECIALES I Y II DE LA ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA DE LA UNIVERSIDAD DE A CORUÑA

PACS: 43.55n-43.55Gx

Bujeiro Lariño, Manuel ⁽¹⁾; Basteiro Salgado, Alejandro ⁽²⁾; Figueras García, Montserrat ⁽³⁾;
Nogueira López, Pedro Fernando ⁽⁴⁾; Gómez Alfajeme, Juan José ⁽⁵⁾
⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña (EUAT)
⁽⁵⁾ Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicaciones de Madrid (UPM)
⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ Campus da Zapateira; Rúa da Fraga, 27. 15008, A Coruña.
⁽⁵⁾ Camus Sur, Ctra. de Valencia, Km 7. 28031, Madrid.
⁽¹⁾ +34 647 15 39 90; ⁽²⁾ +34 609 93 85 95; ⁽³⁾ +34 664 46 96 25; ⁽⁴⁾ +34 698 14 44 40; ⁽⁵⁾ +34 660
41 14 51
⁽¹⁾ manuel.bujeiro@udc.es; ⁽²⁾ a.basteiro@ucdc.es; ⁽³⁾ m.figueras@udc.es; ⁽⁴⁾ nogueira@udc.es;
⁽⁵⁾ alfageme@diac.upm.es

Keywords: software EASE, acoustics parameters, reverberation time

Palabras Clave: herramienta EASE, parámetros acústicos, tiempo reverberación

ABSTRACT.

This Project of conditioning the Special Classroom I and II of the Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña, is about the study of the current sound parameters and conditions of these classrooms, with the help of an acoustic software simulation called EASE “Enhanced acoustic simulator for engineers”.

Special Classroom I and II do not reach the acoustic behaviour required by the normative. In addition to this, they do not have good intelligibility condition. Due to this situation, it is recommended and improvement in these classroom. That is the aim of this Project. Taking into account this previous analysis, it has been given a posible solution to improve the acoustic behaviour of the Special Classrooms I and II, by proposing absorbing acoustic panels.

RESUMEN.

En este proyecto de acondicionamiento de las Aulas Especiales I y II de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña, se estudian los parámetros y condiciones acústicas que tienen actualmente estas aulas, ayudándonos de un software de simulación acústica llamado EASE “Enhanced acoustic simulator for engineers”.

Las Aulas Especiales I y II no alcanzan el comportamiento acústico requerido por la norma y además no tienen unas buenas condiciones de inteligibilidad de la palabra, así pues, se propone una mejora en dichas aulas, de ahí el objeto de este proyecto. Basándonos en estos análisis previos, se ha planteado una posible solución de mejora del comportamiento acústico de las Aulas Especiales I y II, proponiendo unos paneles acústicos absorbentes.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo el estudio acústico de las Aulas especiales I y II de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña con la finalidad de analizar su comportamiento acústico.

Las Aulas Especiales I y II tienen como actividad el desarrollo de actividades formativas de los propios alumnos de la escuela. Para poder analizar el comportamiento acústico de estas aulas, se opta por crear un modelo virtual mediante el software (EASE) "Enhanced Acoustic Simulator for Engineers". Gracias a esta simulación se puede estudiar los posibles defectos acústicos que presentan y así poder facilitar distintas soluciones a las Aulas especiales I y II. Los datos obtenidos mediante esta herramienta tecnológica, serán comparados con los resultados obtenidos mediante las fichas justificativas del CTE DB-HR.

Los parámetros acústicos estudiados son tales como tiempo de reverberación, nivel de presión sonora directo, nivel de presión sonora total, nivel de relación entre campo directo y reverberante y pérdida de articulación de consonantes, con el fin de poder tener una correcta valoración del aula.

Además de realizar el propio análisis acústico del recinto, este proyecto puede servir como fuente de información del comportamiento acústico de las Aulas Especiales I y II, para posteriores trabajos o futuras actuaciones sobre ellas.

Para poder analizar los datos, se reflejarán a través de tablas, para una mejor comprensión.

2. METODOLOGÍA Y ESTUDIO DE CASO

Para llevar cabo el estudio de las Aulas Especiales I y II se ha de tener en cuenta una serie de métodos de trabajo necesarios. En primera instancia se miden las Aulas Especiales I y II "in situ" con un metro láser. Éste nos proporciona las medidas para saber el volumen total de cada aula.

El Aula especial I tiene una superficie útil de $103,21\text{m}^2$, un volumen aproximado de $432,91\text{m}^3$ y una capacidad de 103 personas sentadas. La audiencia está dispuesta en gradas ocupando un área de $49,08\text{m}^2$. El Aula especial II tiene una superficie útil de $102,98\text{m}^2$, un volumen aproximado de $431,11\text{m}^3$ y tiene una capacidad de 97 personas sentadas. La audiencia está dispuesta en gradas ocupando un área de $48,98\text{m}^2$.

Prácticamente toda la planta se dispone en gradas de una altura aproximada de $0,29\text{m}$ entre ellas y en donde se sitúa el orador se localiza una tarima de una altura de $0,30\text{m}$.

Todo el suelo, tanto a cota 0 como la tarima y las gradas tienen un acabado de linóleo rojo. El techo es un forjado bidireccional con acabado de hormigón visto. Los parámetros verticales podemos encontrar: enfoscado de mortero, vidrio y aluminio. El acabado predominante es el enfoscado de mortero pintado de color blanco.

Tabla 2.1. Coeficientes de absorción acústico de los materiales existentes en las aulas.

ELEMENTO	MATERIAL	α			
		500Hz	1000Hz	2000Hz	αm
PAREDES	Enfoscado de mortero	0.06	0.08	0.04	0.06
TECHO	Hormigón visto	0,03	0,04	0,04	0,04
SUELO	Linóleo	0,03	0,03	0,04	0,03
PUERTA	Panel de madera	0,08	0,08	0,08	0,08
VENTANA	Vidrio	0,05	0,04	0,03	0,04

Figura 1. Coeficientes de absorción acústico de los materiales. Catálogo elementos constructivos CTE.

El DB-HR “protección frente al ruido” establece la necesidad de adaptar los tiempos de reverberación de aulas, salas de conferencias, restaurantes y comedores, reflejando unos valores límite. Este valor límite de tiempo de reverberación, en el caso de aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que 350m³, no será mayor que 0,7s. Las exigencias se aplican a los recintos, sin ocupación y sin mobiliario, exceptuando el mobiliario fijo, como las butacas fijas en las salas de conferencias.

En este caso, tenemos que adaptarlo a aulas y salas de conferencias cuyo volumen supera los 350m³, ya que el aula especial I tiene un volumen de 431,02m³ y el aula especial II tiene un volumen de 430,50m³. Para esta situación el DB-HR establece que para aulas y salas de conferencias cuyo volumen sea mayor que 350m³, para los cuales no son de aplicación las exigencias establecidas y por lo tanto deben ser objeto de estudio especial en cuanto al diseño acústico de la sala. El DB-HR no regula ni los criterios, ni los procedimientos para el diseño acústico de recintos destinados a espectáculos, ni de aulas y salas de conferencias de volúmenes mayores que 350m³.

La norma nos proporciona unas fichas justificativas en las que utiliza la fórmula de Sabine para el cálculo del tiempo de reverberación. Este dato nos servirá como orientación para posteriormente hacer un estudio mediante una simulación con una herramienta avanzada. En este caso, se ha utilizado un programa llamado EASE “Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”.

Tabla 2.2. Tiempos de reverberación obtenidos mediante las tablas justificativas DB-HR.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ESTADO ACTUAL	
Aula especial I	2,37s
Aula especial II	2,42s

Figura 2. Tiempos de reverberación fichas justificativas. CTE DB-HR.

3. SIMULACIÓN MEDIANTE HERRAMIENTA AVANZADA EASE “ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS”

A través de las fichas justificativas del CTE DB-HR obtenemos tiempos de reverberación aproximados, pero con la simulación en EASE se obtienen unos resultados más precisos para poder saber que comportamiento tiene a nivel acústico las aulas actualmente y poder posteriormente trabajar las posibles mejoras de un modo más real.

Se han medido las aulas “in situ” mediante un metro láser para poder introducir los datos en el software EASE que va a ser la base de todo el dibujo. Éste nos proporcionará áreas, volúmenes y mediciones acústicas necesarias para nuestro estudio.

- De forma esquemática se han realizado estos pasos:
- Definir geoméricamente las aulas.
- Asignar materiales a cada cara de las aulas.
- Definir las áreas de audiencia y las posiciones de los oyentes.
- Introducir fuentes sonoras.

Finalizado el modelado de las aulas e introducidas las características con las que trabajamos, obtendremos unos parámetros basados en la teoría estadística, como:

- Tiempo de reverberación.
- Nivel de presión sonora directo.
- Nivel de presión sonora total.
- Relación directo/reverberante, D/R.
- Pérdida de articulación de consonantes (Alcons)

El software EASE permite crear el modelo acústico en 3D. En este caso se ha optado por simplificar el modelo con respecto al original, integrando los pilares y elementos que sobresalen como parte de los paramentos en los que están contenidos, las ventanas se definen mediante un contorno y se prescinde de luminarias y elementos auxiliares. En el caso de las butacas de madera se ha optado por definir las de manera que, la pared horizontal de las gradas se define como madera y la pared vertical como linóleo (suelo). Una vez introducidos los vértices mediante coordenadas, se definen las caras que tienen que pasar por cada uno de esos vértices. Cada una de las caras hará que conformen el volumen del aula. Para seguir con el estudio acústico debemos asegurarnos que el volumen está completamente cerrado.

Ejemplo de aula dibujada en EASE

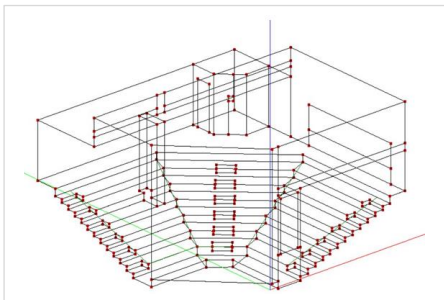


Imagen 1. Aula especial I. EASE

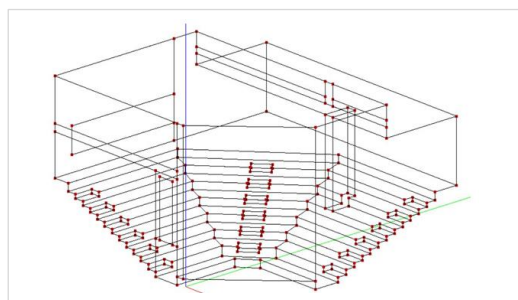


Imagen2. Aula especial II. EASE

Definición de las áreas de audiencia

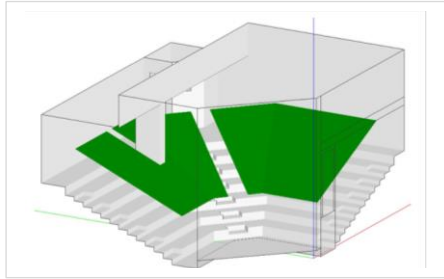


Imagen 3. Aula especial I. EASE

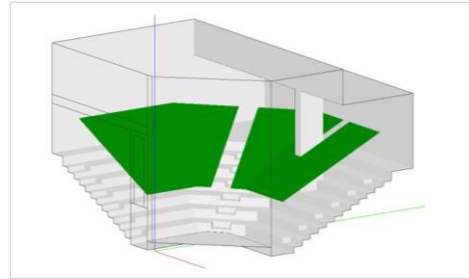


Imagen 4. Aula especial II. EASE

Posición de los oyentes e introducción fuentes sonoras

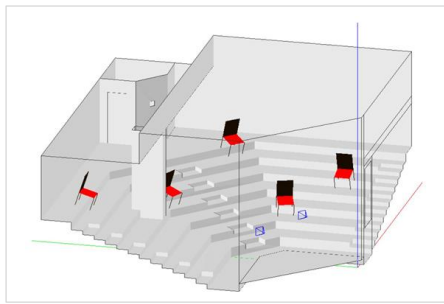


Imagen 5. Aula especial I. EASE

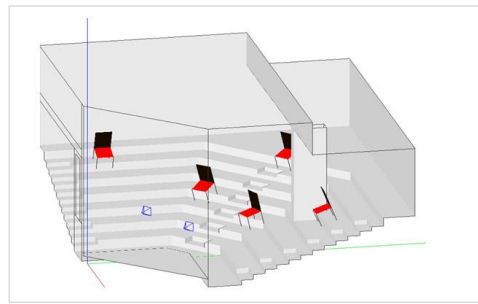


Imagen 6. Aula especial II. EASE

RESULTADOS OBTENIDOS ESTADO ACTUAL

Tabla 3.1. Comparativa entre parámetros acústicos estado actual.

PARÁMETROS			ESTADO ACTUAL			
Tiempo de reverberación (1000Hz)	Aula especial I		2,64s			
	Aula especial II		2,77s			
			SPL Directo (dB)	Total SPL (dB)	D/R Ratio (dB)	Alcons %
Aula especial I	Fuente 1	Máximo	90,28	99,74	-20,05	17,92
		Mínimo	79,17	99,27	-8,94	14,73
	Fuente 2	Máximo	85,33	99,40	-19,38	17,89
		Mínimo	79,84	99,27	-13,89	17,11
Aula especial II	Fuente 1	Máximo	86,79	99,69	-18,30	18,66
		Mínimo	81,16	99,53	-12,67	17,48
	Fuente 2	Máximo	87,14	99,71	-19,03	18,72
		Mínimo	80,43	99,52	-12,32	17,33

Figura 3. Resultados parámetros acústicos estado actual. EASE.

Los niveles de presión sonora directo (SPLd) y los niveles de presión sonora total (Total SPL) los valores obtenidos son elevados, debido a la alta potencia de la fuente sonora empleada en la simulación, por lo tanto, el sistema es bueno ya que hay buena cobertura de sonido directo.

En cuanto al Nivel de relación entre campo directo y reverberante (D/R Ratio), todos los valores obtenidos muestran que el campo reverberante es mucho mayor que el directo, ya que observamos que son todos negativos.

Los resultados obtenidos en cuanto a Pérdida de articulación de consonantes (ALCONS) nos muestran que la inteligibilidad en las Aulas especiales I y II es bastante pobre ya que oscila entre el 12% y el 24,2%. Según la teoría, esto es indicativo de una percepción incorrecta del habla.

4. PROPUESTA DE MEJORA

El objetivo principal de la propuesta es mejorar los parámetros acústicos de las Aulas especiales I y II, prestando especial atención al Tiempo de reverberación.

Para valorar el grado de mejora de las Aulas, se confía de nuevo en la herramienta tecnológica EASE. Como solución para la mejora, se adopta la instalación de 13 nubes acústicas suspendidas del techo en forma de panel.

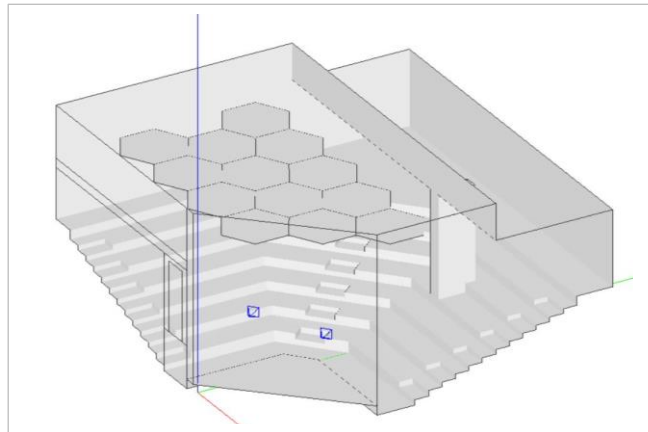


Imagen 7. Aula especial II. EASE

Tabla 4.1. Características acústicas del panel

Frecuencia	α Absorción acústica material absorbente	α Absorción acústica textil	α Absorción acústica conjunto
125 Hz	0,10	0,30	0,50
250 Hz	0,25	0,30	0,70
500 Hz	0,45	0,43	1,00
1000 Hz	0,60	0,53	1,00
2000 Hz	0,65	0,53	1,00
4000 Hz	0,70	0,53	1,00

Las nubes acústicas se suspenden a una distancia de 1,20m del techo en la zona que está por encima de las gradas, la zona que actualmente ocupan las butacas de los alumnos.

Sus dimensiones son 1,73m x 2,00m y un grueso de 100mm.

Figura 4. Características acústicas del panel absorbente. Casa comercial.

Tabla 4.2. Tiempos de reverberación obtenidos mediante las tablas justificativas DB-HR.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN ESTADO MEJORADO	
Aula especial I	0,87s
Aula especial II	0,87s

Figura 5. Tiempos de reverberación fichas justificativas. CTE DB-HR.

RESULTADOS OBTENIDOS CON LA MEJORA

Tabla 4.3. Comparativa entre parámetros acústicos estado mejorado.

PARÁMETROS			ESTADO MEJORADO			
Tiempo de reverberación (1000Hz)			Aula especial I		0,90s	
			Aula especial II		0,91s	
			SPL Directo (dB)	Total SPL (dB)	D/R Ratio (dB)	Alcons %
Aula especial I	Fuente 1	Máximo	90,28	95,60	-14,92	5,88
		Mínimo	79,17	94,23	-3,81	4,56
	Fuente 2	Máximo	85,33	94,63	-14,25	5,86
		Mínimo	79,84	94,25	-8,76	5,51
Aula especial II	Fuente 1	Máximo	86,79	94,89	-12,99	5,92
		Mínimo	81,16	94,37	-7,36	5,41
	Fuente 2	Máximo	87,14	94,94	-13,72	5,95
		Mínimo	80,43	94,33	-7,01	5,35

Figura 6. Resultados parámetros acústicos estado mejoradol. EASE.

El Nivel de presión sonora directo (SPLd) no cambia, ya que el nivel de sonido que llega al área de audiencia sin ningún tipo de reflexión es el mismo, al no modificarse las condiciones de ensayo.

El Nivel de presión sonora total (Total SPL), se observa que los valores disminuyen pero el intervalo entre el máximo y el mínimo, crece.

En cuanto al Nivel de relación entre campo directo y reverberante (D/R Ratio), previo a la mejora, contaba con campo reverberante mayor que el directo. Con la propuesta de mejora se consigue reducir el campo reverberante. Se obtienen valores menores, es decir, que el campo directo prevalece sobre el reverberante. Aun así, sigue predominando el campo reverberante pero con valores más próximos a 0dB.

Los resultados obtenidos en cuanto a Pérdida de articulación de consonantes (ALCONS) podemos observar que después de la mejora, los resultados han mejorado considerablemente estando entre el 1,6% y el 11,4%, que nos indica que la inteligibilidad de la palabra es entre aceptable y buena.

Este último parámetro es el más significativo en la propuesta de mejora, ya que es el que nos ha aportado más información sobre la calidad acústica de las Aulas especiales I y II.

5. CONCLUSIONES

- A partir de la recogida de medidas “in situ” se realizó un modelo virtual para simular las condiciones acústicas de las Aulas Especiales I y II con el software EASE “Enhanced acoustic simulator for engineers”. A la vez que la modelización, se efectuó un estudio de la teoría de la acústica de salas, que sirvió de base para entender los posteriores análisis de los resultados acústicos de las aulas. Los parámetros acústicos estudiados, tales como nivel de presión sonora directo, nivel de presión sonora total, relación entre campo directo y campo reverberante y pérdida de la articulación de consonantes, fueron comprobados analíticamente y se corroboraron con los obtenidos en EASE. En lo referido a la calidad acústica de las aulas especiales I y II, observamos que en el estado actual no cumplen los objetivos del CTE DB-HR y tampoco de los parámetros teóricos estudiados. Con los resultados obtenidos y su posterior análisis, nos permitió proponer una solución de mejora que consiguió mejorar notablemente los parámetros acústicos para la calidad acústica de las aulas especiales I y II. Estos valores están dentro de los varemos aceptables para inteligibilidad de la palabra y se consiguió reducir notablemente el tiempo de reverberación. La solución de mejora, consistió en el diseño de unos paneles acústicos en forma hexagonal que van suspendidos del forjado superior de las aulas. Se tuvo en cuenta los coeficientes de absorción proporcionados por la casa comercial y su sistema de suspensión por raíles con cables.
- Además de conocer un campo bastante amplio, también permitió conocer las limitaciones del CTE DB-HR en lo referente a acústica de salas y la importancia de los cálculos de absorción para soluciones técnicas que mejoran los tiempos de reverberación.
- En cuanto al uso de herramientas de modelización acústica como el software EASE, creo que los técnicos deberían conocer y aplicar estas tecnologías para realizar modelos sobre recintos dirigidos a los estudios acústicos avanzados y desarrollo de proyectos acústicos para la optimización de las característica del recinto.

REFERENCIAS

1. Arau Higini, 1999. ABC de la acústica arquitectónica. S.I.: Ediciones CEAC. ISBN 84-329-2017-7.
2. Carrión Antoni, 1998. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. ISBN 84-8301-252-9.
3. Cobo Parra, Pedro, 2015. Absorción del sonido. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. ISBN 9788400099527.
4. Valero Granados Santiago, 2011. Acústica aplicada al interiorismo. S.I.;Arquifon, diseños contra el ruido, s.I. ISBN 978-84-614-7626-8.
5. Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo, César Díaz Sanchidrián, 2008. Guía acústica de la construcción. Madrid: inversiones editoriales Dossat 2000, S.L., ISBN: 978-84-96437-81-4.
6. Sociedad Española de Acústica. Julio 2012. Glosario de términos acústicos. Editorial: Sociedad Española de Acústica. ISBN: 978-84-87985-22-5.
7. Manuel Recuerdo López. Madrid 1999. Acústica arquitectónica aplicada. Editorial paraninfo. ISBN: 84-283-2571-5.