

ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL COMEDOR Y CAFETERÍA DE LA ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA

PACS 43.55n – 43.55Gx

Basteiro Salgado, Alejandro (1); Bujeiro Lariño, Manuel (1); Figueras García, Montserrat (1);
Nogueira López, Pedro Fernando (1); Gómez Alfageme, Juan José (2).

(1) Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña (EUAT).

(2) Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de Madrid (UPM).

(1) Campus da Zapateira; Rúa da Fraga, 27. 15008, A Coruña, España.

(2) Campus sur; Ctra. de Valencia, Km 7.28031, Madrid, España.

(1) 981167000; (2) 913367775

(1) euatac@udc.es; (2) sca@etsist.upm.es

Palabras clave: Acondicionamiento, EASE, CTE DB-HR, parámetros acústicos.

ABSTRACT

This project is oriented towards the study and acoustic design of the restaurant - cafeteria of the Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña, reviewing the main figures of the sound quality.

The project combines the calculation of acoustic conditioning provided by the Código Técnico de la Edificación (CTE) with the calculation using simulation software electroacoustic, Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4). During the process, we wanted to emphasize the importance of acoustics, often relegated to the background. By this is meant to influence which is an important quality for a room setting.

RESUMEN

Este proyecto está orientado hacia el estudio del diseño y acondicionamiento acústico del comedor – cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña, repasando las principales magnitudes de la calidad sonora.

El proyecto combina el cálculo de acondicionamiento acústico aportado por el Código Técnico de la Edificación (CTE) con el cálculo mediante un software de simulación electroacústica, Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4). Durante el proceso se ha querido resaltar la importancia de la acústica, muchas veces relegada a segundo plano. Por esto se quiere incidir en que es un parámetro importante para conseguir calidad en una sala.

COCEPTOS TEÓRICOS

Cuando una fuente sonora situada en un recinto cerrado se activa, genera una onda que se propaga en todas las direcciones del espacio. Un oyente situado en cualquier punto del mismo

recibe dos tipos de sonido: el denominado sonido directo, aquel que llega directamente desde la fuente, y el sonido indirecto o reflejado, originado por las diferentes reflexiones que sufre la onda al incidir sobre las superficies límite del recinto.

La naturaleza del sonido indirecto se explica muy bien a través del modelo de rayos, suponiendo que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes, en cada impacto con los paramento perimetrales del recinto, los rayos son parcialmente absorbidos y reflejados y, después de un gran número de reflexiones el sonido se hace difuso.

Reflexión especular: “Cuando la onda sonora incide sobre una superficie, parte de su energía será nuevamente proyectada según las leyes de la reflexión”.

Reflexión difusa: “Se produce cuando la superficie que entra en contacto con la onda sonora, no es lisa, sino rugosa. Como consecuencia, habrá una gran cantidad de puntos de incidencia, que reflejarán el sonido en todas las direcciones, dispersándolo.”

Como consecuencia de estos fenómenos acústicos el sonido se ve reforzado por las múltiples reflexiones. Así, en cualquier punto del recinto tendremos que hablar de una energía sonora total, la cual podemos dividir en sonido directo y sonido reflejado.

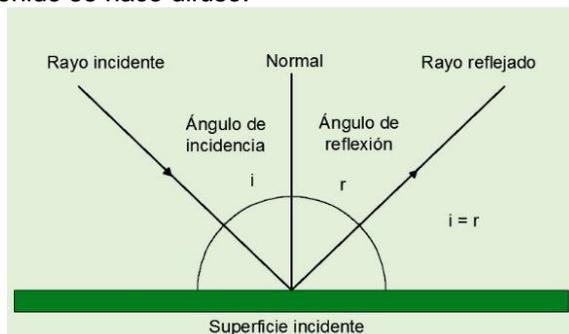


Imagen 1: Reflexión especular - Leyes de la reflexión (Carrión Isbert, 1998).

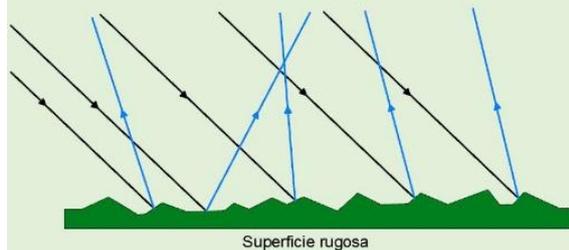


Imagen 2: Reflexión difusa (Carrión Isbert, 1998).

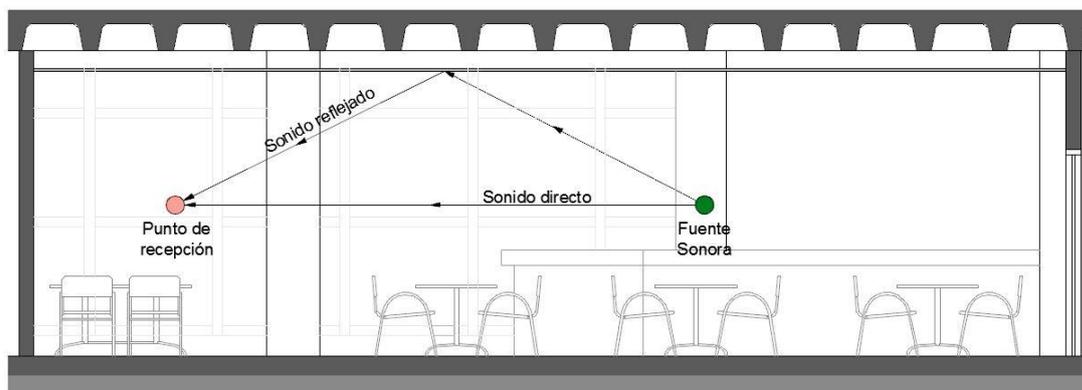


Imagen 3: Sonido directo y Sonido reflejado (Fuente propia).

El sonido directo es el emitido por la fuente, es decir, coincide con el sonido que se recibiría en un espacio libre. En un punto cualquiera del recinto la energía correspondiente al sonido directo depende de la distancia a la fuente sonora y de la directividad de la misma. El nivel de presión sonora en cada punto va disminuyendo a razón de 6 dB al duplicar la distancia a la fuente, para una fuente sonora omnidireccional.

Mientras que el sonido reflejado es el procedente de los sucesivos choques con las superficies del recinto. La energía asociada a cada reflexión depende de la trayectoria seguida por el rayo sonoro y del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas.

La teoría en la que nos basamos para los cálculos es, la Teoría estadística, trata de analizar la reverberación de la sala, es decir, la mayor o menor persistencia del sonido percibido en un recinto después de que la fuente cese de emitir. Se mide por medio del tiempo de reverberación.

Todas las expresiones para calcular el tiempo de reverberación se apoyan en el modelado estadístico de la respuesta sonora de una sala. Todas las reflexiones son tratadas por igual, independientemente de que se traten de reflexiones tempranas o tardías y se suponen, además, condiciones de campo difuso. Esto es:

- Las ondas reflejadas se propagan en todas las direcciones con igual probabilidad.
- La densidad de energía sonora en un instante de tiempo dado, es la misma con independencia de la posición en la sala.
- La energía sonora en un punto se obtiene como la suma de las medias de las contribuciones de todas las reflexiones que pasan por él.

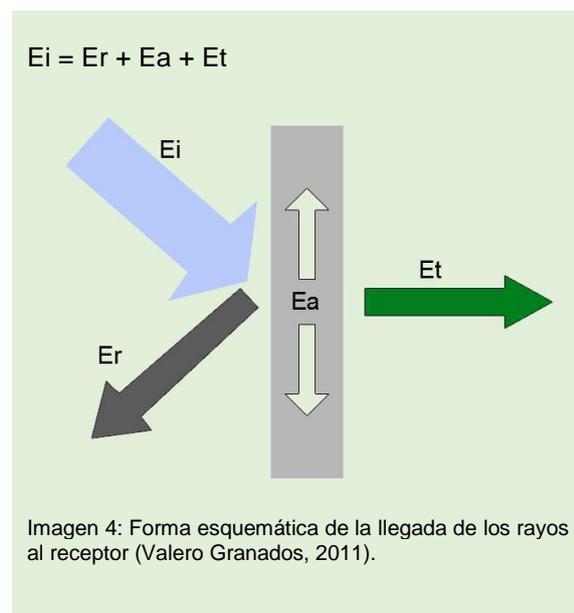
ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

El acondicionamiento acústico de un local consiste en controlar la energía sonora reflejada en las paredes del mismo para reducir la reverberación, mejorar las cualidades de escucha, y en general, disminuir el nivel sonoro medio global del local.

Esto se consigue tratando las superficies interiores del recinto con materiales que permitan una difusión adecuada de la energía acústica en el interior del mismo.

La absorción es la transformación de la energía sonora en cualquier otra forma de energía, generalmente calorífica, al pasar a través de un medio o al incidir sobre una superficie.

EXIGENCIAS DB-HR.



El Código Técnico de la edificación establece la necesidad de adaptar los tiempos de reverberación de aulas, salas de concierto, restaurantes y comedores, reflejando unos valores límite.

Exigencias del CTE respecto a los tiempos de reverberación:	
Locales	TR
Aulas y salas de conferencias vacías (Sin ocupar y sin mobiliario, solo paramentos), de volumen menor de 350 m ³ .	≤ 0,7 s
Aulas y salas de conferencias vacías, pero incluyendo el total de butacas (butacas fijas) de volumen menos de 350 m ³ .	≤ 0,5 s
Restaurantes y comedores vacíos (sólo paramentos).	≤ 0,9 s

Tabla 1: Tabla resumen exigencias respecto a los tiempos de reverberación en recintos (CTE DB-HR).

Además el DB-HR establece la necesidad de incrementar la absorción acústicas de las zonas comunes de edificios de uso residencial o docentes colindantes con recintos habitables con los que comparten puertas, exigiendo que los elementos constructivos, los acabados superficiales y los revestimientos de estas zonas aporten la absorción acústica suficiente para que el área de absorción acústica equivalente (A), sea como mínimo de 0,2 m² por cada metro cúbico del volumen del recinto.

A la hora de calcular los parámetros acústicos de una sala la característica principal de los materiales que necesitamos conocer es el coeficiente de absorción. A continuación se muestran los coeficientes de absorción que conforman el recinto:

MATERIAL	ZONA	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN			am	Sup. que ocupa (%)
		α				
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		
Terrazo	Suelo	0,01	0,02	0,02	0,02	31,57
Panel de madera	Falso techo	0,08	0,08	0,08	0,08	27,92
Piedra	Paredes	0,01	0,02	0,02	0,02	2,76
Enfoscado de mortero	Paredes	0,06	0,08	0,04	0,06	6,57
Espejo	Paredes	0,015	0,02	0,02	0,02	1,71
Vidrio	Ventanas	0,05	0,04	0,03	0,04	23,66
Hormigón visto	Pilares	0,03	0,04	0,04	0,04	3,60
Hormigón pintado	Pilares	0,06	0,07	0,09	0,07	2,17

Tabla 2: Coeficientes de absorción (Catálogo de elementos constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA.

APLICACIÓN DEL CTE DB-HR.

El Código Técnico de la edificación establece la necesidad de adaptar los tiempos de reverberación de aulas, salas de concierto, restaurantes y comedores, reflejando unos valores límite. En nuestro caso de trata de un comedor-cafetería por lo que el valor límite de tiempo de reverberación establecido por el CTE DB-HR para el recinto es de 0,9s.

Se ha realizado el cálculo del tiempo reverberación mediante la ficha justificativa del CTE DB-HR y el resultado obtenido es de 2,60s. Este resultado no cumple el valor límite por lo que la acústica de la sala es mala. Utilizando el Código Técnico de la Edificación no se puede aportar más información sobre el comportamiento acústico de salas por lo que hemos utilizado herramientas tecnológicas avanzadas y de apoyo.

LOS BENEFICIOS DE LA SIMULACIÓN EASE.

- Convencer a los clientes con los cálculos realizados por el software de simulación de electro-acústico estándar de la industria.
- Asegúrese de cumplir con los requisitos para los niveles de presión sonora (SLP).
- Tomar conciencia de los obstáculos que permanecen ocultos sin simulación.
- Analizar y resolver los problemas acústicos antes de que surjan.
- Ahorra tiempo y dinero evitando múltiples iteraciones in situ.
- Creación de un modelo acústico.

El software informático EASE 4.4 permite la creación de un modelo acústico 3D de cualquier sala. En este apartado se han descrito los pasos realizados para la creación del modelo virtual del comedor-cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica.

En el caso de este espacio se ha procedido a introducir todos los vértices necesarios para conformar las caras que generan un volumen cerrado. Se han utilizado 339 vértices para formar 189 caras.

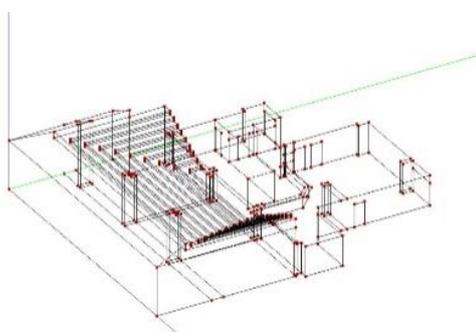


Imagen 5:
Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

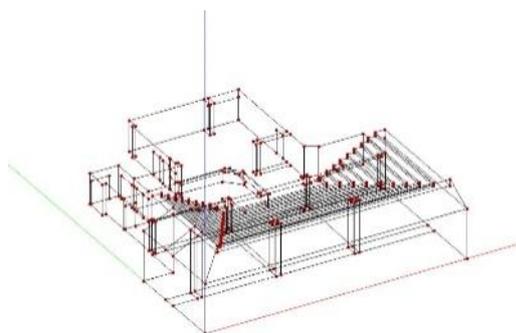


Imagen 6:
Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

ÁREAS DE AUDIENCIA Y POSICIONES DE ESCUCHA.

Para realizar la simulación se deben introducir en el modelo las áreas de audiencia. Estas se han colocado a una altura de 1,20m ya que esta es la altura aproximada a la que sitúan los oyentes cuando están sentados. En la zona de la barra se han colocado a 1,70m puesto que los oyentes se encuentran de pie.

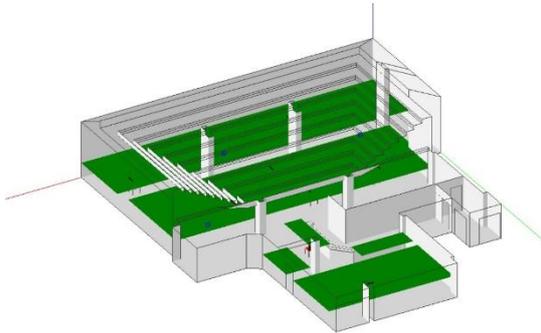


Imagen 7:
Situación áreas de audiencia, (Fuente: EASE 4.4).

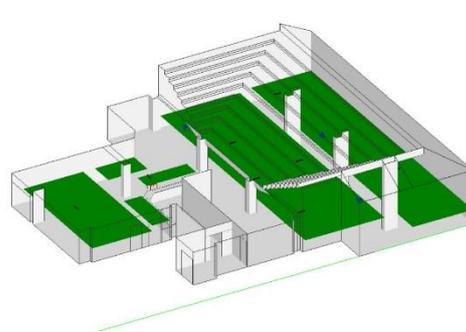
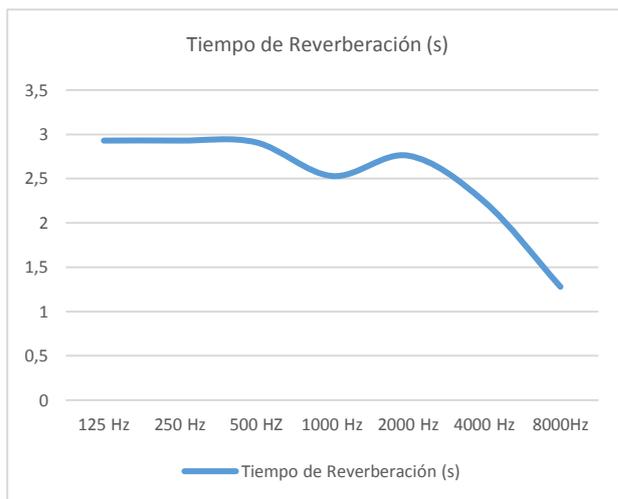


Imagen 8:
Situación áreas de audiencia, (Fuente: EASE 4.4).

TIEMPO DE REVERBERACIÓN RECINTO SIN ACONDICIONAR.

Tiempo de reverberación calculado con EASE 4.4 utilizando la fórmula de Sabine:



Band	R Time (s)
125 Hz	2,93
250 Hz	2,93
500 Hz	2,91
1000 Hz	2,53
2000 Hz	2,76
4000 Hz	2,24
8000 Hz	1,28

Tabla3:
Tiempo de Reverberación (Fuente: EASE 4.4).

Gráfica 1: Tiempo de reverberación, (Fuente: EASE 4.4).

Tiempo de Reverberación (s) CTE DB- HR y Herramienta del Ministerio:	2,60 s
--	--------

Como se puede observar ambos valores están muy próximos, lo que valida el resultado final. Dicho valor no cumple el tiempo de reverberación exigido para comedores y restaurantes cuyo valor máximo es de 0,9s.

Tras el análisis acústico de la sala, y dadas sus características, se procede a la selección de los paramentos que más nos convengan para realizar las mejoras. En este caso el problema fundamental es que los materiales originales del recinto presentan coeficientes de absorción muy bajos por lo que la mayor parte del sonido que incide sobre ellos es reflejado.

Se ha decidido actuar como parte principal de la mejora sobre el falso techo plano del recinto y sobre el paramento recubierto por piedra; además se ha propuesto la instalación de estores acústicos en la ventana orientada al noroeste. A continuación se muestran los coeficientes de absorción de los materiales que conforman el recinto acondicionado:

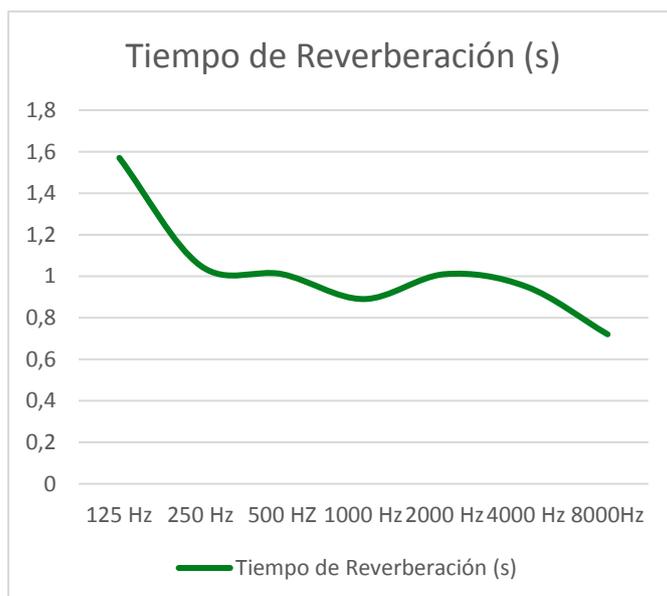
MATERIAL	ZONA	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN			am	Sup. que ocupa (%)
		α				
		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		
Terrazo	Suelo	0,01	0,02	0,02	0,02	31,57
Panel de madera	Falso techo	0,08	0,08	0,08	0,08	14,43
Enfoscado de mortero	Paredes	0,06	0,08	0,04	0,06	6,57
Espejo	Paredes	0,015	0,02	0,02	0,02	1,71
Vidrio	Ventanas	0,05	0,04	0,03	0,04	22,49
Hormigón visto	Pilares	0,03	0,04	0,04	0,04	3,60
Hormigón pintado	Pilares	0,06	0,07	0,09	0,07	2,17
Nuevos materiales empleados:						
Panel acústico	Falso techo	0,80	0,90	0,78	0,83	16,25
Estor acústico	Paredes					
	Ventanas	0,70	0,74	0,67	0,70	1,17

Tabla 4: Coeficientes de absorción (Catálogo de elementos constructivos del CTE).

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN LOCAL ACONDICIONADO.

Tiempo de reverberación calculado con EASE 4.4 utilizando la fórmula de Sabine:



Band	R Time (s)
125 Hz	1,57
250 Hz	1,05
500 Hz	1,01
1000 Hz	0,89
2000 Hz	1,01
4000 Hz	0,95
8000 Hz	0,72

Tabla5: Tiempo de Reverberación (Fuente: EASE 4.4).

Gráfica 2: Tiempo de reverberación, (Fuente: EASE 4.4).

El cálculo del tiempo de reverberación mediante la ficha justificativa del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HR), comprobado mediante la herramienta del ministerio.

Tiempo de Reverberación (s) CTE DB- HR y Herramienta del Ministerio:	0,90 s
--	--------

Como se puede observar ambos valores están muy próximos, lo que valida el resultado final. Dicho valor cumple el tiempo de reverberación exigido para comedores y restaurantes cuyo valor máximo es de 0,9s.

VALORACIÓN GLOBAL DE LA SALA.

A partir de los cálculos realizados mediante el método justificativo del Código Técnico de la Edificación, en su sección protección frente al ruido, en lo relacionado a acondicionamiento acústico, se ha calculado el tiempo de reverberación de la sala original y se ha complementado con el estudio acústico avanzado mediante el software Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4). El proceso de creación del modelo, quizá la parte más laboriosa de este proyecto, ha permitido el desarrollo de un modelo virtual que caracteriza en gran medida a la sala en cuanto a sus condiciones acústicas. Tras ver que los parámetros acústicos obtenidos no son adecuados para este tipo de sala, se realiza un acondicionamiento acústico para la mejora del tiempo de reverberación, realizando la comprobación mediante dos métodos: el del Código Técnico de la Edificación y el de EASE 4.4; ambos utilizando la fórmula de Sabine. Las simulaciones realizadas evidencian tanto las virtudes como las carencias acústicas de la sala. En casi la totalidad del área de audiencia, se obtienen resultados óptimos en la sala acondicionada.

Los datos obtenidos antes y después de la mejora son los siguientes:		SALA ORIGINAL			SALA ACONDICIONADA		
		F1	F2	F3	F1	F2	F3
Tiempo de Reverberación (s).	CTE	2,60			0,90		
	EASE	2,53			0,89		
Campo sonoro total (dB).	Max.	109	107	108	109	106	107
	Min.	99	99	99	93	93	93
Campo directo-campo reverberante (dB).	Max.	10	7	8	16	14	15
	Min.	-24	-24	-25	-18	-18	-18
Pérdida de articulación de consonantes (% Alcons).	Max.	20			7		
	Min.	2			1		

Tabla 6: Resumen de los resultados obtenidos con EASE.

A la vista de los resultados obtenidos la valoración de la sala tras la mejora es buena, puesto que todos los parámetros se encuentran dentro de un rango objetivo y el tiempo de reverberación de la sala se ha mejorado cumpliendo nuestros objetivos y el límite que marca el Código Técnico de la Edificación. Si bien no era un objetivo principal, también se ha logrado una buena inteligibilidad para la palabra. Esto ha sido posible gracias a una correcta adecuación del tiempo de reverberación. Por tanto el resultado del proyecto ha sido muy positivo, logrando todos los objetivos planteados al inicio del mismo.



48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS
APPLICATIONS
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING
ACOUSTICS

REFERENCIAS.

- 1 ARANAU, H. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- 2 CALVO MANZANO, A. y PÉREZ LÓPEZ, A. (2009). *Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones*. Madrid: Sociedad Española de Acústica.
- 3 CARRIÓN ISBERT, A. (1998), *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edición de la Universitat Politècnica de Catalunya S.L.
- 4 COLINA TEJADA, C. (2005), *Acústica de edificación*. Madrid: Fundación Escuela de Edificación.
- 5 MÖSER, M. (2009), *Ingeniería acústica: Teoría y aplicaciones*. Berlín; Springer.
- 6 RECUERO LÓPEZ, M. (2001), *Acondicionamiento acústico*. Madrid: Paraninfo.
- 7 RODRÍGUEZ, F.J., DE LA PUENTE CRESPO, J. Y DÍAZ SANCHIDRIÁN, C. (2008). *Guía acústica de la construcción*. Madrid: CIE Inversores Editoriales Dossat 2000, S.L.
- 8 VALERO GRANADOS, S. (2011). *Acústica aplicada al interiorismo*. España: Arquifón, diseños contra el ruido, S.L.