

ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL AULA MAGNA 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 ⁽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⁾ Tel: 981 167000; ⁽²⁾ Tel: 913367775

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

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

ABSTRACT

The study of the acoustic conditions of the Aula Magna of the University School of Technical Architecture of the University of Coruna reveals some values not acceptable for a room of these characteristics.

In order to carry out the analysis and the subsequent proposal of improvement, we resort to different methodologies; from the use of engineering software "Enhanced acoustic simulator for engineers" (EASE), to the analytical calculation of the most important acoustic parameters in room acoustics. Based on this previous analysis, a possible solution is proposed to improve the acoustic behavior of the room, attending to various criteria such as technical or economic.

RESUMEN

El estudio de las condiciones acústicas del Aula Magna de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidade da Coruña, nos revela unos valores no asumibles para una sala de estas características.

Para realizar el análisis y la posterior propuesta de mejora, recurrimos a distintas metodologías; desde el uso del software de ingeniería "Enhanced acoustic simulator for engineers" (EASE), hasta el cálculo analítico de los parámetros acústicos más importantes en la acústica de salas. Apoyándonos en este análisis previo, se plantea una posible solución para mejorar el comportamiento acústico de la sala, atendiendo a diversos a criterios como técnicos o económicos.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo el estudio acústico del Aula Magna de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de A Coruña con la finalidad de analizar su comportamiento acústico. Esta aula tiene como actividad principal el desarrollo de actividades formativas de los propios alumnos de la escuela.

Para poder analizar el comportamiento acústico del recinto, se crea un modelo virtual mediante el software "Enhanced Acoustic Simulator for Engineers" (EASE). Los datos obtenidos a través de esta herramienta tecnológica, serán validados comparándolos con los obtenidos en las fichas justificativas del CTE DB-HR y los obtenidos con los cálculos analíticos de los parámetros acústicos estudiados. En este trabajo se estudiarán una serie de parámetros acústicos como son el Tiempo de Reverberación o el nivel de presión sonora total. En la acústica de la sala influirán de manera relevante factores como la geometría de la sala o los materiales utilizados.

Además de realizar el presente estudio acústico del recinto, este proyecto puede servir como fuente de información del comportamiento acústico de sala para posteriores trabajos o actuaciones sobre ella. Los datos obtenidos se reflejarán a través de gráficas y tablas, para una mejor comprensión.

CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO

El aula magna tiene un volumen aproximado de 1529,84 m³ y una capacidad de 374 personas sentadas. La audiencia está dispuesta en gradas ocupando un área de 223,22 m². El recinto objeto de nuestro análisis presenta una configuración simétrica respecto a un eje central (perpendicular a la mesa de oradores).



Figuras 1, 2,3 y 4. Vista de los distintos elementos que configuran el Aula Magna.

Los materiales, la disposición y porcentaje que ocupan y sus coeficientes de absorción son los siguientes:

MATERIAL	UBICACIÓN	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	α_m	ÁREA (m ²)	%
Linóleo	Suelo	0,03	0,03	0,04	0,03	485,28	24,06
Hormigón visto	pilares, viga de canto y canto de forjado	0,03	0,04	0,04	0,04	147,67	10,80
Enfoscado de mortero	Pared	0,06	0,08	0,04	0,06	168,12	20,55
Madera	Puertas y paneles de madera	0,08	0,08	0,08	0,08	48,33	17,61
Vidrio	Ventanas	0,05	0,04	0,03	0,04	20,3	2,53
Yeso	Falsos techos	0,05	0,09	0,07	0,06	297,82	23,74

Tabla 1. Coeficientes de absorción acústica de los materiales del aula magna. Fuente: EASE.

APLICACIÓN DEL CTE DB-HR

El DBHR establece un ámbito de aplicación, el cual excluye los recintos y edificios destinados a espectáculos, tales como auditorios, salas de música, teatros, cines, etc., así como las aulas y las salas de conferencias cuyo volumen sea mayor que 350 m³. Nuestro caso en concreto se adapta al supuesto de aulas y salas de conferencia con un volumen superior a 350 m³, ya que cuenta con un volumen de 1523,75 m³. Esta norma establece que los recintos como el aula magna deben ser objeto de un estudio especial en cuanto al diseño acústico de la sala.

El método de cálculo del tiempo de reverberación según el CTE DBHR se basa en la fórmula de Sabine y establece que para aulas y salas de conferencias de volumen inferior a 350 m³, el TR no será, mayor que 0,7 s. Aunque el aula magna no cumpla con las condiciones para la aplicación del DB-HR, al basarse en la fórmula de Sabine, si podremos realizar el cálculo del TR para tener un dato orientativo de entrada.

Posteriormente se deberá realizar un estudio acústico de la sala mediante herramientas avanzadas, en nuestro caso "Enhanced Acoustic Simulator for Engineers", tal y como establece el DBHR.

A (m ²) =	94,14	≥	305,97
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido
T (s)=	2,60	≤	0,70
			NO CUMPLE

MODELADO ACÚSTICO POR ORDENADOR DEL AULA MAGNA MEDIANTE "ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS", EASE

Para poder realizar las posteriores propuestas de mejora acústica es fundamental realizar una simulación del aula magna a través de un software informático como es EASE. Mediante este programa

obtendremos los parámetros acústicos más significativos para realizar un adecuado acondicionamiento acústico.

El procedimiento a seguir con el programa EASE, es el siguiente:

1. Definir geoméricamente el recinto.
2. Asignar materiales a cada una de las caras definidas.
3. Introducir micrófonos y áreas de audiencia.
4. Introducir fuentes sonoras.

Una vez modelado el recinto obtenemos parámetros basados en la teoría estadística, tales como:

- Tiempo de reverberación.
- Nivel de presión sonora directo.
- Nivel de presión sonora total.
- Relación directo/reverberante, D/R.

Para un correcto funcionamiento de EASE, se deberá realizar un modelo en 3D simplificado del aula magna, con respecto a la representación en los planos. Por ejemplo pilares y elementos salientes se asimilan a los paramentos en los que están contenidos. En el caso de ventanas se definen mediante su contorno. Para la definición geométrica también prescindimos de las luminarias y otros accesorios. Los asientos de madera serán asimilados como la parte horizontal de las gradas.

Con las coordenadas de los puntos necesarios fijadas, definimos las caras pasando por cada uno de los puntos que las conforman. Cada una de las caras serán las delimitadoras del volumen del recinto. Para poder realizar el estudio acústico del aula magna tendremos que asegurarnos que el volumen está completamente cerrado.

Una vez definida la geometría del aula magna, procedemos a introducir los distintos materiales que conforman el recinto, definir las áreas de audiencia en las gradas (a 1.20 m de altura con respecto a ellas) y se posicionan 8 puntos distribuidos por las gradas, simulando a los oyentes, los cuales se corresponden con los puntos tomados para realizar las mediciones "in situ". Se posicionan tres fuentes sonoras omnidireccionales (sphere), simulando las posiciones de la fuente dodecaédrica con la que se realizaron las mediciones "in situ".

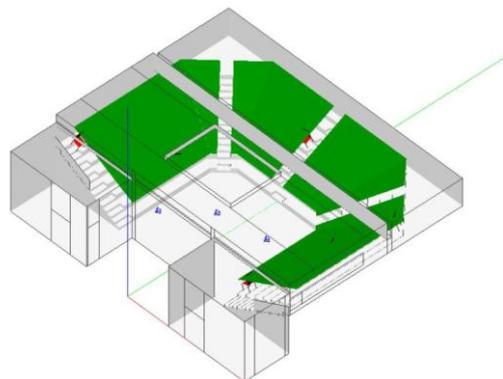
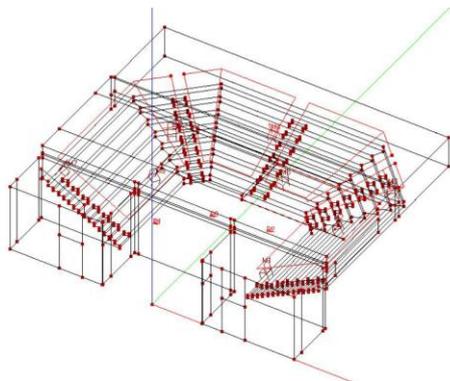


Figura 5. Definición geométrica del recinto. Fuente propia.

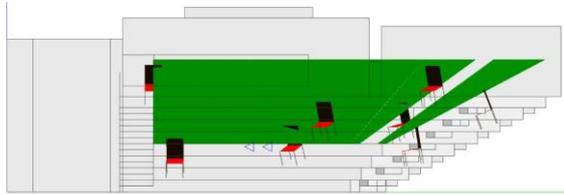


Figura 6. Vista 3D de las áreas de audiencia. Fuente: EASE.

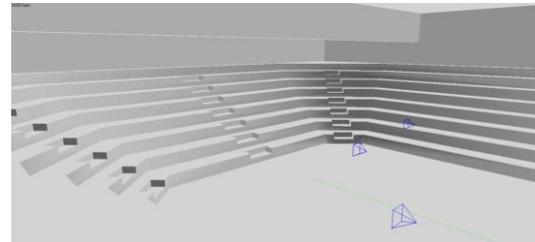


Figura 7. Vista lateral con algunos de los puntos de audiencia colocados en el aula magna. Fuente: EASE.

Figura 8. Posición de las fuentes. Fuente: EASE.

RESULTADOS DEL ESTADO ACTUAL EN EASE

A continuación se facilitan los datos obtenidos usando la versión 4.4 del software EASE. En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos en cada fuente sonora en relación con los distintos puntos de audiencia.

Parámetros			Resultados
Tiempo de Reverberación (1000 Hz)			2,76 s
SPL Directo	S1 - áreas de audiencia	Máximo	97,90 dB
		Mínimo	77,46 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	97,99 dB
		Mínimo	78,27 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	89,26 dB
		Mínimo	79,59 dB
SPL Total	S1 - áreas de audiencia	Máximo	101,42 dB
		Mínimo	98,89 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	101,46 dB
		Mínimo	98,91 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	99,31 dB
		Mínimo	98,91 dB
Radio D/R	S1 - áreas de audiencia	Máximo	-0,96 dB
		Mínimo	-21,40 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	-0,86 dB
		Mínimo	-20,59 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	-9,59 dB
		Mínimo	-19,26 dB

Tabla 2. Resultados estado actual con EASE. Fuente: EASE.

Como podemos observar el TR del aula magna presenta unos valores inadecuados en todas sus bandas de frecuencias para una sala de estas características. Por lo tanto será necesario adecuar la sala a unos valores de TR de 1,00 s aproximadamente. El DB-HR establece como valor máximo de TR, en salas de estas características, 0,7 s. En nuestro caso, como partimos de valores tan elevados, bajar a valores en el torno a 1,00 s supone una importante y más factible mejora acústica de la sala.

El Nivel de presión sonora directo (SPLd), en general, se tratan de valores elevados, por lo tanto el sistema es bueno ya que hay buena cobertura de sonido directo. Estos es debido, en parte, a la potencia de la fuente utilizada.

Los valores obtenidos del nivel de presión sonora total (Total SPL) adoptan valores en EASE en torno a 100 dB. Como observamos en los histogramas, el nivel de presión sonora total presenta uniformidad en sus valores.

Como se observa en la relación entre campo directo y reverberante, este último es mucho mayor, ya que el máximo es 0 dB y el mínimo -21 dB.

PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA

Una vez obtenidos y analizados los parámetros acústicos de la sala, determinamos la necesidad de realizar una serie de intervenciones con la intención de mejorar la calidad acústica del aula magna. La elección de la solución se realizará atendiendo tanto a criterios técnicos como económicos.

El objetivo principal de esta propuesta será mejorar los parámetros acústicos de la sala, prestando especial atención al Tiempo de Reverberación. Atendiendo a este parámetro conseguiremos una mejora generalizada de los demás parámetros acústicos del aula.

Por las razones indicadas con anterioridad adoptamos como solución la instalación de nubes acústicas suspendidas en el área que ocupa en la actualidad el falso techo y la disposición de cortinas acústicas en diversos puntos del recinto.

Las nubes se dispondrán de forma asimétrica a una distancia de 10 cm entre cada una. Para conseguir la composición deseada utilizaremos las medidas que nos ofrece el fabricante para estos productos, es decir, nubes cuadradas de 1,20 x 1,20 m y rectangulares de 1,20 x 0,60 m. Para llegar al Tiempo de Reverberación deseado además de recurrir a las nubes acústicas, dispondremos una serie de cortinas acústicas que ocupan el espacio de las tres ventanas que cuenta la sala, además de los paramentos que conforman la sala técnica del aula magna.

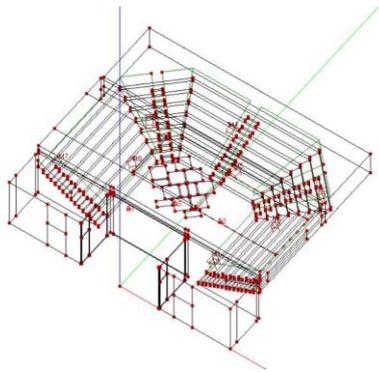


Figura 9. Vista 3D de la propuesta de mejora.
Fuente: EASE.

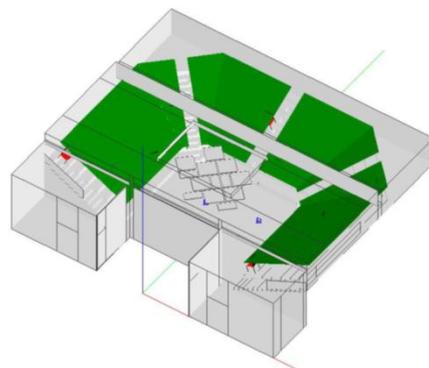


Figura 10. Vista 3D de las áreas de audiencia y las nubes acústicas. Fuente: EASE

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,26
250 Hz	0,77
500 Hz	0,88
1000 Hz	1,00
2000 Hz	1,00
4000 Hz	1,00
8000 Hz	1,00

Figura 11. Coeficiente de absorción de la nube Strato 2. Fuente: Texaa.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,06
250 Hz	0,35
500 Hz	0,83
1000 Hz	0,81
2000 Hz	0,77
4000 Hz	0,87
8000 Hz	0,87

Figura 12. Coeficiente de absorción de las cortinas acústicas. Fuente: Morpa.

CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA SEGÚN EL CTE DB-HR.

A (m ²) =	270,63	≥	305,97
Tiempo de reverberación resultante			“Tiempo de reverberación exigido”
T (s)=	0,90	≤	0,70

RESULTADOS DE LA MEJORA PROPUESTA EN EASE

Parámetros			Resultados
Tiempo de Reverberación (1000 Hz)			0,90 s
SPL Directo	S1 - áreas de audiencia	Máximo	97,90 dB
		Mínimo	77,46 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	97,99 dB
		Mínimo	78,27 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	89,26 dB
		Mínimo	79,59 dB
SPL Total	S1 - áreas de audiencia	Máximo	99,21 dB
		Mínimo	93,49 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	99,28 dB
		Mínimo	93,51 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	94,80 dB
		Mínimo	93,55 dB
Radio D/R	S1 - áreas de audiencia	Máximo	4,53 dB
		Mínimo	-15,92 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	4,62 dB
		Mínimo	-15,11 dB
	S3 - áreas de audiencia	Máximo	-4,11 dB
		Mínimo	-13,78 dB

Tabla 3. Resultados propuesta de mejora con EASE. Fuente: EASE.

El tiempo de reverberación disminuye significativamente en todas las bandas de frecuencia, acercándose así a los valores exigidos por el CTE DB-HR. Con la mejora experimentada en este parámetro, no será suficiente para considerar adecuado el comportamiento acústico de la sala, aunque si podemos afirmar que experimenta un mejora sustancial.

Al usar las mismas fuentes sonoras y no variar ninguno de los parámetros que podrían afectar, los resultados obtenidos del Nivel de Presión Sonora Directo se mantienen.

El SPL Total después de la mejora realizada experimenta una reducción de intervalo entre el valor máximo y el mínimo. Si analizamos la distribución de los valores del nivel de presión sonora total observamos que los valores se concentran en un intervalo pequeño.

En cuanto a la relación entre campo directo y reverberante, después de la propuesta de mejora se obtienen valores positivos, es decir, en el que el campo directo prevalece sobre el reverberante. Aun así, sigue predominando el campo reverberante pero con valores más próximos a 0 dB.

CONCLUSIONES

A partir de la realización del modelo en 3D con el software EASE, del aula magna, llevamos a cabo la simulación acústica de la sala, proporcionándonos los parámetros necesarios para concluir que los valores obtenidos en la sala no cumplen ni con los requerimientos fijados por la normativa, ni con los textos de referencia sobre dicho tema.

Tanto el Tiempo de Reverberación, como los demás parámetros obtenidos con el software EASE (SPL Directo, SPL Total, Radio D/R), han sido validados analíticamente con posterioridad, arrojando resultados asimilables a los obtenidos con esta herramienta informática. También se ha procedido al cálculo del Tiempo de Reverberación a través de la fichas justificativas del CTE DB-HR, obteniendo resultados similares a los desarrollados aplicando los procedimientos anteriormente indicados. Con todo, este estudio nos ha permitido observar las limitaciones que en algunos campos de la acústica arquitectónica nos ofrece el CTE en su documento básico de protección frente al ruido.

El proceso de obtención de datos y posterior análisis, nos permite dar una propuesta de solución acorde con los problemas acústicos y arquitectónicos que el recinto presenta.

Mediante esta propuesta de mejora conseguiríamos que los parámetros que afectan a la calidad acústica del aula magna, se muevan en unos intervalos óptimos para el uso de la palabra y desarrollar las actividades que se requieren en un recinto de estas características.

REFERENCIAS

1. **Arau, Higinio.** *ABC de la acústica arquitectónica.* s.l. : Ediciones CEAC, 1999. 84-329-2017-7.
2. **Carrión, Antoni.** *Diseño acústico de espacios arquitectónicos.* Barcelona : Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 1998. 84-8301-252-9.
3. **Parra, Pedro Cobo.** *Absorción del sonido.* Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2015. 9788400099527.
4. **Domenech, Francesc Daumali i.** *Arquitectura acústica 2, Disseny.* Barcelona : UPC, 2000. 84-8301-414-9.
5. **Tejada, C. de la Colina.** *Acústica de la Edificación.* Madrid : Fundación Escuela de Edificación, 1997. 84-86957-71-0.



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

6. **Möser, Michael.** *Ingeniería acústica: teoría y aplicaciones. 2ª edición.* Berlín : Springer, 2009. 978-3-642-02543-3.

7. **González, Javier Neila.** *Condiciones de diseño acústico .* Madrid : Instituto Juan Herrera, Escuela de Arquitectura, 1999. 84-89977-64-X.

8. **Granados, Santiago Valero.** *Acústica aplicada al interiorismo.* s.l. : Arquifon, diseños contra el ruido, 2011. 978-84-614-7626-8.