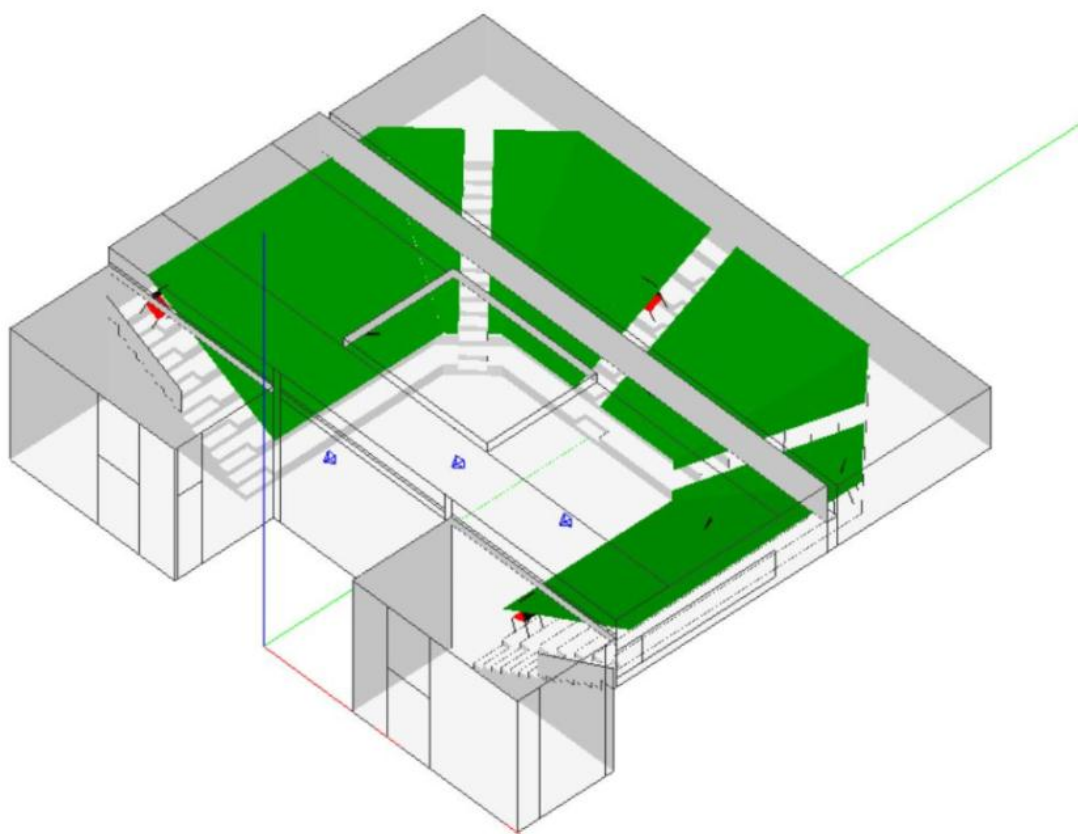


ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DEL AULA MAGNA DE LA ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA DE LA UNIVERSIDAD DE A CORUÑA.



AUTOR: MANUEL BUJEIRO LARIÑO.

DIRECTOR: D. PEDRO FERNANDO NOGUEIRA LÓPEZ.

JULIO 2016







AGRADECIMIENTOS.

A mi tutor D. Pedro Fernando Nogueira López, por todo su tiempo dedicado y por adentrarme en un campo casi desconocido para mí.

Al profesor de la Universidad Politécnica de Madrid, D. Juanjo José Gómez Alfageme, por su aportación desinteresada en este trabajo fin de grado.

A mis padres, por el apoyo incondicional mostrado durante estos años.

A Miriam, Amanda, María y a mis amigos de baile, por entender mi ausencia en determinados momentos.

A mis amigos de clase, por acompañarme en este camino, en especial a Alex, lo que juntos empezamos, juntos lo acabamos.





RESUMEN.

En el presente proyecto se ha realizado un estudio de las condiciones acústicas del Aula Magna de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidade da Coruña.

El Aula Magna en lo referido a su comportamiento acústico no alcanza unos valores aceptables para una sala de estas características, de ahí el objeto de este proyecto.

Para conseguir un análisis y una posterior propuesta de mejora, lo más adecuada posible, 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.

Apoyándome en este análisis previo, planteo una posible solución para mejorar el comportamiento acústico de la sala, atendiendo a diversos criterios tales como, técnicos y económicos.

ABSTRACT.

In this project we have made a study of the acoustics of the Aula Magna of the Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidade da Coruña.

The Aula Magna with regard to their acoustic behavior does not reach acceptable values for a living these characteristics, hence the object of this project.

To get an analysis and subsequent improvement proposal, as appropriate as possible, we use different methodologies; from the use of software engineering "Enhanced Acoustic Simulator for Engineers" (EASE) to the analytical calculation of the most important acoustic parameters in room acoustics.

I support me in this preliminary analysis; I propose a possible solution to improve the acoustic behavior of the room, according to various criteria such as technical and economic.





ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1. Introducción.....	3
1.2. Estructura del trabajo.	3
1.3. Objetivos.	4

2. CONCEPTOS TEÓRICOS BÁSICOS.

2.1. Definición de sonido.....	9
2.2. Ondas sonoras.....	10
2.2.1. Parámetros característicos de las ondas sonoras.	10
2.2.1.1. Amplitud.	10
2.2.1.2. Período (T).....	10
2.2.1.3. Frecuencia (f).....	11
2.2.1.4. Longitud de onda (λ).	11
2.2.1.5. Velocidad de una onda longitudinal.	12
2.3. Magnitudes físicas del sonido.	12
2.3.1. Nivel de presión sonora.	12
2.3.2. Nivel de potencia sonora.	12
2.3.3. Nivel de intensidad sonora.	13
2.3.4. Relación entre la presión sonora e intensidad.....	13
2.4. Absorción.	13
2.5. Acondicionamiento acústico.....	16

3. CONCEPTOS GENERALES DE ACÚSTICA DE SALAS.

3.1. Propagación del sonido.....	21
3.1.1. Propagación del sonido en un recinto cerrado.	21
3.1.1.1. Difracción.	21
3.1.1.2. Reflexión.	21
3.1.1.3. Refracción.....	22
3.1.1.4. Resonancia.	23
3.1.1.5. Enmascaramiento.	23



3.1.2.	Sonido directo y sonido reflejado.....	23
3.1.2.1.	Sonido directo.	23
3.1.2.2.	Sonido reflejado.	23
3.2.	Teorías en el acondicionamiento acústico de salas.	24
3.2.1.	Acústica geométrica.	25
3.2.2.	Acústica estadística.....	26
3.2.3.	Acústica ondulatoria.	27
3.2.4.	Psicoacústica.....	28

4. PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD ACÚSTICA DE SALAS.

4.1.	Tiempo de reverberación.	33
4.2.	Nivel de Presión Sonora Directo. (Direct SPL).	33
4.3.	Nivel de Presión Sonora Total (Total SPL).....	34
4.4.	Relación entre directo y reverberante (D/R RATIO).	34
4.5.	Criterios de inteligibilidad.	35
4.5.1.	Pérdidas de articulación de consonantes (ALCONS).	35
4.5.2.	STI.	36
4.5.3.	RASTI. Índice de Transmisión de la Palabra Rápido.....	36
4.6.	Distancia Crítica.	37
4.7.	Tiempo de Llegada.....	37
4.8.	Tiempo de Retardo Inicial del Sonido. (ITD GAP).....	37
4.9.	Relaciones Energéticas (ELR).	38
4.9.1.	Claridad de la voz C7.	38
4.9.2.	Claridad de la voz C50.	39
4.9.3.	Claridad musical C80.....	39
4.10.	Niveles de Presión (Pressure Levels).	40
4.10.1.	L7.	40
4.10.2.	L50.	40
4.10.3.	L80.	40
4.10.4.	Lsplit.....	40
4.11.	Índice de Articulación IA (Articulation Index).	40
4.12.	Índice de Aislamiento (Privacy Index).	41



5. CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO.

5.1. Historia.....	45
5.2. Situación.....	45
5.3. Capacidad.....	47
5.4. Características Geométricas.....	47
5.4.1. Planta.....	47
5.4.2. Techo.....	48
5.4.3. Paramentos verticales.....	49
5.4.4. Asientos.....	50
5.5. Características generales de los materiales.....	50
5.5.1. Linóleo.....	50
5.5.2. Yeso.....	51
5.5.3. Hormigón visto.....	51
5.5.4. Madera.....	51
5.5.5. Vidrio.....	51
5.6. Comportamiento acústico de los materiales.....	52

6. APLICACIÓN DEL CTE DB-HR.

6.1. Ámbito de Aplicación.....	59
6.2. Cálculo del Tiempo de Reverberación según el CTE DB-HR.....	60

7. MODELADO ACÚSTICO POR ORDENADOR DEL AULA MAGNA MEDIANTE “ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS”, EASE.

7.1. Modelado acústico por ordenador mediante el software “Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”, EASE.....	65
7.2. Definición geométrica del recinto.....	65
7.3. Identificación de los materiales.....	67
7.4. Áreas de audiencia.....	68
7.5. Posiciones de los oyentes.....	68
7.6. Fuentes sonoras.....	69
7.7. Resultados obtenidos con EASE.....	70
7.7.1. Tiempo de Reverberación, RT.....	71
7.7.2. Nivel de Presión Sonora Directo (dB).....	70



7.7.3.	Nivel de Presión Sonora Total (dB).	78
7.7.4.	Relación entre campo directo y reverberante (D/R RATIO).	83
7.7.5.	Análisis de los resultados obtenidos.	88
8. CÁLCULO ANALÍTICO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.		
8.1.	Nivel de Presión Sonora directo.	91
8.2.	Nivel de Presión Sonora Reverberante.	91
8.3.	Nivel de Presión Sonora Total.	90
8.4.	Relación entre campo directo y reverberante (D/R RATIO).	91
8.5.	Comparación de datos obtenidos con EASE y analíticamente.	91
9. VALIDACIÓN DEL MODELO.		
9.1.	Introducción.	97
9.2.	Condiciones de medición.	97
9.3.	Métodos de medida.	98
9.3.1.	Método del Ruido Interrumpido.	98
9.3.2.	Método de la Respuesta Impulsiva Integrada.	98
9.4.	Equipo utilizado para la medición.	99
9.4.1.	Fuente acústica.	99
9.4.2.	Micrófonos y equipo de análisis.	99
9.5.	Proceso de funcionamiento del sistema.	100
10. PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA.		
10.1.	Ideas de partida para la mejora acústica.	105
10.2.	Elementos utilizados en la mejora acústica y características.	106
10.2.1.	Nubes acústicas.	107
10.2.2.	Cortinas acústicas.	109
10.3.	Cálculo del Tiempo de Reverberación de la propuesta de mejora según el CTE DB-HR.	111
10.4.	Resultados de la mejora propuesta en EASE.	114
10.4.1.	Tiempo de Reverberación, RT.	115
10.4.2.	Nivel de Presión Sonora Directo.	117
10.4.3.	Nivel de Presión Sonora Total.	120



10.4.4. Relación entre campo directo y reverberante.....	123
10.5. Cuadro comparativo del estado actual con la propuesta de mejora..	126
11. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA.	
11.1. Medición de la propuesta de mejora.	129
11.2. Precios descompuestos.	132
11.3. Presupuesto de la propuesta de mejora.....	136
12. CONCLUSIONES.....	139
13. BIBLIOGRAFÍA.....	143
ÍNDICE DE FIGURAS.	153
ÍNDICE DE TABLAS.	153
ANEXOS.....	159
Planos.....	161
Tablas de resultados de los parámetros acústicos obtenidos con “Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”, EASE.	181
Fichas comerciales de los elementos utilizados.	209





1.INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.





1.1. INTRODUCCIÓN.

Este proyecto versa sobre 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 el desarrollo de actividades formativas de los alumnos 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). Gracias a esto podremos estudiar los posibles defectos y así poder facilitar distintas soluciones al aula magna.

Los datos obtenidos mediante esta herramienta tecnológica, serán validados realizando mediciones “in situ”, los cuales nos permitirán un conocimiento fidedigno del aula magna.

En este trabajo se estudiarán una serie de parámetros acústicos, tales como el tiempo de reverberación o el nivel de presión sonora total, para una correcta valoración del aula.

En la acústica de la sala influyen factores tales como la geometría de la sala o los materiales utilizados.

Además de realizar el propio análisis acústico del recinto, este proyecto puede servir como fuente de información del comportamiento acústico de sala, para posteriores trabajos o actuaciones sobre ella.

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

1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO.

La memoria que a continuación se expone, contará con dos grandes bloques, uno de conceptos teóricos básicos para la introducción en la acústica de salas y otro gran bloque en el que se realizará un estudio acústico práctico, en nuestro caso el aula magna.



En el apartado de conceptos teóricos se tratará de definir de forma concisa conceptos básicos del sonido así como de la acústica de salas.

En este segundo gran bloque cuenta con una serie de partes diferenciadas:

- Descripción del aula magna en cuanto a su volumetría y a los materiales de acabado que la conforman.
- Aplicación del CTE DB-HR en este tipo de recintos y cálculo del tiempo de reverberación según esta normativa.
- Modelado acústico por ordenador mediante el software Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE).
- Comparación y análisis de los datos obtenidos tanto a analíticamente como mediante Enhanced Acoustic Simulator for Engineers
- Propuesta de mejora para el aula magna.
- Presupuesto de la mejora presentada.
- Valoración y conclusiones en torno al proyecto realizado.

1.3. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este proyecto es conseguir por parte del alumno una mayor profundización en el conocimiento en el campo de la acústica, más concretamente en el acondicionamiento acústico de salas. Para cumplir este objetivo final, habrá que abordar:

- Estudio de los parámetros físicos del acondicionamiento más importantes que influyen en la acústica de salas y de su normativa aplicable.
- Estudio de la calidad acústica que presenta el aula magna, como recinto destinado a la docencia.
- Uso de la metodología establecida por el CTE DB-HR, para el acondicionamiento acústico de salas.
- Aplicación de herramientas avanzadas y de apoyo para el estudio acústico de la sala, mediante “Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”, (EASE).
- Modelización del relicinto mediante el software “Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”, (EASE). Mediante esta modelización podremos



conocer los parámetros acústicos que en mayor medida afectan a la calidad acústica de una sala.

- Propuesta y estudio de la mejora presentada. Una vez realizada la modelización, será más fácil poder dar una respuesta más ajustada a los problemas que afectan a este recinto.
- Desarrollo de las medidas experimentales realizadas “in situ”.
- Análisis crítico de los resultados obtenidos con los distintos medios utilizados.
- Análisis de la viabilidad de la propuesta de mejora propuesta.
- Análisis de viabilidad de las propuestas de mejora presentada para el caso del aula magna.
- Orientación hacia la publicación/comunicación del estudio.





2.CONCEPTOS TEÓRICOS BÁSICOS.





2.1. DEFINICIÓN DE SONIDO.

El sonido es un movimiento ondulatorio en un medio elástico donde las partículas de aire, sometidas a vibración se mueven solo una cantidad infinitesimal a cada lado de su posición de equilibrio, pero no así la energía sonora que progresa con la perturbación pudiendo alcanzar grandes distancias. La propagación de la perturbación sonora se produce por la compresión y expansión del medio en el que se propaga. La elasticidad del medio permite que cada partícula transmita la perturbación a la partícula adyacente, dando lugar a un movimiento en cadena. El medio transmisor es fundamental para la propagación del sonido. La propagación de estas ondas cumplen los mismos principios físicos básicos que cualquier tipo de onda.

Por lo tanto los elementos básicos en la propagación del sonido son: el emisor, que provoca las perturbaciones; el medio de transmisión, cambios de densidad o presión que se producen en el formando una onda mecánica; el receptor, las ondas llegan al cerebro a través de corrientes eléctricas. (Arau, Higini, 1999).

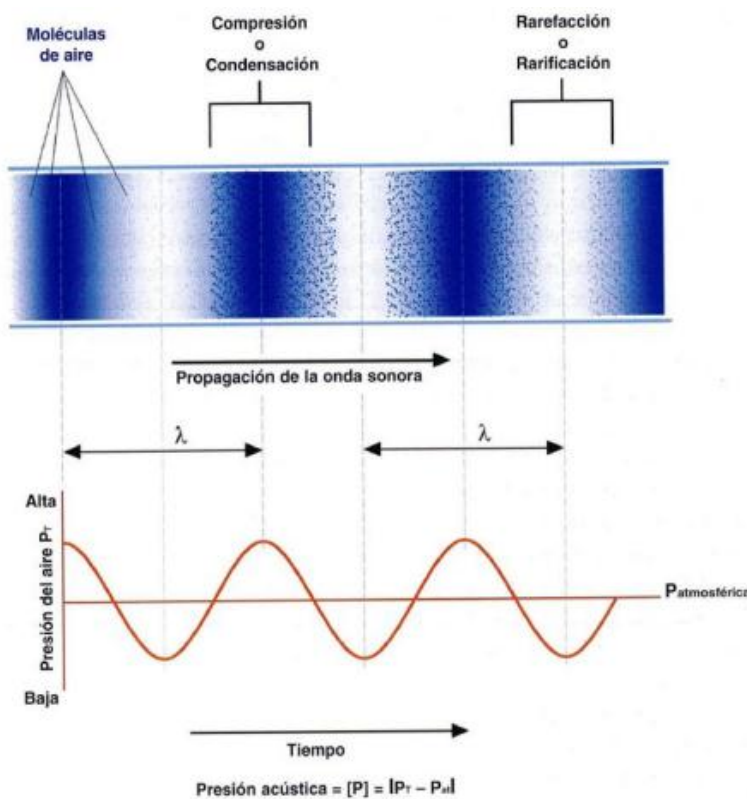


Figura 1. Propagación de una onda. (Rodríguez Rodríguez Francisco Javier y Díaz Sanchidrián César 2000).



2.2. ONDAS SONORAS.

Una onda sonora es la representación del cambio de la presión del aire en los dominios de tiempo y espacio simultáneamente.

Para poder clasificar las ondas sonoras en planas, esféricas y cilíndricas, hay que tener en consideración los siguientes factores:

- La naturaleza del foco emisor.
- Las dimensiones del foco emisor en relación con la longitud de onda de la vibración aérea emitida.
- La frecuencia emitida.
- La distancia entre la fuente sonora y el punto de recepción.
- La directividad de la fuente sonora.

(Arau, Higini, 1999).

2.2.1. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS ONDAS SONORAS.

2.2.1.1. Amplitud.

Valor máximo de la magnitud de la onda con respecto a su posición de equilibrio. Esta magnitud está relacionada con la energía transportada.

La unidad de medida absoluta de la amplitud es el Pascal ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$). El ámbito de audición humana está entre $20\mu\text{Pa}$ y 60 Pa aproximadamente. Debido a la cantidad de valores entre este rango no resulta práctico, por lo que se utiliza una escala relativa en decibelios, los valores en esta escala relativa tienen un rango desde 0 dB a 120dB o 130 dB .

Por otra parte el oído no percibe los estímulos de forma lineal sino logaritmicamente. (Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier y Díaz Sanchidrián, César, 2000).

2.2.1.2. Período (T).

Es el tiempo que tarda una partícula del medio en realizar una oscilación completa. Se mide en segundos.

$$T = \frac{1}{f} \text{ (s)}$$



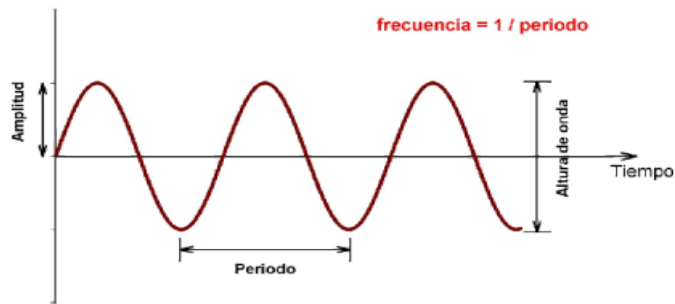


Figura 2. Representación de la amplitud, período y frecuencia. (Carrión Antoni 1998).

2.2.1.3. Frecuencia (f).

Numero de oscilaciones (ciclos) en un segundo. La unidad de medida es el Hertzio (Hz) que corresponde a un ciclo por segundo. Los rangos de frecuencia audibles por el oído humano van desde los 20 Hz a los 20 kHz. Los valores inferiores a este rango son los denominados infrasonidos mientras que los superiores son conocidos como ultrasonidos. Cuanto más lenta sea la oscilación más grave será el sonido, por el contrario, cuanto más altas sean las frecuencias, más agudo será el sonido. (Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier y Díaz Sanchidrián, César, 2000)

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}$$

2.2.1.4. Longitud de onda (λ).

Distancia que recorre la onda en un ciclo completo (T), por lo que podemos decir que es la distancia mínima que separa dos puntos consecutivos del medio que se encuentran en el mismo estado de vibración. (Rodríguez Rodríguez, Francisco Javier y Díaz Sanchidrián, César, 2000)

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

λ : longitud de onda.

c: velocidad de propagación con la que se propaga el frente de ondas.

T: período.

f: frecuencia.





Figura 3. Representación de la amplitud, longitud de onda y altura de onda. (Carión Antoni 1998).

2.2.1.5. Velocidad de una onda longitudinal.

La velocidad de propagación del sonido es la velocidad con la que se desplazan las ondas sonoras en un medio elástico. Depende de factores como la presión y temperatura. La velocidad de propagación dependerá del medio. La velocidad de propagación es mucho mayor en medios sólidos que en el aire. La velocidad de propagación en el aire es $c= 344$ m/s.

2.3. MAGNITUDES FÍSICAS DEL SONIDO.

2.3.1. NIVEL DE PRESIÓN SONORA.

El nivel de presión sonora L_p se define como la relación logarítmica de la presión sonora eficaz p respecto a una presión de referencia p_0 , de valor $p_0=2 \times 10^{-5}$ N/m², que se escribe así:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

Donde.

P presión sonora, Pa.

P_0 presión sonora de referencia de valor 20 μ Pa, que coincide con el umbral de audición.

2.3.2. NIVEL DE POTENCIA SONORA.

El nivel de potencia sonora L_w , se define a través de la siguiente expresión logarítmica, cuya unidad adimensional es el decibelio (dB).



$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

Dónde:

W potencia sonora de la fuente.

W_0 potencia sonora de referencia $W_0 = 10^{-12} W$.

2.3.3. NIVEL DE INTENSIDAD SONORA.

El nivel de intensidad sonora se define mediante la siguiente expresión:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Donde.

I intensidad sonora de la fuente.

I_0 intensidad acústica de referencia, que vale, $I_0 = 10^{-12}$ vatios/m².

2.3.4. RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN SONORA E INTENSIDAD.

La intensidad y la presión sonora son directamente proporcionales.

La relación es la siguiente:

$$I = p \cdot v_p$$

Donde.

I intensidad sonora.

P presión sonora.

V_p velocidad vibratoria.

2.4. ABSORCIÓN.

La absorción acústica es la disminución de la energía acústica disipada generalmente en energía calorífica al ser absorbida por el medio en el que está



propagando. En recinto, esta pérdida de energía se debe a la absorción del aire, a la de los revestimientos, objetos, mobiliario y a las personas.

La cantidad de energía absorbida por el paramento depende del tipo de material, de la forma, del espesor, del método de montaje, así como del ángulo de incidencia y de la frecuencia de onda existente. (Valero Granados, Santiago, 2011).

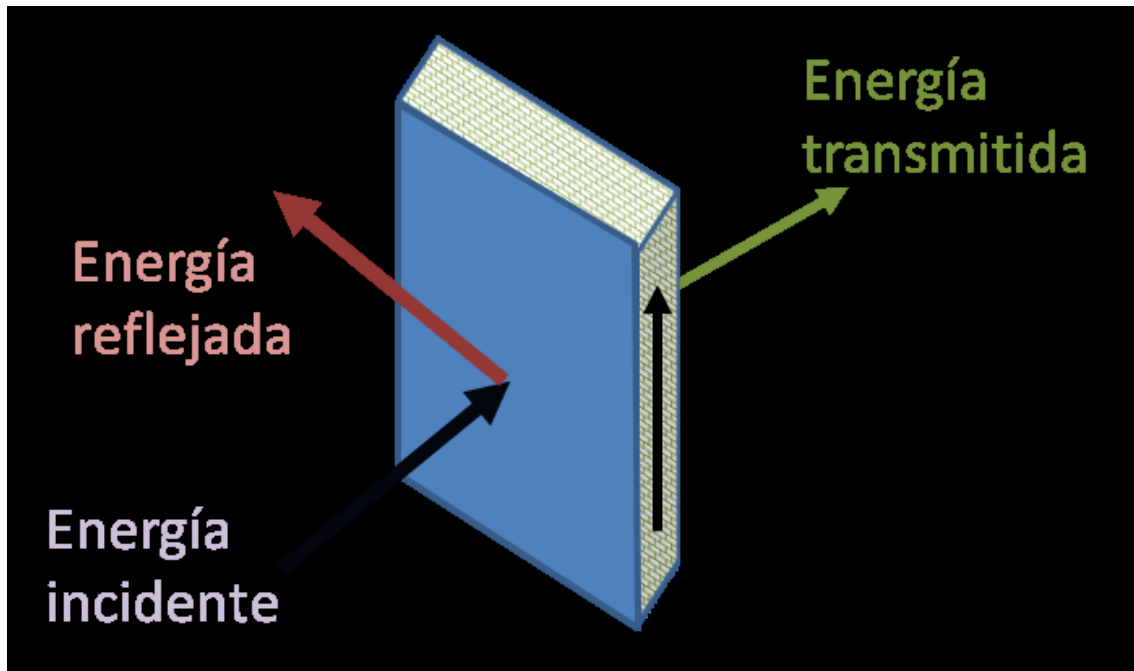


Figura 4. Encuentro de una onda con un elemento. Fuente: UDC.

$$E_i = E_r + E_d + E_t$$

Cuando una onda sonora incide sobre una superficie que separa dos medios, la energía transportada se repartirá en:

- Energía reflejada (E_r).
- Energía transmitida (E_t).
- Energía disipada (E_d).

Esta fórmula como podemos observar es fruto del principio de conservación de la energía.

Energía incidente: energía incidente que sobre una superficie que separa dos espacios.

Energía reflejada: energía que, en función del acabado de la partición, vuelve hacia el lado de la onda incidente (local emisor).

Energía disipada: energía que en función de los acabados de la partición, se disipa mayoritariamente en energía calorífica.

Energía transmitida: energía que incide sobre la partición y se propaga al local colindante.

La energía absorbida es la suma de la energía transmitida y la energía disipada.

Si dividimos la expresión anterior entre E_i cada uno de los miembros obtendremos:

$$1 = \alpha + r + \tau$$

En donde:

$\alpha = E_a/E_i \equiv$ coeficiente de absorción acústica.

$r = E_r/E_i \equiv$ coeficiente de reflexión.

$\tau = E_t/E_i \equiv$ coeficiente de transmisión.

Con los coeficientes de absorción, reflexión y transmisión un material queda definido acústicamente.

El valor del coeficiente de absorción α de un material depende de los siguientes factores:

- La rugosidad del material y particularmente su porosidad.
- La pérdida de energía por procesos viscoelásticos debido al paso del aire a través del material, que se puede caracterizar por la resistencia al paso del flujo del aire.
- La conducción térmica entre el material y el aire.
- La difracción de la onda sonora debido a las irregularidades superficiales del material.



Para calcular la absorción acústica de un recinto se debe sumar la absorción que aporta cada una de las superficies de distinto material, así como objetos o mobiliario que pudiera contener y la absorción del aire. La absorción de una superficie se obtiene multiplicando su coeficiente de absorción por su superficie:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (\text{m}^2)$$

Desarrollando la fórmula:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{0,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$$

Siendo:

$\alpha_{m,i}$ Coeficiente de absorción medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava de 500, 1000, 2000Hz.

S_i Área de paramento cuyo coeficiente de absorción es α_i .

$A_{0,m}$ Área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente.

V Volumen del recinto.

m_m Coeficiente de absorción medio del aire, para las frecuencias de 500,1000, 2000Hz.

2.5. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

Por acondicionamiento acústico se entiende una serie de medidas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas y un ambiente sonoro interior determinados conforme al uso que se le va a dar al recinto.

El acondicionamiento acústico consiste básicamente en controlar las reflexiones de las ondas sonoras que se producen sobre los distintos elementos en los que inciden. Este control se puede realizar de diversas maneras, como por ejemplo con el uso de materiales absorbentes o también difundirlas mediante superficies irregulares.



Para realizar un acondicionamiento adecuado se deberá conocer el coeficiente de absorción en función de la frecuencia, ya que no todos los materiales absorben de la misma forma sonidos graves, agudos o medios.

Otro factor básico para realizar un adecuado acondicionamiento es conocer bien el recinto sobre el que actuar. Según Higini Arau en su obra “ABC de la acústica arquitectónica”, hay tres esquemas de pensamiento: la acústica geométrica, la acústica estadística y la acústica ondulatoria.





3.CONCEPTOS GENERALES DE ACÚSTICA DE SALAS.





3.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO.

En este apartado analizaremos los factores que influyen en la calidad final del sonido.

Explicaremos la propagación del sonido en el interior de un recinto y las distintas teorías aplicables.

3.1.1. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN UN RECINTO CERRADO.

La energía que radia una fuente sonora en un recinto cerrado llega al oyente ubicado en la misma de dos formas distintas: parte llega de forma directa (sonido directo), mientras que otra parte llega de forma indirecta (sonido reflejado), provocado por las reflexiones de la onda sonora cuando incide sobre las diferentes superficies del recinto.

El sonido directo está asociado a la potencia acústica radiada por la fuente, la directividad de la fuente y la distancia entre el oyente y la fuente, mientras que el sonido reflejado depende de las diferentes trayectorias seguidas por el sonido reflejado hasta llegar al oyente, y por tanto del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies. Cuanto mayor sea la distancia a recorrer y más absorbentes sean los materiales utilizados, menor será la energía que llega al oyente (tanto directo como reflejado). (Carrión, Antoni, 1998).

En un recinto cerrado, se producen una serie de fenómenos a tener en cuenta tales como:

3.1.1.1. Difracción.

Fenómeno de propagación no rectilínea que se produce cuando una onda se encuentra un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda, por lo que esta la rodea. La otra opción de difracción es la debida a la capacidad que tienen las ondas de pasar por orificios, generándose estos como focos primarios de radiación esférica (principio de Huygens).

3.1.1.2. Reflexión.

Fenómeno que se produce cuando las ondas sonoras se encuentran con una superficie que las separa de otro medio de propiedades elásticas distintas la



cual no pueden traspasar ni rodear, por lo que rebotan. A causa del choque se produce un cambio de dirección y sentido. Cuando el obstáculo es fijo, como una pared, el módulo de la velocidad se conserva. En la propagación del sonido, también se cumplen las leyes de la reflexión de las ondas, es decir, ángulo de incidencia = ángulo de reflexión.

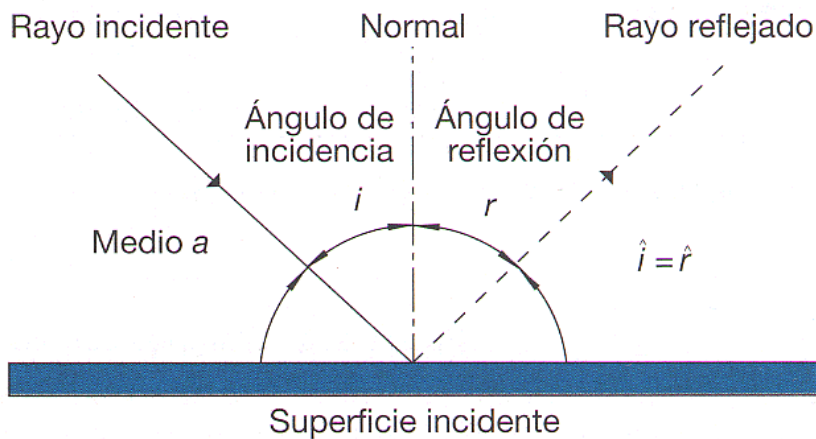


Figura 5. Concepto de reflexión. Fuente: Internet.

3.1.1.3. Refracción.

Es el cambio de dirección que experimenta una onda que se propaga por un medio cuando pasa a otro medio en el que su velocidad de propagación es distinta.

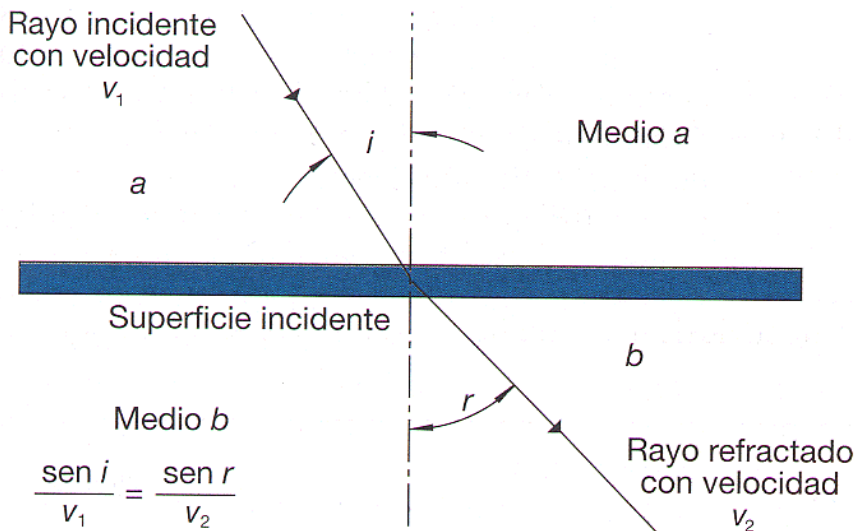


Figura 6. Concepto de refracción. Fuente: Internet.



Cuando la velocidad de propagación es menor en el segundo medio, el rayo se desvía acercándose a la normal. La velocidad de propagación será mayor en los sólidos.

3.1.1.4. Resonancia.

En acústica se refiere al fenómeno por el cual se refuerza la amplitud de las ondas sonoras a determinadas frecuencias discretas ya que se transfiere la máxima energía entre el foco sonoro y el receptor.

3.1.1.5. Enmascaramiento.

Se produce cuando en la audición simultánea de dos sonidos, uno de ellos tapa al otro pudiendo llegar a ser inaudible el más débil. Además el enmascaramiento dificulta la audición del sonido preponderante.

3.1.2. SONIDO DIRECTO Y SONIDO REFLEJADO.

3.1.2.1. Sonido directo.

Es el sonido emitido por la fuente, es decir, es el que depende de la distancia a la fuente sonora y de la directividad de la misma. El nivel de presión sonora disminuye 6 dB al duplicar la distancia a la fuente. También se puede definir una onda directa como aquella que proviene en línea recta desde la fuente, aunque esto no cumple por completo la ley de divergencia. (Ortiz, Luís I, 1992).

3.1.2.2. Sonido reflejado.

Si analizamos el sonido reflejado que llega a un punto dentro de un recinto, observamos que hay dos zonas con comportamiento diferenciado: una referida a las reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo y otra denominada cola reverberante, que corresponde con las reflexiones tardías.

La llegada de reflexiones a un punto se produce de forma continua. Las primeras reflexiones llegan de forma más discreta que las tardías, debido a que se trata de reflexiones de orden bajo.

El sonido reflejado varía en cada caso concreto en función de la forma y del volumen del recinto. (Ortiz, Luís I, 1992).



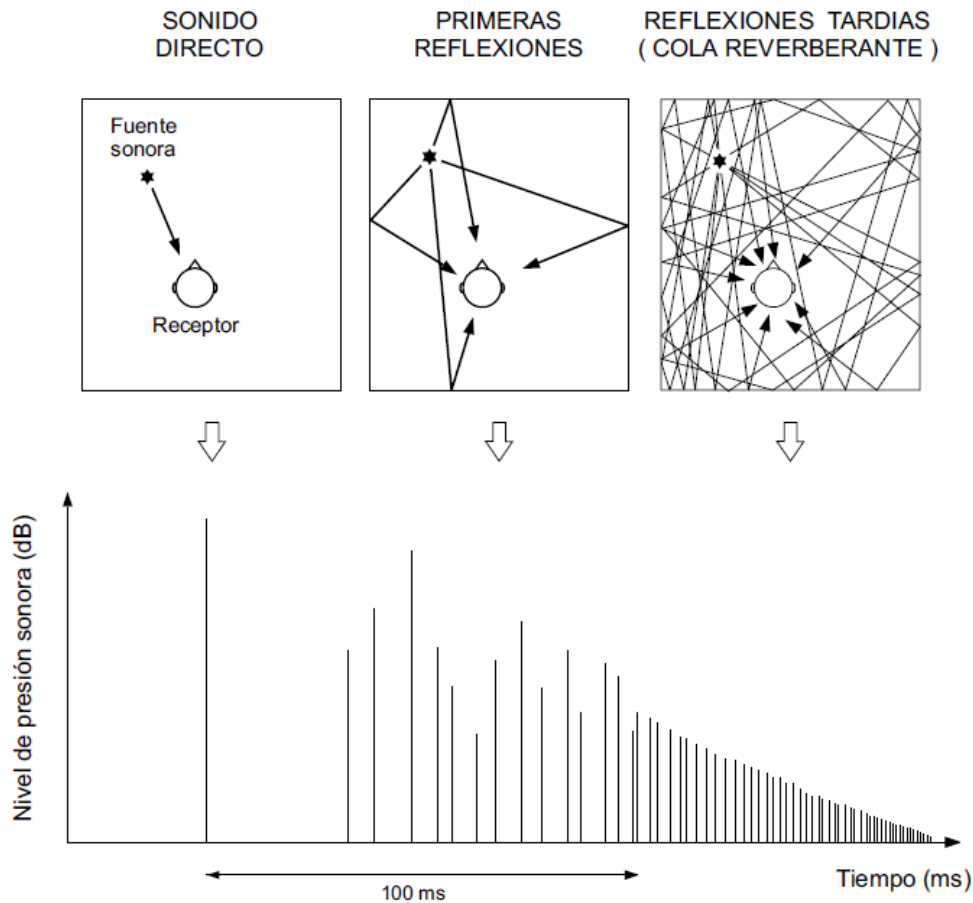


Figura 7. Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante. (Ortiz, Luís I, 1992).

3.2. TEORÍAS EN EL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE SALAS.

Hay distintas teorías utilizadas para el análisis acústico de espacios arquitectónicos, con el objetivo fundamental de conseguir un acondicionamiento acústico correcto.

- Acústica geométrica.
- Acústica estadística.
- Acústica ondulatoria.
- Psicoacústica.

3.2.1. ACÚSTICA GEOMÉTRICA.

Normalmente, las primeras reflexiones presentan un nivel energético mayor que las correspondientes a la cola reverberante, ya que son de orden más bajo. Además, por el hecho de depender directamente de las formas geométricas de la sala, son específicas de cada punto y, por tanto, determinan las características acústicas propias del mismo, juntamente con el sonido directo.

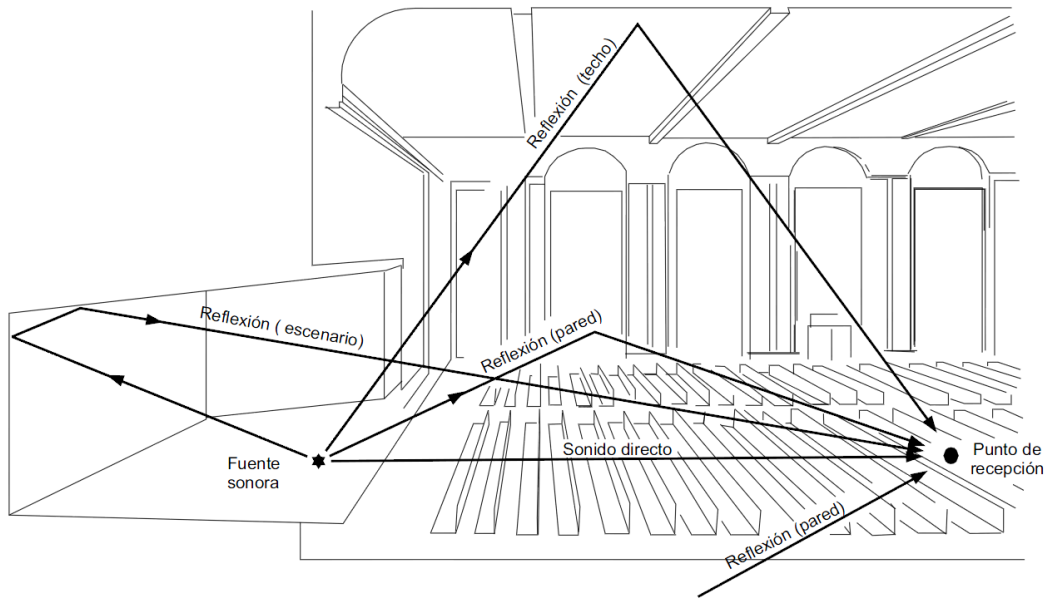


Figura 8. Llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones al receptor. (Carrión, Antoni, 1998).

La hipótesis elemental de partida para calcular el ecograma asociado a un punto cualquiera consiste en tratar los rayos sonoros como si se tratase de rayos de luz, es decir, considerando que las reflexiones de los mismos sobre las distintas superficies son totalmente especulares y que, por tanto, verifican la ley de la reflexión. En la imagen XXX se representa gráficamente dicha ley.

El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexiones especulares constituye la base de la denominada acústica geométrica.

Dicho análisis no es más que una aproximación a la realidad, ya que sólo en determinadas circunstancias la hipótesis de reflexión especular es totalmente veraz. (Carrión, Antoni, 1998).



Para que en la práctica se produzca una reflexión marcadamente especular es necesario que se cumplan los siguientes requisitos, en lo que a la superficie de reflexión se refiere:

- Dimensiones grandes en comparación con la longitud de onda del sonido en consideración.
- Superficie lisa y muy reflectante (poco absorbente).

La aplicación de este método, posee una serie de restricciones:

- Las longitudes de onda del sonido deben ser pequeñas en comparación con las dimensiones de la sala y los obstáculos allí existentes. De no ser así, pueden aparecer fenómenos de difracción difíciles de evaluar que alteran totalmente la imagen de partida hipotética.
- La impedancia del medio (aire) debe ser muy inferior a la impedancia de las paredes reflectantes (coeficiente de absorción muy bajo).

3.2.2. ACÚSTICA ESTADÍSTICA.

Este esquema afronta el problema de forma distinta.

Si una fuente sonora que empieza a radiar energía acústica en el interior de una sala. Al principio, las ondas sonoras se propagan libremente durante un tiempo relativamente breve, que depende de la distancia de la fuente sonora a las paredes de la sala; entonces las ondas sonoras se reflejan en ellas, de modo que las ondas reflejadas se superponen sobre las incidentes.

Este proceso se repite sucesivamente hasta que, después de cierto tiempo, se alcanza un estado estacionario en el que la energía presente en la sala no se incrementa. Esto significa que las superficies del contorno absorben la energía que es radiada por la fuente sonora. Entonces, la densidad de energía media en la sala permanece constante.

Partiendo de este concepto, está claro que silenciando la fuente sonora, la densidad de energía establecida en la sala no puede desaparecer inmediatamente; se requiere cierto tiempo para que la energía sonora



acumulada en el espacio aéreo de la sala sea absorbida y se extinga hasta convertirse en inaudible. Esta condición es muy importante en la práctica, ya que el habla, la música y prácticamente todos los sonidos producidos que contienen silabas, palabras, notas musicales, permanecerán sonando; esto es lo que se denomina reverberación, y su influencia es muy importante en el estudio de la conducta de una sala.

Para estudiar el fenómeno descrito no basta con examinar el camino seguido por los rayos sonoros individuales emitidos, sino que es necesario calcular estadísticamente los rayos sonoros en su totalidad. Este método de análisis es lo que se denomina acústica estadística de salas. (Carrión, Antoni, 1998).

3.2.3. ACÚSTICA ONDULATORIA.

La combinación de ondas incidentes y reflejadas en una sala da lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas ondas estacionarias o modos propios de la sala. Cada modo propio va asociado a una frecuencia, igualmente denominada propia, y está caracterizado por un nivel de presión sonora SPL que varía en función del punto considerado.

El estudio analítico de los modos propios se realiza mediante la denominada acústica ondulatoria que, conjuntamente con la acústica geométrica y la estadística anteriormente comentadas, constituyen las tres teorías clásicas que hacen posible conocer con rigor el comportamiento del sonido en un recinto cualquiera.

El número de modos propios es ilimitado, si bien su distribución a lo largo del eje frecuencial es discreta, aumentando su densidad con la frecuencia. La presencia de todos ellos provoca en cada punto una concentración de energía alrededor de las diversas frecuencias propias, lo cual confiere un sonido característico a cada sala.

Los valores de las frecuencias propias asociadas a los diferentes modos propios dependen de la geometría y de las dimensiones del recinto y, en general, su determinación resulta muy compleja.



Únicamente cuando se trata de recintos de forma paralelepípedica con superficies totalmente reflectantes es posible calcularlos de una forma muy sencilla, mediante la denominada fórmula de Rayleigh:

$$f_{k,m,n} = 172.5 \left(\frac{k}{L_x} \right)^2 + \left(\frac{m}{L_y} \right)^2 + \left(\frac{n}{L_z} \right)^2$$

Siendo.

L_x , L_y y L_z representan las dimensiones de la sala (en metros).

K, m, n identifican al modo correspondiente y pueden tomar cualquier valor entero (0, 1, 2, 3).

Partiendo de que la existencia de modos propios es inevitable, conviene elegir una relación entre las dimensiones de la sala tal que la distribución de los mismos en el eje frecuencial sea lo más uniforme posible. De esta manera se consigue evitar concentraciones de energía en bandas estrechas de frecuencias o, lo que es lo mismo, coloraciones intensas del sonido.

La densidad de modos propios aumenta con la frecuencia. Ello significa que, a partir de una cierta frecuencia, el concepto de coloración del sonido deja de tener sentido, ya que una gran densidad de modos propios es equivalente a la ausencia de éstos, por el hecho de que dejan de existir concentraciones discretas de energía. (Carrión, Isbert, 1998).

3.2.4. PSICOACÚSTICA.

Es la parte de la acústica encargada de examinar y modelar las características de la audición humana que permiten localizar e identificar la fuente de un sonido percibido.

El aparato auditivo humano no es igual en todos los individuos, un mismo sonido puede producir distintas sensaciones sonoras. Las medidas se basan en experiencias empíricas realizadas en condiciones muy específicas, por lo que no se podrá ajustar una mala o buena escucha en una sala, al ser totalmente subjetivo.



Tendremos que tener clara la diferencia entre sonido y audición. La primera hace referencia a las ondas mecánicas elásticas que se producen y propagan por un fluido, generando movimiento vibratorio de un cuerpo (el rango de escucha humana pertenece a los comprendidos entre 20 Hz y 20 kHz). La segunda se refiere a los procesos psicofisiológicos que proporcionan al ser humano la capacidad de oír.

Es decir, el sonido es lo que físicamente se produce y la audición lo que nuestro cerebro interpreta de ello. (Carrión, Antoni, 1998).





4. PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD ACÚSTICA DE SALAS.





4.1. TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Se define Tiempo de Reverberación como el tiempo necesario para que la intensidad acústica de un sonido en régimen estacionario se reduzca a una millonésima de su valor inicial, contado a partir del instante en que la fuente deja de emitir. Esto es equivalente a considerar una reducción de 60dB en el nivel de presión sonora dentro del recinto. Subjetivamente, se entiende como el tiempo de persistencia del sonido en el recinto hasta hacerse inaudibles. Es el indicador acústico más representativo del comportamiento de un recinto, al ser el más expresivo en términos globales y del que dependen otros.

Es habitual calcular el tiempo de reverberación mediante la conocida fórmula de Sabine:

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A} \quad (\text{s})$$

Siendo:

V volumen del recinto (m^3).

A absorción acústica (m^2).

Un recinto con RT elevado se denomina “vivo”, mientras que si el RT es pequeño se dice que el local es “sordo”.

Por lo general el TR aumenta cuando la frecuencia disminuye. Esto es debido, en parte, a las características de mayor absorción con la frecuencia de los materiales normalmente empleados como revestimientos, así como a la absorción del aire, especialmente manifiesta en grandes recintos y a altas frecuencias. (Carrión, Antoni, 1998).

4.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTO. (DIRECT SPL).

Es el sonido que va desde la fuente al observador, siendo el mismo que tenemos bajo las condiciones de campo libre. Tener una buena cobertura de sonido directo es un indicativo de ser un buen sistema.

Una cobertura adecuada se describirá como plana y con una variación menor a 3 dB.



4.3. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL (TOTAL SPL).

El nivel de presión sonora total es el sumatorio de la energía directa y la reverberante en dB.

El nivel de presión sonora se define como 20 veces el logaritmo de la relación entre el valor eficaz de la presión sonora y el valor eficaz de la presión umbral de audición, a 1 kHz. Es el parámetro utilizado comúnmente para medir la magnitud del campo sonoro en un punto.

Se define como:

$$\text{SPL} = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{P_{\text{rms}}}{P_0} \right) \text{ (dB)}$$

Siendo:

P_{rms} : la presión eficaz del sonido en un punto considerado.

P_0 : la presión eficaz de referencia. Escogiendo el umbral de audición a 1 kHz, cuyo valor es $2 \cdot 10^{-5}$.

La presión sonora es fluctuante en el tiempo, por lo tanto las expresiones reflejadas en la ecuación anterior miden promedios temporales en lugar de medidas absolutas.

El sonido se representa en decibelios ya que el oído responde a estímulo sonoros de forma logarítmica, así, los valores manejados quedan comprendidos entre 0 dB y 135 dB, siendo 1 dB el mínimo cambio perceptible.

- 1 dB: mínimo cambio de nivel sonoro perceptible.
- 3 dB: cambio de nivel claramente percibido.
- 6 dB: incremento asociado a una sonoridad doble.

4.4. RELACIÓN ENTRE DIRECTO Y REVERBERANTE (D/R RATIO).

Muestra la relación entre el sonido directo y el reverberante en dB. Si los sonidos son iguales se representa con 0 dB. Números inferiores a 0 significarán que el sonido reverberante es más alto que el directo, así como los valores superiores a 0 indicarán lo contrario.



4.5. CRITERIOS DE INTELIGIBILIDAD.

4.5.1. PÉRDIDAS DE ARTICULACIÓN DE CONSONANTES (ALCONS).

“Articulation loss of consonants”, es el porcentaje de pérdida de la articulación de las consonantes. Cuanto mayor sea este porcentaje, menor será su inteligibilidad de la palabra.

Si el oyente está cerca de la fuente la inteligibilidad será mayor.

Apoyándose en la teoría estadística se obtiene una relación con el tiempo de reverberación:

$$\%AlCons = \frac{200 \cdot r^2 \cdot RT^2}{V \cdot Q} \quad \text{Si } r \leq 3.16 D_C$$

$$\%AlCons = 9 \cdot RT \quad \text{Si } r > 3.16 D_C$$

Siendo:

r: distancia a la fuentes sonora (m).

V: volumen de loa sala (m³).

Q: directividad de la fuente. En caso de voz humana frontal Q=2.

TR: tiempo de reverberación (s).

DC: distancia crítica que limita que ecuación debe usarse.

$$D_C = 0.14 \sqrt{Q \cdot R}$$

Donde R se define como:

$$R = - \frac{S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})}{(1 - \bar{\alpha})}$$

Relación entre las bandas frecuenciales y las pérdidas de articulación de consonantes:

- 500 Hz: es la banda más baja en la que se considera la inteligibilidad de la voz. Su contribución es aproximadamente del 16%.

- 1000 Hz: es la frecuencia media en la que considera la inteligibilidad de la voz. Su contribución es aproximadamente del 25%.

-2000 Hz: es la frecuencia más alta en la que se considera la inteligibilidad de la voz. Su contribución es aproximadamente del 34%.



Las frecuencias inferiores a 500 Hz añadirían cuerpo y las superiores a 2000 Hz añadirían brillo.

La banda de octava que más influye en la inteligibilidad es la centrada en 2 KHz.

Valores óptimos.	
0-3	Excelente.
3-7	Bien.
7-11	Aceptable.
11-15	Pobre.
+12	Inaceptable.

Tabla 1. Valores de pérdidas de articulación de consonantes. (Rodríguez Rodríguez Francisco Javier y Díaz Sanchidrián César 2000).

4.5.2. STI.

Puede tomar valores comprendidos entre 0, inteligibilidad nula, y 1, inteligibilidad óptima. Su cálculo es muy complejo y laborioso. Está basado en la función de transferencia de modulación, MTF.

4.5.3. RASTI. ÍNDICE DE TRANSMISIÓN DE LA PALABRA RÁPIDO.

Surge como la simplificación del parámetro STI para así reducir el tiempo de cálculo. Se calcula reduciendo el número de frecuencias moduladoras y portadoras.

F_0 (Hz)	F_m (Hz)
500	1 2 3 4 8
2000	0.7 1.4 2.8 5.6 11.2

Tabla 2. Frecuencias portadoras y moduladoras del RASTI. (Ortiz, Luís, I 1992).

En la siguiente tabla recoge la correspondencia entre inteligibilidad de la palabra en una sala y su valor de % ALCONS y STI o RASTI.



% ALCONS	STI/RASTI	INTELIGIBILIDAD.
0% - 1.4%	0.88 - 1	Excelente.
1.6% - 4.8%	0.66 – 0.86	Buena.
5.3% - 11.4%	0.5 – 0.64	Aceptable.
12% - 24.2%	0.36 – 0.49	Pobre.
27% - 46.5%	0.24 - 34	Mala.

Tabla 3. Correspondencia entre inteligibilidad STI y RASTI. (Ortiz, Luís, I 1992).

4.6. DISTANCIA CRÍTICA.

Distancia crítica es el lugar geométrico de los puntos del espacio en los que el campo directo y el campo reverberante son iguales.

Está íntimamente ligado con la inteligibilidad y de la distancia, las características acústicas de la sala y la directividad de la fuente.

4.7. TIEMPO DE LLEGADA.

Muestra los tiempos de llegada del sonido directo de los altavoces en ms. Es muy útil para determinar el retardo necesario en la distribución de los sistemas de altavoces.

4.8. TIEMPO DE RETARDO INICIAL DEL SONIDO. (ITD GAP).

Mide el tiempo que transcurre desde que llega el sonido hasta que se recibe la primera reflexión significativa. Es un parámetro importante a la hora de determinar las posiciones para los altavoces, así como para calcular retardos en sistemas distribuidos.

Autores relacionan este término con la “intimidad acústica”.

Se recomiendan valores inferiores a 20 ms para una posición central frente al escenario.



4.9. RELACIONES ENERGÉTICAS (ELR).

Con el fin de estudiar las características del sonido reflejado así como la relación con el sonido directo en una sala se utilizan una serie de parámetros dependientes del tiempo. Estas son conocidas como relaciones energéticas.

Los parámetros son: C_t , C_{t0} y C_x .

- C_t : es la relación entre la energía que llega a un oyente dentro de los primeros segundos desde la llegada del sonido directo y la energía que llega posteriormente.

$$C_t(t) = \frac{\text{Energía hasta el instante } t}{\text{Energía a partir del instante } t} \text{ (dB)}.$$

- C_{t0} : es el valor de C_t , eliminando previamente la energía que corresponde al sonido directo. Este parámetro permite estudiar el comportamiento del sonido reflejado sin interferencias del sonido directo.

$$C_{t0}(t) = \frac{\text{Energía hasta el instante } t \text{ excluido el sonido directo}}{\text{Energía a partir del instante } t} \text{ (dB)}.$$

C_x se corresponde a un caso de un campo sonoro totalmente difuso.

Con la diferencia entre C_{t0} y C_x se obtiene una curva que indica el grado de difusión del sonido en cada punto de un recinto:

- Si $C_{t0} - C_x > 0$ dB, existencia de primeras reflexiones significativas.
- Si $C_{t0} - C_x \approx 0$ dB, óptima difusión del sonido
- Si $C_{t0} - C_x < 0$ dB, ausencia de primeras reflexiones significativas.

4.9.1. CLARIDAD DE LA VOZ C_7 .

Es una manera de representar la fuerza del campo de sonido directo. Establece la relación en dB la relación de sonido directo y reverberante usando un tiempo parcial de 7 ms. Los valores por encima de -15 dB muestran una buena



localización (un buen D / R ratio). Cuanto más cerca del valor llega a 0, mejor es la localización.

4.9.2. CLARIDAD DE LA VOZ C₅₀.

Mide la relación entre la energía sonora recibida durante los primeros 50 ms después de recibir el sonido directo (éste incluido) y la energía restante.

$$C_{50} = \frac{\text{Energía } t_0-50\text{ms}}{\text{Energía } 50\text{ms}-\infty} \text{ (dB)}.$$

Para poder realizar una evaluación y comparación del parámetro C₅₀ es suficiente utilizar el denominado "C₅₀ Speech Average":

$$\begin{aligned} \text{C50 Speech Average} = & 0.15 \times C_{50} (500\text{Hz}) + 0.25 \times C_{50} (1\text{KHz}) \\ & + 0.35 \times C_{50} (2\text{KHz}) + 0.25 \times C_{50} (4\text{KHz}) \end{aligned}$$

4.9.3. CLARIDAD MUSICAL C₈₀.

Indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical. En este caso, se tiene en cuenta la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80ms. Este valor puede depender de una serie de factores puramente musicales y en función de la interpretación del oyente.

$$C_{80} = \frac{\text{Energía hasta 80 ms}}{\text{Energía a partir de 80 ms}} \text{ (dB)}.$$

El parámetro C₈₀ no es estadísticamente independiente, sino que está relacionado con el tiempo de reverberación.

Como valor representativo se utiliza el "Music Average":

$$C_{80} \text{ Music Average} = \frac{C_{80} (500 \text{ Hz}) + C_{80} (1 \text{ KHz}) + C_{80} (2 \text{ KHz})}{3} \text{ (dB)}.$$



Expertos en la materia recomiendan que el valor para las frecuencias de 500 Hz, 1kHz y 2kHz se sitúe entre $-2 \leq C80 \leq 2$ dB.

4.10. NIVELES DE PRESIÓN (PRESSURE LEVELS).

Las simulaciones L7, L50 y L80 permiten determinar la suma de la energía del sonido directo y reverberante en un tiempo especificado.

4.10.1. L7.

Determina la suma de la energía del sonido directo y reverberante en los primeros 7 ms.

4.10.2. L50.

Determina la suma de la energía del sonido directo y reverberante en los primeros 50 ms.

4.10.3. L80.

Determina la suma de la energía del sonido directo y reverberante en los primeros 80 ms.

4.10.4. Lsplit.

Determina la suma de la energía del sonido directo y reverberante en un tiempo intermedio establecido, 35 ms.

4.11. ÍNDICE DE ARTICULACIÓN IA (ARTICULATION INDEX).

Es un índice utilizado para medir la inteligibilidad y la calidad de la señal de habla.

El índice evalúa la relación SNR en la zona de audiencia para diferentes bandas de frecuencia (normalmente 5 octavas). No tiene en cuenta la reverberación, que es un fenómeno muy perjudicial en interiores, por lo que es



un criterio que sólo se aplica en exteriores o en locales poco reverberantes. Existen tablas de corrección que introducen el efecto de la reverberación. Está comprendido entre 0 y 1. Un IA de 0.1 indica poco entendimiento del habla mientras que un IA de 1.0 significa el perfecto entendimiento del habla.

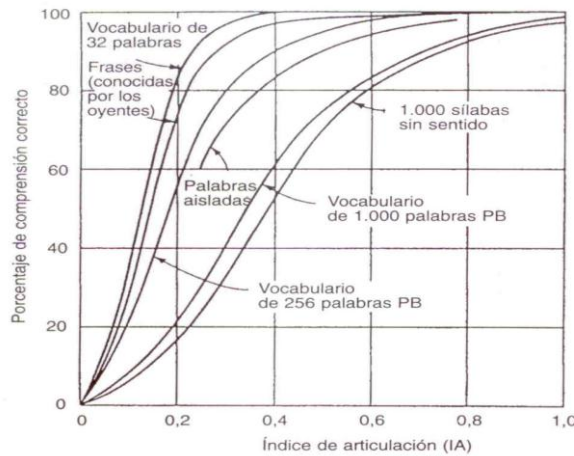


Figura 9. Relación entre el grado de inteligibilidad y el valor del índice de articulación (AI). (Arau, Higini, 1999).

4.12. ÍNDICE DE AISLAMIENTO (PRIVACY INDEX).

Se define un índice de aislamiento acústico, R, como la relación entre la potencia que se transmite al recinto receptor P_t , y la que incide sobre el elemento de separación del recinto emisor P_i . El coeficiente Tau se denomina coeficiente de transmisión sonora y se define como:

$$\tau = \frac{P_t}{P_i}$$

El Índice de Aislamiento Acústico se define en función de Tau como:

$$R = 10 \cdot \log(1/\tau) = 10 \cdot \log(P_i/P_t) \text{ (dB)}.$$

Esta relación también se conoce como Pérdida de Transmisión y expresa en escala logarítmica qué parte de la energía incidente en una partición que separa dos estancias se transmite o atraviesa dicha separación. Por ejemplo, si tenemos una pared con un índice $R=30\text{dB}$, significa que de la energía sonora que incide en ella tan solo la milésima parte será capaz de atravesarla.





5. CARACTERÍSTICAS DEL RECINTO.





5.1. HISTORIA.

El aula magna de la escuela universitaria de arquitectura técnica de A Coruña, es un recinto destinado a distintas actividades relacionadas con la docencia. En ella se imparten clases del centro, así como conferencias y otras actividades complementarias destinadas formación a sus alumnos.

El inicio de su actividad corresponde al curso 1975-1976, año en el que se traslada la docencia de arquitectura técnica para este recinto.

5.2. SITUACIÓN.

El edificio de la EUAT en el cual se encuentra el aula magna, nuestro elemento de estudio, está ubicado en el campus de A Zapateira de la Universidade da Coruña. Se encuentra en la rúa da Fraga, nº27.

Las líneas de autobús urbano que circulan por el centro son la línea universitaria y la línea 24.



Figura 10. Vista aérea de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.



Figura 11. Vista de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.



Figura 12. Vista fachada de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.

El aula magna se localiza en la planta primera de este edificio, concretamente en su parte central.

Los planos de ubicación y emplazamiento están en el ANEXO.



5.3. CAPACIDAD.

El aula magna tiene un volumen aproximado de 1529,84 m³ y tiene una capacidad de 374 personas sentadas. La audiencia está dispuesta en gradas ocupando un área de 223,22 m².

5.4. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.

El recinto objeto de nuestro análisis acústico presenta una configuración simétrica respecto a un eje central (perpendicular a la mesa de oradores). Este hecho no se cumple en cuanto a los huecos de la propia sala, ya que en paramento suroeste cuenta con una ventana que distorsiona de alguna manera la simetría completamente.

5.4.1. PLANTA.

En planta la sala tiene una configuración simétrica.

Las dimensiones que presenta la sala son de 21.20x18.20 m.

Dada la disposición del aula magna en gradas en planta observamos cada una de las bancadas, que van aumentando en altura con respecto a la inmediatamente anterior, para poder conformarla.

Tanto el suelo en donde se localizan los oradores como las gradas en donde se encuentran los oyentes, tienen como acabado linóleo.



Figura 13. Vista del suelo de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.

5.4.2. TECHO.

La heterogeneidad del techo es uno de los elementos más sobresalientes del recinto a analizar, desde las distintas alturas que lo conforman, los distintos sistemas constructivos utilizados o los acabados de cada una de las tipologías.

En el techo del aula magna encontramos elementos tales como:

- Falso techo continuo.
- Falso techo registrable.
- Viga de canto de considerables dimensiones.
- Forjado bidireccional aligerado (casetones).

El acabado predominante en el techo es el del yeso pintado de blanco, el cual se encuentra en ambos tipos de falsos techos.

En el caso del forjado bidireccional y la viga de canto, el observador percibe el acabado propio de estos elementos constructivos, el hormigón.

En el techo también se encuentran integradas las luminarias. Destacamos la presencia de distintos tipos de luminarias. Las que se encuentran en los falsos techos tanto continuo como registrable se encuentran perfectamente integradas en ellos. La disposición de las luminarias en la zona de forjado bidireccional aligerado, es en el espacio que ocuparía el elemento aligerante (casetones).

En la zona del orador se puede observar una línea de focos que descuelgan del falso techo continuo, al cual está atornillada.

El techo ocupa una superficie de 361.30 m².

El techo tiene alturas variables:

- Falso techo continuo (zona central del aula). COTA: + 8,75 m.
- Falso techo continuo (zona sureste del aula). COTA: + 9,26 m.
- Falso techo registrable. COTA: + 9,61 m.
- Viga de canto. COTA: + 7,80 m.
- Forjado bidireccional aligerado. COTA: + 8,30 m.

Las cotas son con respecto a la rasante del terreno.





Figura 14. Vista de los distintos tipos de techo de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.

5.4.3. PARAMENTOS VERTICALES.

En los paramentos verticales que conforman el recinto podemos encontrarnos con los siguientes materiales:

- Enfoscado de mortero.
- Paneles de madera.
- Vidrio.
- Aluminio.

El acabado predominante en los paramentos verticales es el de enfoscado de mortero pintado de color blanco.

Los paneles de madera están dispuestos en la zona posterior a los oradores, (noroeste del aula magna).

El aula magna cuenta con dos puertas de madera de acceso a la misma de dimensiones 1,72 x 3,20 m, y otras dos puertas de acceso a la sala técnica, de dimensiones 0,96 x 2,90 m. Estas puertas están dispuestas simétricamente respecto a un eje.

El aula magna cuenta con tres ventanas, dos de ellas dispuestas simétricamente a lados opuestos del aula de dimensiones 2,55 x 4,80 m y otra dispuesta en un paramento posterior a las gradas de dimensiones 5,10 x 1,10 m. Los vidrios de las ventanas cuentan con marcos de aluminio.



Figura 15. Vista de los paramentos en donde se encuentra una ventana y una puerta del aula magna de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.

5.4.4. ASIENTOS.

Los asientos de las gradas están atornillados a las bancadas, dejando acceso a ellos a través de escaleras. Los asientos son de madera con una estructura metálica los soportan. Esta estructura metálica es la que la fija a las gradas.



Figura 16. Vista de los asientos en las gradas del aula magna de la escuela universitaria de arquitectura técnica. Fuente propia.

5.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES.

5.5.1. LINÓLEO.

Este material tiene presencia tanto en el suelo como en las gradas del aula magna de la EUAT.

Es un material liso, en este caso particular presenta una superficie satinada y tiene una gran resistencia y durabilidad.

Debido a su buen comportamiento ante el fuego y las bacterias es un material muy recomendable en lugares de pública concurrencia, como es nuestro caso.



Este material presenta una gran variedad de colores (en el aula magna rojo) y acabados.

Destaca la facilidad en su colocación y su fácil mantenimiento.

5.5.2. YESO.

El yeso posteriormente pintado de blanco, es el material de acabado de los distintos tipos de falsos techos de la escuela.

Este es un material presenta una serie de ventajas que lo hacen muy adecuado para su uso en techos:

- Mejora el comportamiento térmico y acústico.
- Permite la incorporación de las instalaciones cuando es utilizado en falsos techos.
- Protege a los elementos de hormigón frente al fuego.

5.5.3. HORMIGÓN VISTO.

La estructura del edificio y en particular del aula magna es de hormigón. Tanto en vigas, pilares y una parte del techo, el hormigón aparece visto. Este material tanto por su comportamiento mecánico, como por su durabilidad es adecuado para este tipo de recintos.

Enfoscado de mortero.

Los paramentos verticales presentan un revestimiento continuo de enfoscado de mortero de cemento, que sirve de soporte de la pintura blanca de acabado.

5.5.4. MADERA.

La madera está presente tanto en asientos como en las puertas de acceso a ellas.

Los asientos del aula magna son de madera de haya, mientras que las puertas de acceso y los paneles, cuentan con un chapado acabado sapelly y con alma de cartón.

5.5.5. VIDRIO.

Los huecos del aula magna están cubiertos por vidrio con marco de aluminio. Para la modelización de la sala, es necesaria la simplificación de las ventanas, utilizando únicamente este material en ella. Algunas de los vidrios de la sala no son practicables.



5.6. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE LOS MATERIALES.

El linóleo está colocado en todo el suelo y gradas sobre la estructura de hormigón.

Su comportamiento en cuanto a la absorción es el siguiente:

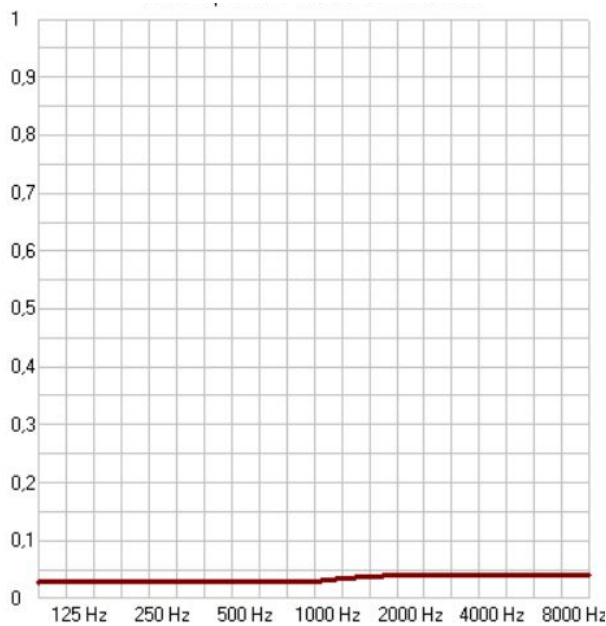


Figura 17. Coeficiente de absorción del linóleo.

Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,03
250 Hz	0,03
500 Hz	0,03
1000 Hz	0,03
2000 Hz	0,04
4000 Hz	0,04
8000 Hz	0,04

Tabla 4. Coeficiente de absorción del linóleo. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Hay distintos elementos que son de hormigón visto, tales como: viga de canto, pilares y forjado bidireccional aligerado.

Su coeficiente de absorción es el siguiente:



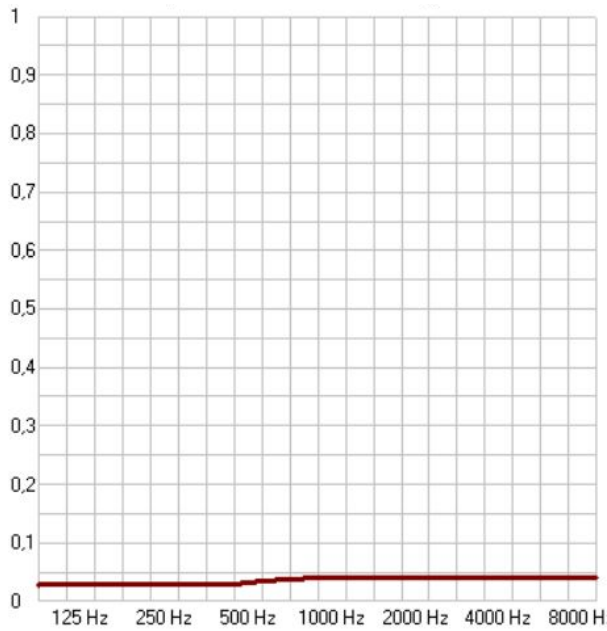


Figura 18. Coeficiente de absorción del hormigón visto. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,03
250 Hz	0,03
500 Hz	0,03
1000 Hz	0,03
2000 Hz	0,04
4000 Hz	0,04
8000 Hz	0,04

Tabla 5. Coeficiente de absorción del hormigón visto. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Los paramentos verticales tienen un acabado de enfoscado de mortero pintado de blanco fundamentalmente. Su coeficiente de absorción es el siguiente.

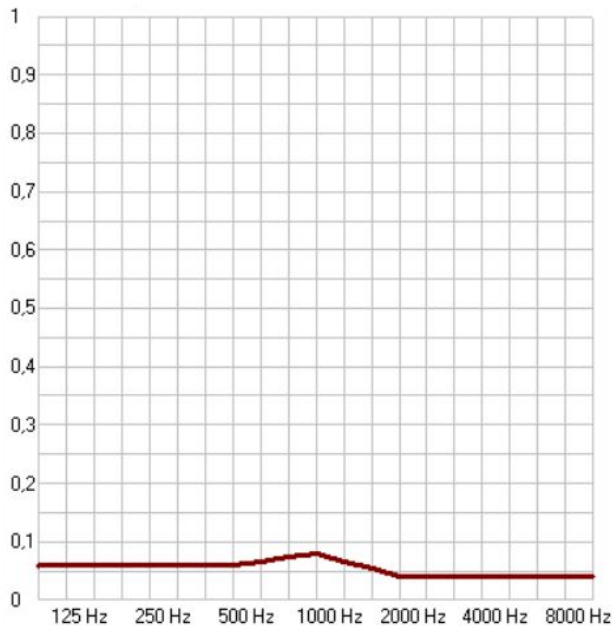


Figura 19. Coeficiente de absorción del mortero. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,06
250 Hz	0,06
500 Hz	0,06
1000 Hz	0,08
2000 Hz	0,04
4000 Hz	0,04
8000 Hz	0,04

Tabla 6. Coeficiente de absorción del mortero. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

La madera que está presente en puertas y en los paneles situados en la parte posterior a la zona del conferenciante, tienen el siguiente coeficiente de absorción:



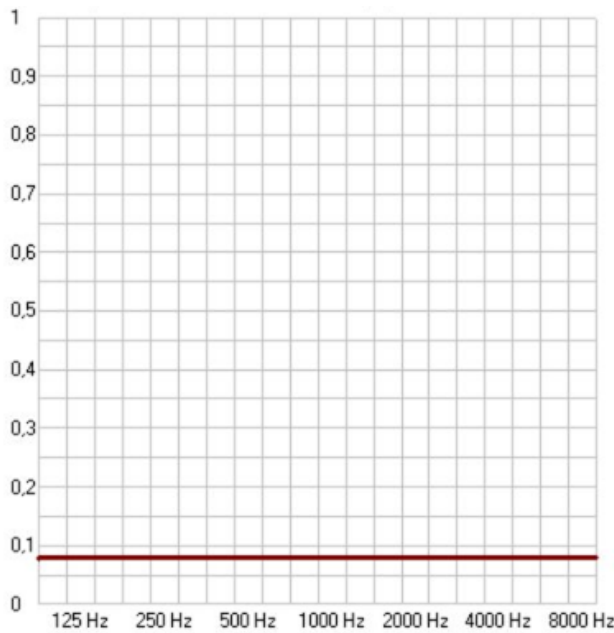


Figura 20. Coeficiente de absorción de la madera.
Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,08
250 Hz	0,08
500 Hz	0,08
1000 Hz	0,08
2000 Hz	0,08
4000 Hz	0,08
8000 Hz	0,08

Tabla 7. Coeficiente de absorción de la madera. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Las ventanas para simplificación del modelo optamos por tener en cuenta únicamente el coeficiente de absorción del vidrio. Sus coeficientes de absorción para cada banda de frecuencia son los siguientes:

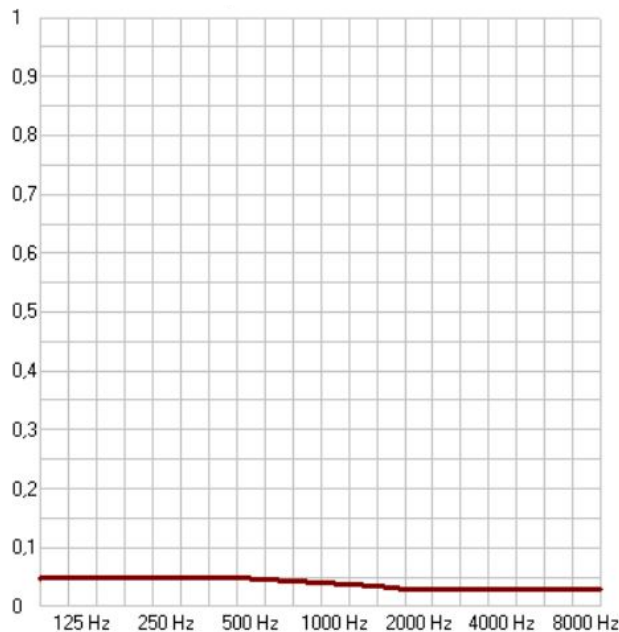


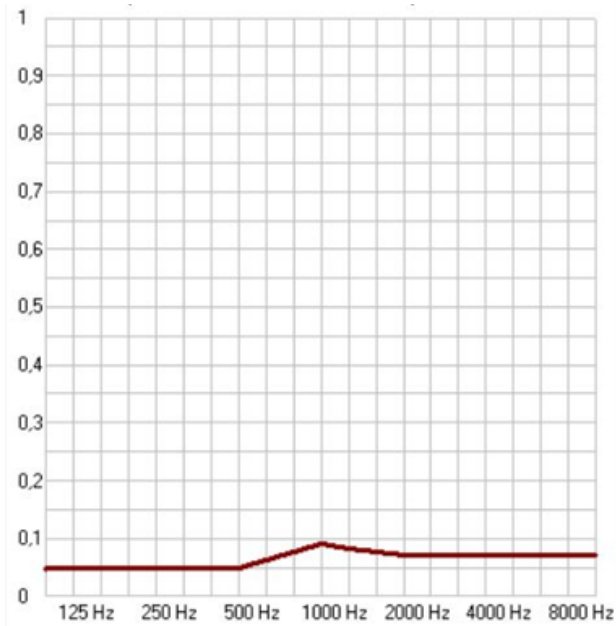
Figura 21. Coeficiente de absorción del vidrio.
Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,05
250 Hz	0,05
500 Hz	0,05
1000 Hz	0,04
2000 Hz	0,03
4000 Hz	0,03
8000 Hz	0,03

Tabla 8. Coeficiente de absorción del vidrio. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Los falsos techos del aula magna son de yeso pintado de blanco. Los coeficientes de absorción para cada banda de frecuencia son los siguientes:





Frecuencia	Absorción
125 Hz	0,05
250 Hz	0,05
500 Hz	0,05
1000 Hz	0,09
2000 Hz	0,07
4000 Hz	0,07
8000 Hz	0,07

Tabla 9. Coeficiente de absorción del yeso. Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Figura 22. Coeficiente de absorción del yeso.

Fuente: Catalogo de elementos constructivos del CTE.

Con los datos aportados de los coeficientes de absorción de cada uno de los materiales del aula magna, podemos decir que su comportamiento en cualquiera de las bandas de frecuencia como absorbente acústico, no es el más aconsejable.



6.APLICACIÓN DEL CTE DB-HR.





6.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN.

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 m^3 . Nuestro caso en concreto se adapta al supuesto de aulas y salas de conferencia con un volumen superior a 350 m^3 , ya que nuestra sala cuenta con un volumen de $1523,75 \text{ m}^3$.

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.

Tanto aulas como salas de conferencia con volúmenes mayores de 350 m^3 , según el DBHR, se consideran recintos protegidos respecto de otros recintos de otras unidades de uso.

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 350 m^3 . Sin embargo, si uno de estos recintos fuera colindante con un recinto protegido o habitable de una unidad de uso diferente, deben cumplirse los valores límite de aislamiento acústico especificados en la norma.

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 m^3 , el TR no será, mayor que 0,7 s.

Aunque el aula magna no cumple las condiciones para la aplicación del DBHR, 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.



6.2. CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN SEGÚN EL CTE DB-HR.

Cálculo del Tiempo de Reverberación por el método del CTE- DBHR							
Tipo de recinto: Aula magna EUAT vacía.					Volumen, V (m ³):		1529,84
Elemento	Acabado	S Área (m ²)	am Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m ²) am . S
			500	1000	2000	am	
Suelo							
Suelo conferencia	Linóleo	136,39	0,03	0,03	0,04	0,03	4,09
Suelo grada G1	Linóleo	20,70	0,03	0,03	0,04	0,03	0,62
Suelo grada G2	Linóleo	22,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,67
Suelo grada G3	Linóleo	24,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,73
Suelo grada G4	Linóleo	26,22	0,03	0,03	0,04	0,03	0,79
Suelo grada G5	Linóleo	27,76	0,03	0,03	0,04	0,03	0,83
Suelo grada G6	Linóleo	29,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,87
Suelo grada G7	Linóleo	32,39	0,03	0,03	0,04	0,03	0,97
Suelo grada G8	Linóleo	40,45	0,03	0,03	0,04	0,03	1,21
Techo							
Falso techo continuo	Placa de yeso laminado	272,92	0,05	0,09	0,07	0,06	16,38
Falso techo registrable	Placa de yeso laminado	24,90	0,05	0,09	0,07	0,06	1,49
Forjado bidireccional	Hormigón visto	53,99	0,03	0,04	0,04	0,04	2,16
Viga de canto	Hormigón visto	8,48	0,03	0,04	0,04	0,04	0,34
Paramentos							
Alzado A							
Pared	Enfoscado de mortero	44,12	0,06	0,08	0,04	0,06	2,65
Ventana 1	Vidrio	8,28	0,05	0,04	0,03	0,04	0,33
	Aluminio	3,96	0,01	0,02	0,02	0,02	0,08
Pilar 1	Hormigón visto	2,88	0,03	0,04	0,04	0,04	0,12
Alzado B							
Pared	Enfoscado de mortero	38,85	0,06	0,08	0,04	0,06	2,33
Ventana 2	Vidrio	8,28	0,05	0,04	0,03	0,04	0,33
	Aluminio	3,96	0,01	0,02	0,02	0,02	0,08



Ventana 3	Vidrio	3,74	0,05	0,04	0,03	0,04	0,15
	Aluminio	1,53	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Pilar 2	Hormigón visto	2,88	0,03	0,04	0,04	0,04	0,12
Alzado C							
Pared	Enfoscado de mortero	49,40	0,06	0,08	0,04	0,06	2,96
Alzado D							
Pared	Enfoscado de mortero	3,81	0,06	0,08	0,04	0,06	0,23
Pared	Panel de madera	32,64	0,08	0,08	0,08	0,08	2,61
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Pilar 3 y 4	Hormigón visto	8,44	0,03	0,04	0,04	0,04	0,34
Alzado E							
Pared	Enfoscado de mortero	13,28	0,06	0,08	0,04	0,06	0,80
Puerta 1	Madera	3,19	0,08	0,08	0,08	0,08	0,26
Alzado F							
Pared	Enfoscado de mortero	13,28	0,06	0,08	0,04	0,06	0,80
Puerta 2	Madera	3,19	0,08	0,08	0,08	0,08	0,26
Alzado G							
Pared	Enfoscado de mortero	33,51	0,06	0,08	0,04	0,06	2,01
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Puerta 3	Madera	4,65	0,08	0,08	0,08	0,08	0,37
Alzado H							
Pared	Enfoscado de mortero	33,51	0,06	0,08	0,04	0,06	2,01
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Puerta 4	Madera	4,65	0,08	0,08	0,08	0,08	0,37
Vertical grada G1	Linóleo	10,32	0,03	0,03	0,04	0,03	0,31
Vertical grada G2	Linóleo	11,36	0,03	0,03	0,04	0,03	0,34
Vertical grada G3	Linóleo	12,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,37
Vertical grada G4	Linóleo	13,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,40
Vertical grada G5	Linóleo	14,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,43
Vertical grada G6	Linóleo	15,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,46
Vertical grada G7	Linóleo	16,31	0,03	0,03	0,04	0,03	0,49
Vertical grada G8	Linóleo	17,33	0,03	0,03	0,04	0,03	0,52



Escaleras	Linóleo	15,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,45
Viga de canto	Hormigón visto	65,72	0,03	0,04	0,04	0,04	2,63
Paredes falso techo registrable	Enfoscado de mortero	5,38	0,06	0,08	0,04	0,06	0,32
Objetos (1)	Tipo	N número	Área de absorción acústica equivalente media, A0, m (m²).				A0, m . N
			500	1000	2000	A0,m	
Absorción aire (2)			Coeficiente de atenuación del aire en mm. (m ⁻¹)				4 . mm . V
			500	1000	2000	mm	
			0,003	0,005	0,01	0,006	36,72
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante			$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,j} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A0, m, j + 4 \cdot \text{mm} \cdot V$				94,14
T, (s) Tiempo de reverberación resultante			$T = \frac{0,16V}{A}$				2,60
A (m²) =		94,14	≥	305,97	= 0,2 . V		
Tiempo de reverberación resultante			Tiempo de reverberación exigido				
T (s)=		2,60	≤	0,70	NO CUMPLE		

(1) Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m3

(2) Sólo para volúmenes mayores a 250 m3



7.MODELADO ACÚSTICO POR ORDENADOR DEL AULA MAGNA MEDIANTE “ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS”, EASE.





7.1. MODELADO ACÚSTICO POR ORDENADOR MEDIANTE EL SOFTWARE “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.

Con los datos obtenidos con este software y los datos obtenidos con las mediciones realizadas “in situ”, podemos hacer una aproximación más veraz del comportamiento acústico del aula magna.

Además realizamos una comprobación de los parámetros anteriormente citados de manera analítica.

Enhanced Acoustic Simulator for Engineers, conocido como EASE, es un software de simulación acústica. Este programa permite crear un modelo acústico en 3D. En este proyecto se utiliza la versión 4.4 de este programa.

7.2. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DEL RECINTO.

La definición geométrica del recinto se puede hacer directamente en el EASE o también se puede importar desde otro programa.



En este proyecto la geometría se ha definido íntegramente en EASE.

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.

Para un mejor funcionamiento de EASE, se han de adoptar una serie de simplificaciones con respecto al recinto original. 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.

Todo este proceso de definición geométrica, se llevará a cabo mediante un laborioso proceso de introducción vértice a vértice a través de coordenadas. En el caso del aula magna llegamos a introducir 563 vértices.

Una vez introducidas las coordenadas de los puntos, definimos las caras que tienen que pasar por cada uno de los puntos que las conforman. Para definir completamente el aula magna definimos 238 caras. Cada una de las caras serán las que conformen el volumen del recinto.

Para poder realizar el estudio acústico del aula magna tendremos que asegurarnos que el volumen está completamente cerrado. La complejidad del proceso de cierre del volumen viene dado entre otros factores por correcta definición de la orientación de las caras.



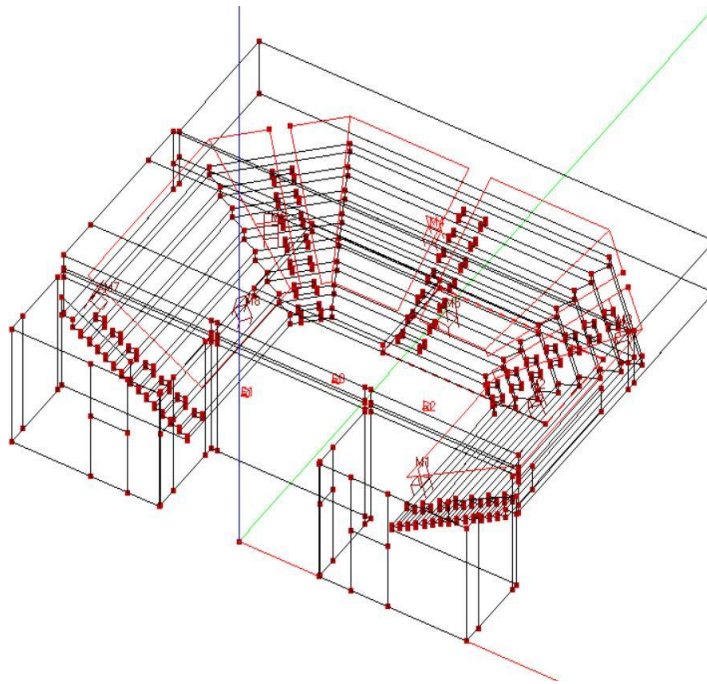


Figura 23.
Definición
geométrica
del recinto.
Fuente
propia.

7.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES.

Una vez definida la geometría del aula magna, procedemos a introducir los distintos materiales que conforman el recinto. El propio programa dispone de una completa base de datos de materiales, en cambio para este proyecto se ha optado por utilizar los valores del coeficiente de absorción disponibles en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

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



7.4. ÁREAS DE AUDIENCIA.

Para poder realizar la simulación debemos definir áreas de audiencia en las gradas. Se situarán a 1.20 m de altura con respecto a las gradas ya que el público se encuentra sentado.

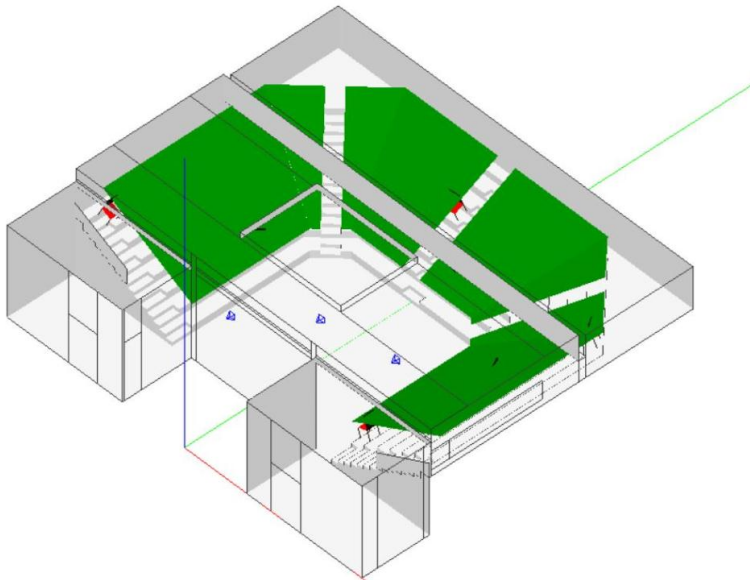


Figura 24. Vista 3D de las áreas de audiencia.
Fuente: EASE.

7.5. POSICIONES DE LOS OYENTES.

Se posicionarán 8 puntos distribuidos por las gradas, los cuales se corresponden con los puntos tomados para realizar las mediciones “in situ”.

La disposición los micrófonos es los oyentes es la siguiente:

OYENTES				
Punto	X	Y	Z	Posición
M1	4,70	5,50	1,60	1ª grada
M2	6,95	10,28	2,80	4ª grada
M3	8,72	13,84	4,00	7ª grada
M4	-0,90	15,45	3,20	5ª grada
M5	1,25	13,20	2,00	2ª grada
M6	-6,50	12,78	2,80	4ª grada
M7	-9,20	4,80	4,00	7ª grada
M8	-5,45	9,20	2,00	2ª grada

Tabla 11. Coordenadas y posición de los oyentes. Fuente: EASE.





Figura 25. Vista lateral con algunos de los puntos de audiencia colocados en el aula magna.

Fuente: EASE.

7.6. FUENTES SONORAS.

Se posicionan tres fuentes sonoras omnidireccionales (sphere), simulando las posiciones de la fuente dodecaédrica con la que se realizaron las medidas in situ.

Las simulaciones se realizarán con estas tres posiciones distintas de las fuentes.

FUENTES				
Punto	X	Y	Z	Posición
S1	-3,20	5,30	1,50	Espacio conferenciante
S2	3,20	8,40	1,50	Espacio conferenciante
S3	-0,60	7,80	1,50	Espacio conferenciante

Tabla 12. Coordenadas y posición de las fuentes (los puntos negativos significan que se encuentran a un lado del eje de simetría de la sala). Fuente: EASE.

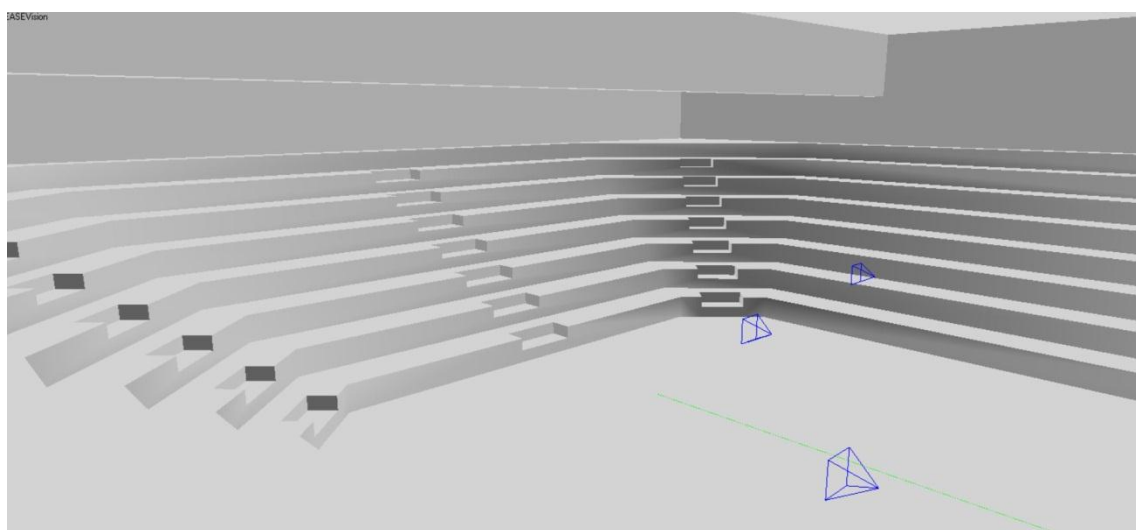


Figura 26. Posición de las fuentes (los puntos negativos significan que se encuentran a un lado del eje de simetría de la sala). Fuente: EASE.

El nivel de presión sonora del altavoz utilizado a 1 m, (sphere), para la simulación en EASE, es el siguiente:

Frecuencia	Potencia (w).	SPL (1m).
125 Hz	4,762	96,78
250 Hz	4,762	96,78
500 Hz	4,762	96,78
1000 Hz	4,762	96,78
2000 Hz	4,762	96,78
4000 Hz	4,762	96,78
8000 Hz	4,762	96,78

Tabla 13. Potencia sonora y nivel de presión sonora a 1m de las propias fuentes. Fuente: EASE.

7.7. RESULTADOS OBTENIDOS CON 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. La elección de la posición de fuentes sonoras y puntos de audiencia, viene determinada por la UNE-EN ISO 3382-2: 2008. De esta forma se podría realizar la validación del modelo a través de las mediciones “in situ” realizadas, ya que las coordenadas elegidas en EASE se corresponden con éstas.

Para un mejor procesado de los datos, se aportan tabulados. Las gráficas de una fuente con cada punto de audiencia se aportarán en el ANEXO.



7.7.1. TIEMPO DE REVERBERACIÓN, RT.

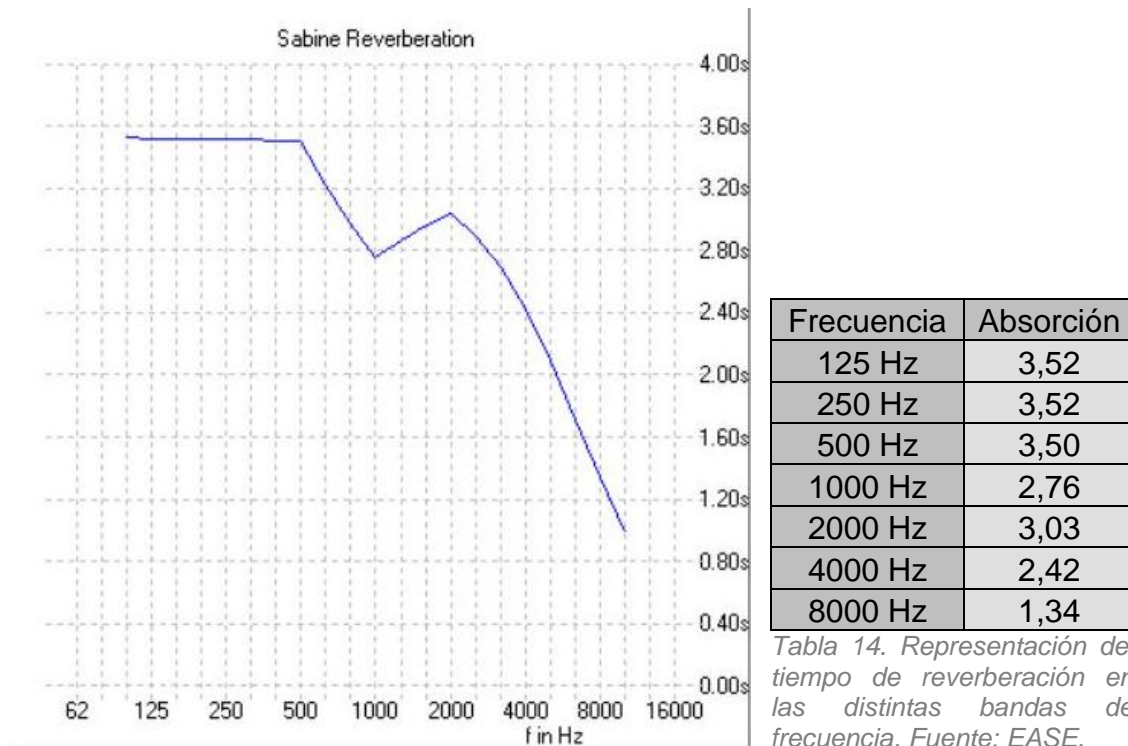


Figura 27. Representación del tiempo de reverberación en las distintas bandas de frecuencia del aula magna. Fuente: EASE.

De la observación de la gráfica se deduce lo siguiente:

Los valores del TR del aula magna son muy elevados en todo el rango de frecuencias.

En las frecuencias medias (500 Hz - 1 kHz) el aula no posee una respuesta uniforme, por lo tanto la inteligibilidad de la palabra no es adecuada para un recinto como este.

En bajas frecuencias los valores de TR son mucho más elevados que los requeridos para una sala de estas características, llegando a valores de 3.52 s entre 125 Hz y 250 Hz, mientras que el TR en altas frecuencias es mucho menor. El TR en altas frecuencias podemos observar un ascenso alcanzando un máximo en 2000 Hz de valor 3,03, pero a continuación vuelve a descender, llegando a 0.99 en 10000 Hz como mínimo. Por lo tanto, podemos determinar que entre 1000 y 2000 Hz los materiales presentan menor absorción en esta



banda de octava. Además la absorción es mayor en altas frecuencias debido a las características de los materiales y al propio aire.

Como podemos observar en las gráficas del TR, aunque no sea una magnitud suficiente para poder considerar adecuada la acústica del aula magna, estas nos permiten determinar si su comportamiento se adecúa a nuestras necesidades. Por lo tanto será necesario adecuar la sala a unos valores de TR de 1,00 s aproximadamente. Con un TR de 1,00 s en el aula magna mejoraríamos considerablemente el comportamiento acústico que presenta en la actualidad. 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, por ejemplo en 1000 Hz son 2,76 s, bajar a valores en el torno a 1,00 s supone una importante y más factible mejora acústica de la sala.

7.7.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTO (dB).

A continuación se facilitan los datos obtenidos del nivel de presión sonora directo usando la versión 4.4 del software EASE.

Los resultados para cada banda de frecuencia obtenidos entre la fuente sonora S1 y los puntos de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 y M8; son los siguientes:

Frecuencia	S1M1	S1M2	S1M3	S1M4
125 Hz	78,82 dB	75,65 dB	73,32 dB	76,31 dB
250 Hz	78,81 dB	75,64 dB	73,31 dB	76,3 dB
500 Hz	78,80 dB	75,62 dB	73,29 dB	76,29 dB
1000 Hz	78,78 dB	75,6 dB	73,26 dB	76,27 dB
2000 Hz	78,75 dB	75,55 dB	73,19 dB	76,22 dB
4000 Hz	78,62 dB	75,36 dB	72,95 dB	76,05 dB
8000 Hz	78,12 dB	74,64 dB	72,01 dB	75,38 dB

Tabla 15. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

Frecuencia	S1M5	S1M6	S1M7	S1M8
125 Hz	77,61 dB	78,42 dB	80,49 dB	83,65 dB
250 Hz	77,6 dB	78,41 dB	80,49 dB	83,65 dB
500 Hz	77,59 dB	78,4 dB	80,48 dB	83,64 dB



1000 Hz	77,57 dB	78,38 dB	80,46 dB	83,63 dB
2000 Hz	77,53 dB	78,34 dB	80,43 dB	83,61 dB
4000 Hz	77,38 dB	78,21 dB	80,33 dB	83,54 dB
8000 Hz	76,81 dB	77,68 dB	79,91 dB	83,25 dB

Tabla 16. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

Los resultados para cada banda de frecuencia obtenidos entre las fuentes sonoras y los puntos de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 y M8; son los siguientes:

Frecuencia	S2M1	S2M2	S2M3	S2M4
125 Hz	86,49 dB	83,92 dB	78,56 dB	76,31 dB
250 Hz	86,49 dB	83,92 dB	78,55 dB	76,30 dB
500 Hz	86,49 dB	83,91 dB	78,54 dB	76,29 dB
1000 Hz	86,48 dB	83,90 dB	78,52 dB	76,27 dB
2000 Hz	86,47 dB	83,88 dB	78,49 dB	76,22 dB
4000 Hz	86,41 dB	83,81 dB	78,35 dB	76,05 dB
8000 Hz	86,21 dB	83,53 dB	77,84 dB	75,38 dB

Tabla 17. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

Frecuencia	S2M5	S2M6	S2M7	S2M8
125 Hz	77,61 dB	76,17 dB	74,39 dB	77,98 dB
250 Hz	77,60 dB	76,16 dB	74,38 dB	77,98 dB
500 Hz	77,59 dB	76,14 dB	74,36 dB	77,96 dB
1000 Hz	77,57 dB	76,12 dB	74,33 dB	77,94 dB
2000 Hz	77,53 dB	76,07 dB	74,28 dB	77,91 dB
4000 Hz	77,38 dB	75,90 dB	74,06 dB	77,76 dB
8000 Hz	76,81 dB	75,22 dB	73,23 dB	77,21 dB

Tabla 18. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

Los resultados para cada banda de frecuencia obtenidos entre la fuente sonora S3 y los puntos de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 y M8; son los siguientes:



Frecuencia	S3M1	S3M2	S3M3	S3M4
125 Hz	81,54 dB	78,66 dB	75,65 dB	78,89 dB
250 Hz	81,53 dB	78,65 dB	75,64 dB	78,88 dB
500 Hz	81,53 dB	78,64 dB	75,62 dB	78,87 dB
1000 Hz	81,51 dB	78,62 dB	75,60 dB	78,85 dB
2000 Hz	81,49 dB	78,58 dB	75,55 dB	78,82 dB
4000 Hz	81,39 dB	78,45 dB	75,36 dB	78,69 dB
8000 Hz	81,03 dB	77,94 dB	74,64 dB	78,19 dB

Tabla 19. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Frecuencia	S3M5	S3M6	S3M7	S3M8
125 Hz	81,61 dB	78,90 dB	77,27 dB	82,67 dB
250 Hz	81,61 dB	78,89 dB	77,26 dB	82,67 dB
500 Hz	81,60 dB	78,88 dB	77,25 dB	82,66 dB
1000 Hz	81,59 dB	78,87 dB	77,23 dB	82,65 dB
2000 Hz	81,56 dB	78,83 dB	77,19 dB	82,63 dB
4000 Hz	81,47 dB	78,7 dB	77,03 dB	82,54 dB
8000 Hz	81,11 dB	78,21 dB	76,43 dB	82,22 dB

Tabla 20. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

A continuación mostramos el comportamiento del recinto en relación al nivel de presión sonora directo. Adoptamos las gráficas y valores de las áreas de audiencia en relación con las fuentes sonoras.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 es el siguiente:

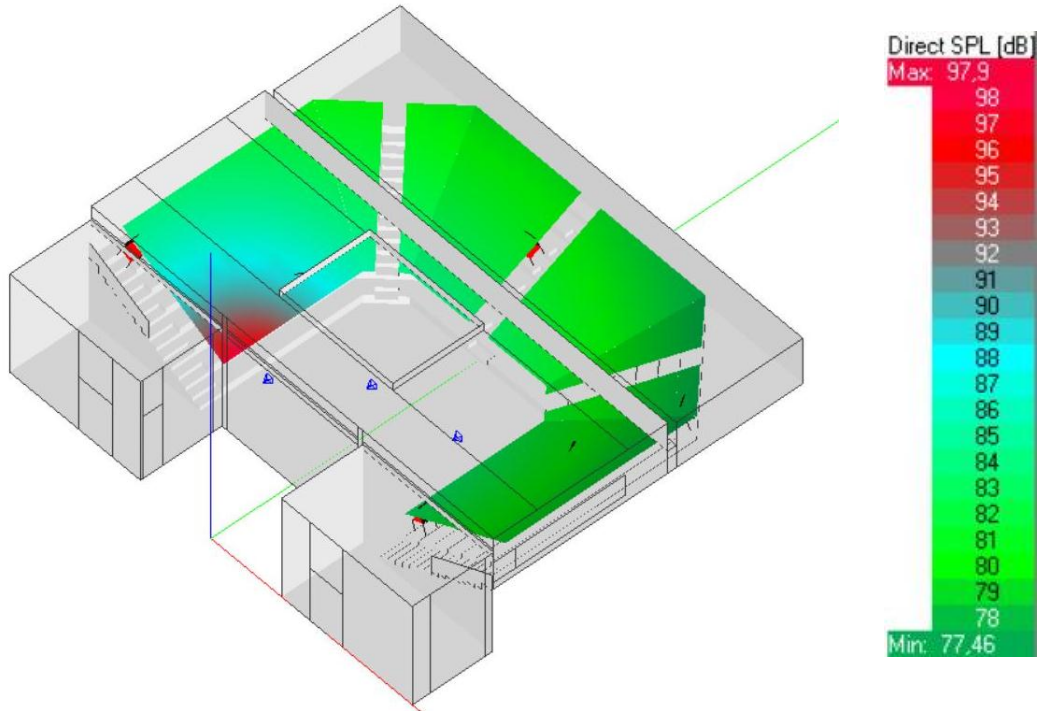


Figura 28. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

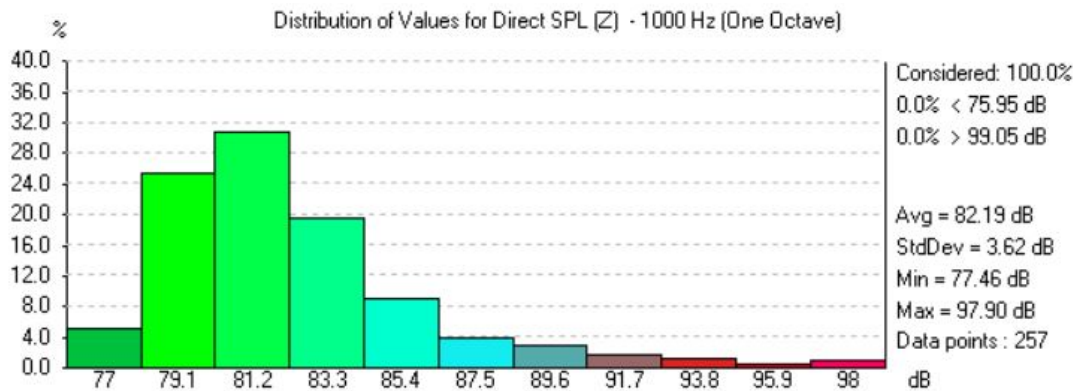


Figura 29. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 es el siguiente:

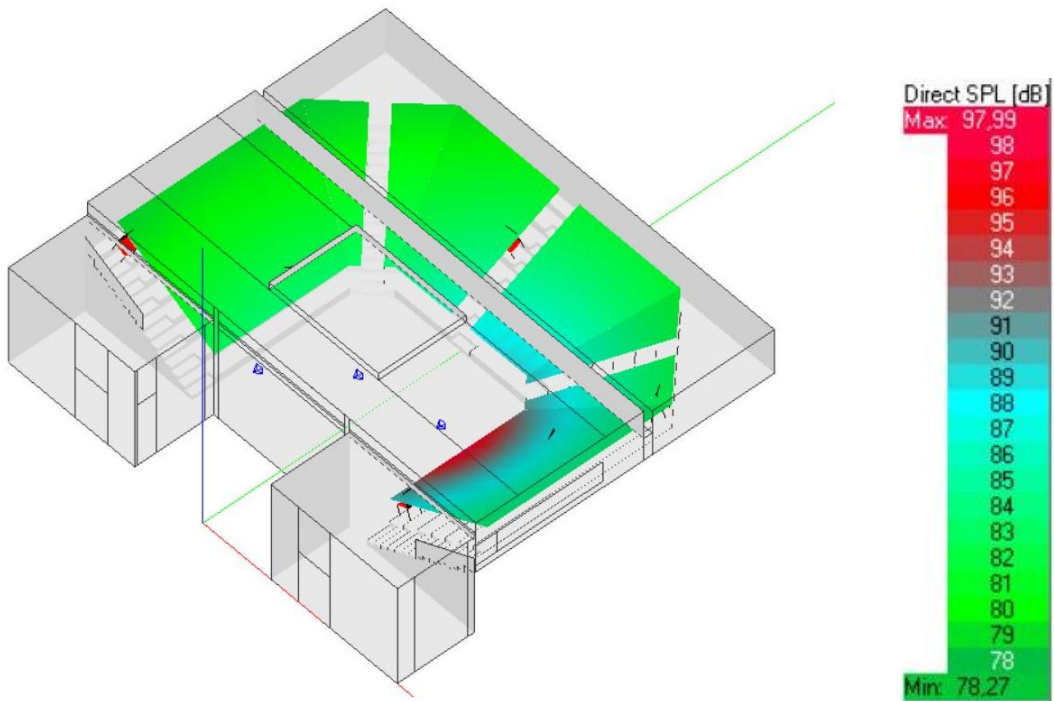


Figura 30. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

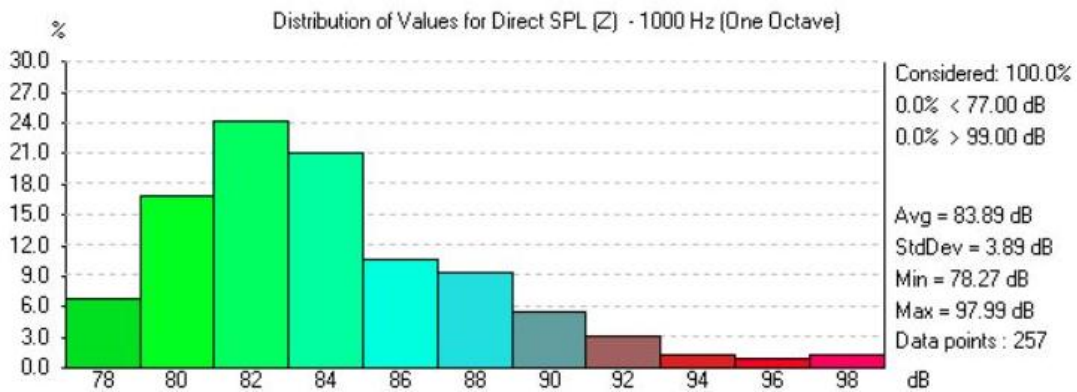


Figura 31. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 es el siguiente:

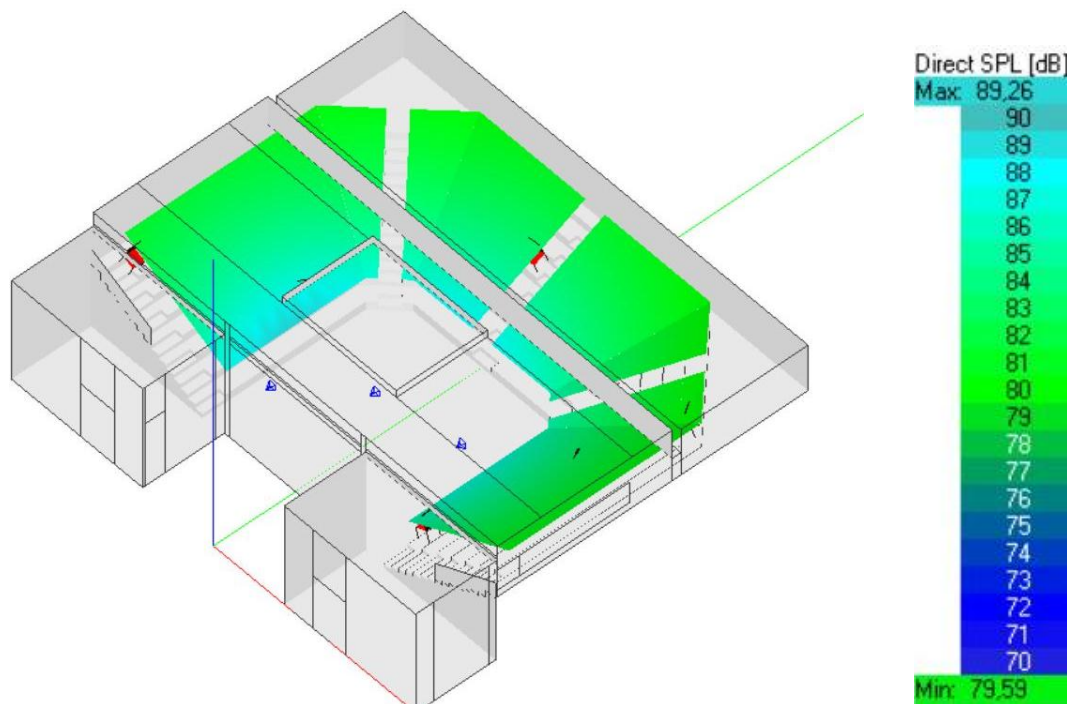


Figura 32. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

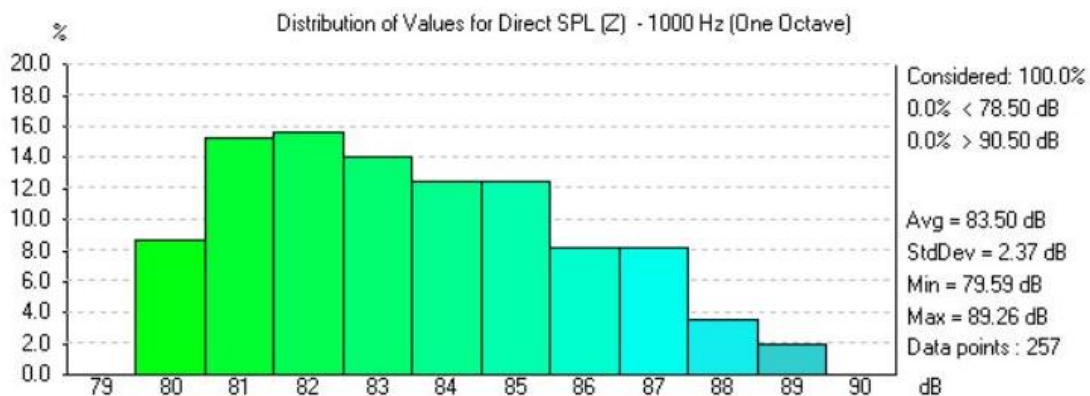


Figura 33. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

El nivel de presión sonora directo indica el nivel de sonido que llega al área de audiencia sin ningún tipo de reflexión.

Los datos demuestran que los valores más grandes se encuentran más próximos a la fuente sonora, mientras que en la grada más alejada el sonido directo corresponde con el mínimo, 79 dB.

En general se tratan de valores elevados, lo que quiere decir que el sistema es bueno ya que hay una buena cobertura de sonido directo. Este buen comportamiento es debido en parte a la potencia de la fuente utilizada.

7.7.3. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL (dB).

Los valores obtenidos de nivel de presión sonora para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S1, son los siguientes:

Frecuencia	S1M1	S1M2	S1M3	S1M4
125 Hz	95,13 dB	95,08 dB	95,06 dB	95,09 dB
250 Hz	95,13 dB	95,08 dB	95,05 dB	95,08 dB
500 Hz	95,11 dB	95,06 dB	95,03 dB	95,06 dB
1000 Hz	94,04 dB	93,97 dB	93,94 dB	93,98 dB
2000 Hz	94,48 dB	94,42 dB	94,40 dB	94,43 dB
4000 Hz	93,53 dB	93,45 dB	93,42 dB	93,46 dB
8000 Hz	91,04 dB	90,91 dB	90,87 dB	90,93 dB

Tabla 21. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

Frecuencia	S1M5	S1M6	S1M7	S1M8
125 Hz	95,11 dB	95,12 dB	95,18 dB	95,34 dB
250 Hz	95,10 dB	95,12 dB	95,18 dB	95,33 dB
500 Hz	95,08 dB	95,10 dB	95,16 dB	95,31 dB
1000 Hz	94,00 dB	94,02 dB	94,10 dB	94,29 dB
2000 Hz	94,45 dB	94,47 dB	94,54 dB	94,72 dB
4000 Hz	93,49 dB	93,51 dB	93,59 dB	93,81 dB
8000 Hz	90,98 dB	91,02 dB	91,15 dB	91,51 dB

Tabla 22. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

Los valores obtenidos de nivel de presión sonora para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S2, son los siguientes:

Frecuencia	S2M1	S2M2	S2M3	S2M4
125 Hz	95,60 dB	95,35 dB	95,13 dB	95,12 dB
250 Hz	95,60 dB	95,35 dB	95,12 dB	95,12 dB
500 Hz	95,58 dB	95,33 dB	95,10 dB	95,10 dB
1000 Hz	94,63 dB	94,32 dB	94,03 dB	94,02 dB
2000 Hz	95,02 dB	94,74 dB	94,48 dB	94,47 dB
4000 Hz	94,18 dB	93,84 dB	93,52 dB	93,51 dB
8000 Hz	92,10 dB	91,56 dB	91,02 dB	91,01 dB

Tabla 23. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Frecuencia	S2M5	S2M6	S2M7	S2M8
125 Hz	95,26 dB	95,09 dB	95,07 dB	95,12 dB
250 Hz	95,26 dB	95,08 dB	95,06 dB	95,11 dB
500 Hz	95,24 dB	95,06 dB	95,04 dB	95,09 dB
1000 Hz	94,20 dB	93,98 dB	93,95 dB	94,01 dB
2000 Hz	94,63 dB	94,43 dB	94,41 dB	94,46 dB
4000 Hz	93,71 dB	93,46 dB	93,44 dB	93,50 dB
8000 Hz	91,35 dB	90,93 dB	90,89 dB	91,00 dB

Tabla 24. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

Los valores obtenidos de nivel de presión sonora para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S3, son los siguientes:

Frecuencia	S3M1	S3M2	S3M3	S3M4
125 Hz	95,22 dB	95,13 dB	95,08 dB	95,12 dB
250 Hz	95,22 dB	95,12 dB	95,08 dB	95,12 dB
500 Hz	95,20 dB	95,10 dB	95,06 dB	95,10 dB
1000 Hz	94,15 dB	94,03 dB	93,97 dB	94,02 dB
2000 Hz	94,58 dB	94,48 dB	94,42 dB	94,47 dB
4000 Hz	93,65 dB	93,52 dB	93,45 dB	93,51 dB
8000 Hz	91,25 dB	91,03 dB	90,91 dB	91,01 dB

Tabla 25. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Frecuencia	S3M5	S3M6	S3M7	S3M8
125 Hz	95,22 dB	95,14 dB	95,10 dB	95,28 dB
250 Hz	95,22 dB	95,13 dB	95,10 dB	95,27 dB
500 Hz	95,20 dB	95,11 dB	95,08 dB	95,25 dB
1000 Hz	94,15 dB	94,04 dB	94,00 dB	94,22 dB
2000 Hz	94,59 dB	94,49 dB	94,45 dB	94,65 dB
4000 Hz	93,66 dB	93,53 dB	93,48 dB	93,73 dB
8000 Hz	91,25 dB	91,04 dB	90,97 dB	91,37 dB

Tabla 26. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Para una mejor comprensión del comportamiento del recinto en relación al nivel de presión sonora total, facilitamos mapas sonoros de las áreas de audiencia en relación con las fuentes sonoras.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 es el siguiente:

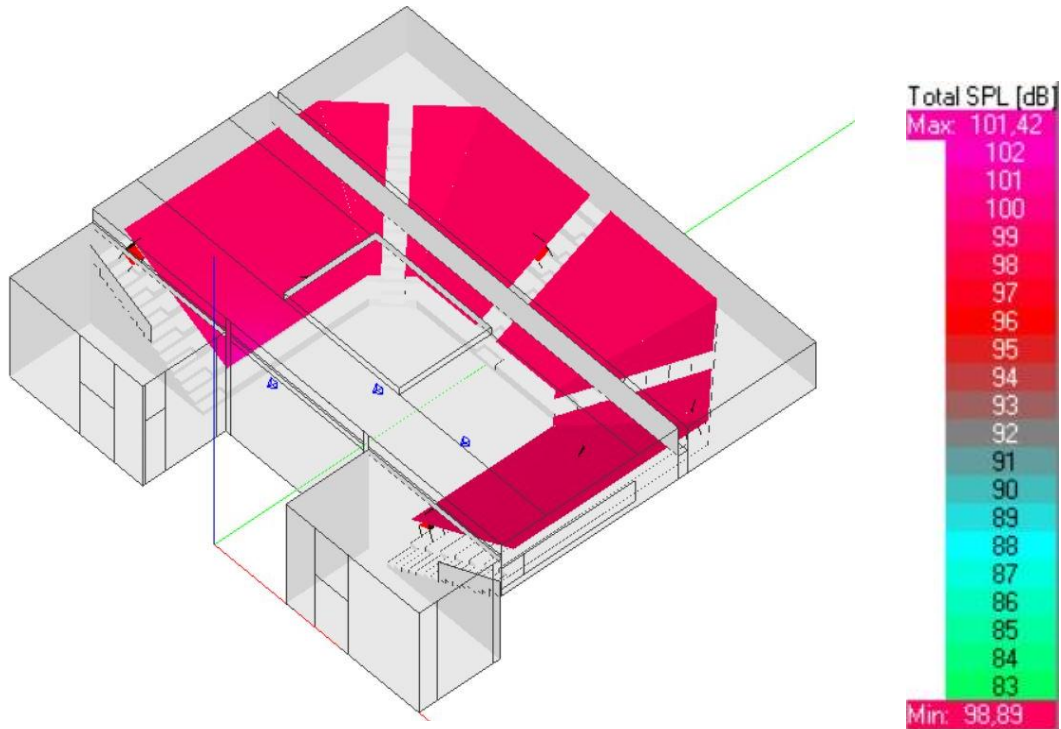


Figura 34. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

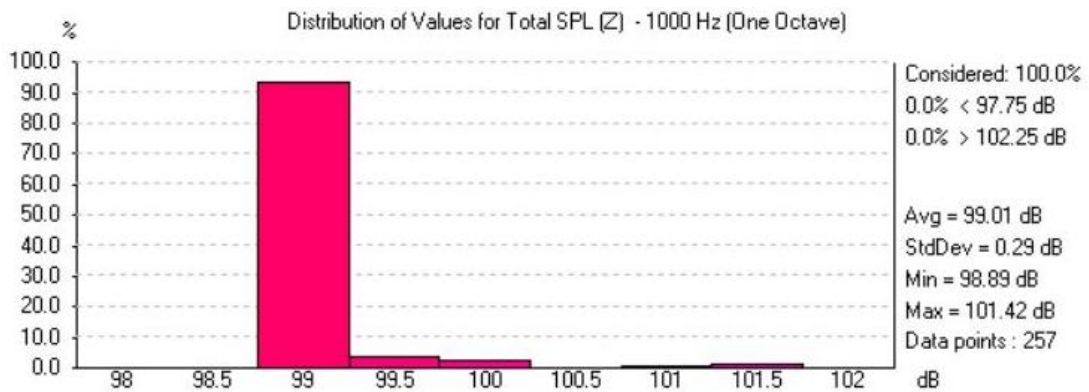


Figura 35. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 es el siguiente:

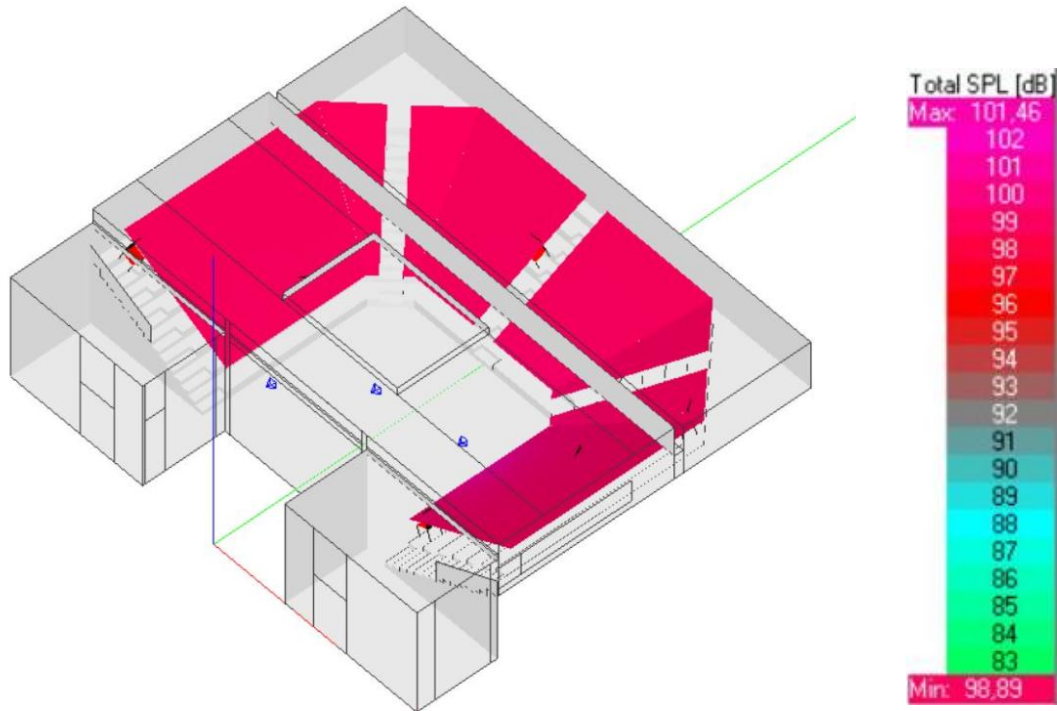


Figura 36. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

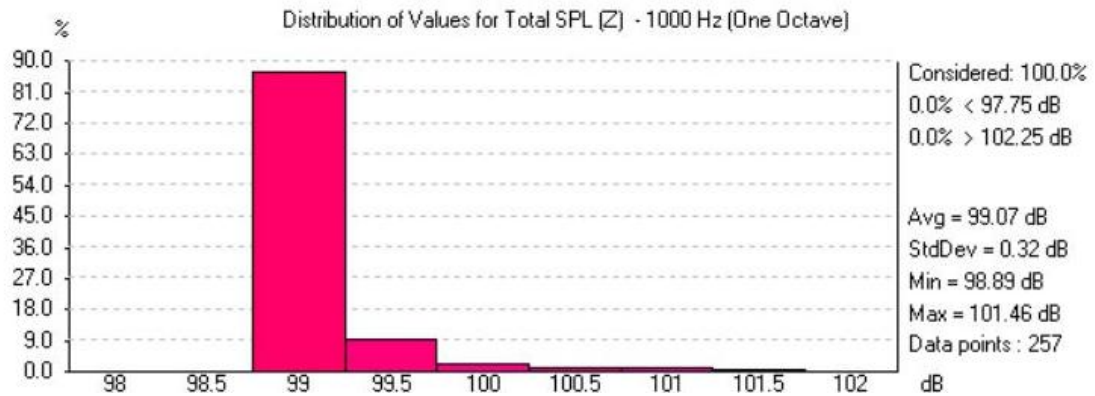


Figura 37. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 es el siguiente:

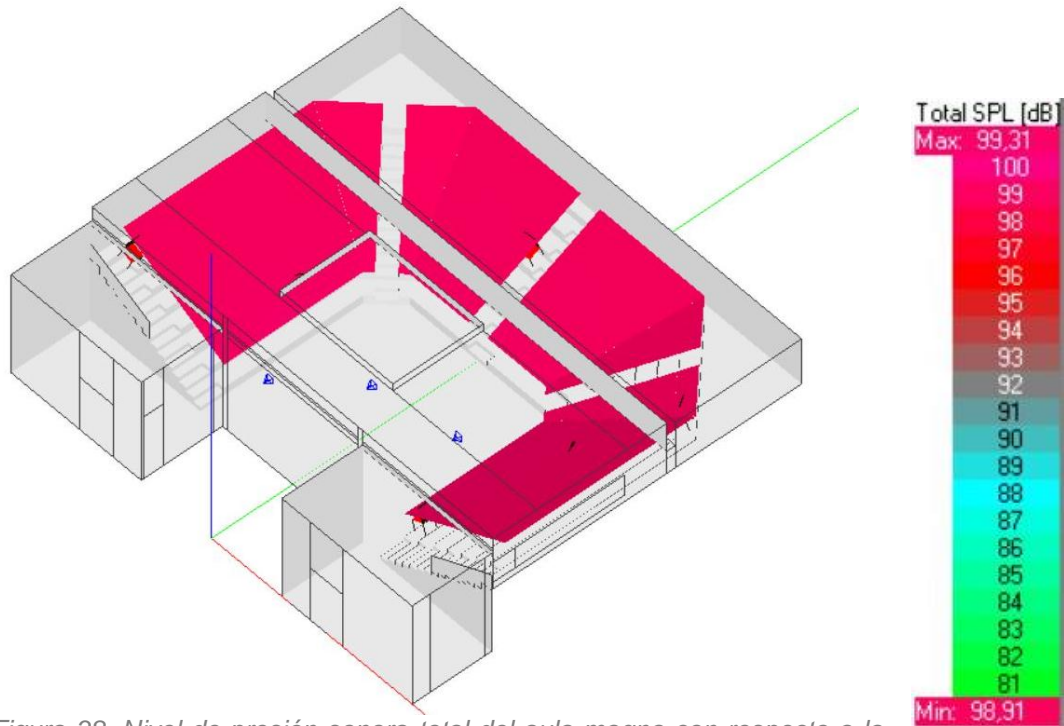


Figura 38. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

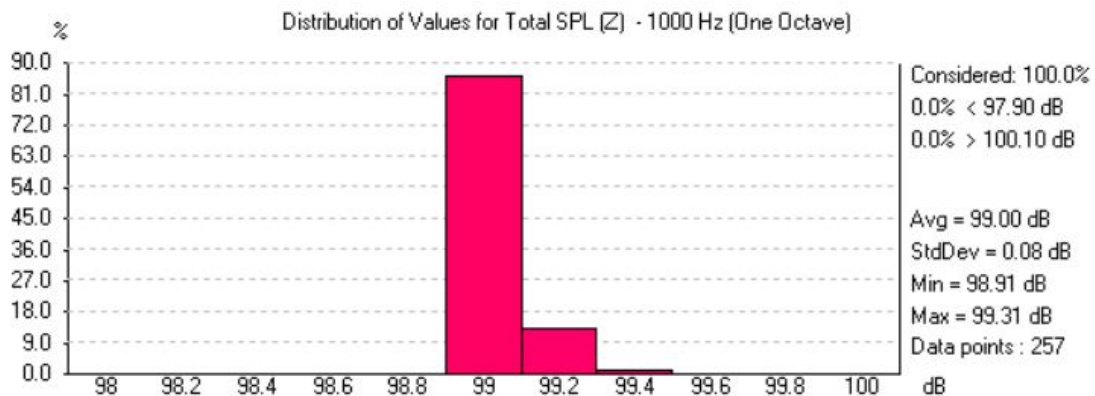


Figura 39. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Los valores obtenidos del nivel de presión sonora total representan la suma del nivel de presión sonora directo y el nivel de presión sonora reverberante.

Los valores obtenidos en las zonas de audiencia son bastante uniformes ya que están todos en torno a 100 dB.

Los valores obtenidos son elevados, debido a la alta potencia de las fuentes sonoras empleadas en la simulación, tal y como establece la norma UNE-EN

ISO 3382-2: 2008. Estos valores variarían en función de la potencia de la fuente sonora.

7.7.4. RELACIÓN ENTRE CAMPO DIRECTO Y REVERBERANTE (D/R RATIO).

La relación entre el campo directo y el reverberante para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S1, son los siguientes:

Frecuencia	S1M1	S1M2	S1M3	S1M4
125 Hz	-16,21 dB	-19,38 dB	-21,71 dB	-18,72 dB
250 Hz	-16,22 dB	-19,39 dB	-21,72 dB	-18,73 dB
500 Hz	-16,21 dB	-19,39 dB	-21,72 dB	-18,72 dB
1000 Hz	-15,12 dB	-18,30 dB	-20,64 dB	-17,63 dB
2000 Hz	-15,62 dB	-18,82 dB	-21,18 dB	-18,15 dB
4000 Hz	-14,76 dB	-18,02 dB	-20,43 dB	-17,33 dB
8000 Hz	-12,69 dB	-16,17 dB	-18,80 dB	-15,43 dB

Tabla 27. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

Frecuencia	S1M5	S1M6	S1M7	S1M8
125 Hz	-12,58 dB	-16,61 dB	-14,54 dB	-11,38 dB
250 Hz	-12,59 dB	-16,62 dB	-14,54 dB	-11,38 dB
500 Hz	-12,58 dB	-16,61 dB	-14,53 dB	-11,37 dB
1000 Hz	-11,48 dB	-15,52 dB	-13,44 dB	-10,27 dB
2000 Hz	-11,97 dB	-16,03 dB	-13,94 dB	-10,76 dB
4000 Hz	-11,06 dB	-15,17 dB	-13,05 dB	-9,84 dB
8000 Hz	-8,82 dB	-13,13 dB	-10,90 dB	-7,56 dB

Tabla 28. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

La relación entre el campo directo y el reverberante para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S2, son los siguientes:

Frecuencia	S2M1	S2M2	S2M3	S2M4
125 Hz	-8,54 dB	-11,11 dB	-16,47 dB	-16,67 dB
250 Hz	-8,54 dB	-11,11 dB	-16,48 dB	-16,68 dB
500 Hz	-8,52 dB	-11,10 dB	-16,47 dB	-16,67 dB
1000 Hz	-7,42 dB	-10,00 dB	-15,38 dB	15,58 dB
2000 Hz	-7,90 dB	-10,49 dB	-15,88 dB	16,08 dB
4000 Hz	-6,97 dB	-9,57 dB	-15,03 dB	15,23 dB
8000 Hz	-4,60 dB	-7,28 dB	-12,97 dB	13,19 dB

Tabla 29. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Frecuencia	S2M5	S2M6	S2M7	S2M8
125 Hz	-12,58 dB	-18,86 dB	-20,64 dB	-17,05 dB
250 Hz	-12,59 dB	-18,87 dB	-20,65 dB	-17,05 dB
500 Hz	-12,58 dB	-18,87 dB	-20,65 dB	-17,05 dB
1000 Hz	-11,48 dB	-17,78 dB	-19,57 dB	-15,96 dB
2000 Hz	-11,97 dB	-18,30 dB	-20,09 dB	-16,46 dB
4000 Hz	-11,06 dB	-17,48 dB	-19,32 dB	-15,62 dB
8000 Hz	-8,82 dB	-15,59 dB	-17,58 dB	-13,60 dB

Tabla 30. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

La relación entre el campo directo y el reverberante para cada punto de audiencia M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7 Y M8, con respecto a la fuente sonora S3, son los siguientes:

Frecuencia	S3M1	S3M2	S3M3	S3M4
125 Hz	-13,49 dB	-16,37 dB	-19,38 dB	-16,14 dB
250 Hz	-13,50 dB	-16,38 dB	-19,39 dB	-16,15 dB
500 Hz	-13,48 dB	-16,37 dB	-19,39 dB	-16,14 dB
1000 Hz	-12,39 dB	-15,28 dB	-18,30 dB	-15,05 dB
2000 Hz	-12,88 dB	-15,79 dB	-18,82 dB	-15,55 dB
4000 Hz	-11,99 dB	-14,93 dB	-18,02 dB	-14,69 dB
8000 Hz	-9,78 dB	-12,87 dB	-16,17 dB	-12,62 dB

Tabla 31. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Frecuencia	S3M5	S3M6	S3M7	S3M8
125 Hz	-13,42 dB	-16,13 dB	-17,76 dB	-12,36 dB
250 Hz	-13,42 dB	-16,14 dB	-17,77 dB	-12,36 dB
500 Hz	-13,41 dB	-16,13 dB	-17,76 dB	-12,35 dB
1000 Hz	-12,31 dB	-15,03 dB	-16,67 dB	-11,25 dB
2000 Hz	-12,81 dB	-15,54 dB	-17,18 dB	-11,74 dB
4000 Hz	-11,91 dB	-14,68 dB	-16,35 dB	-10,84 dB
8000 Hz	-9,70 dB	-12,60 dB	-14,38 dB	-8,59 dB

Tabla 32. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Los datos obtenidos de la relación entre campo directo y campo reverberante con respecto a las áreas de audiencia se explicarán a través de los histogramas que facilita la herramienta informática EASE.



El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 es el siguiente:

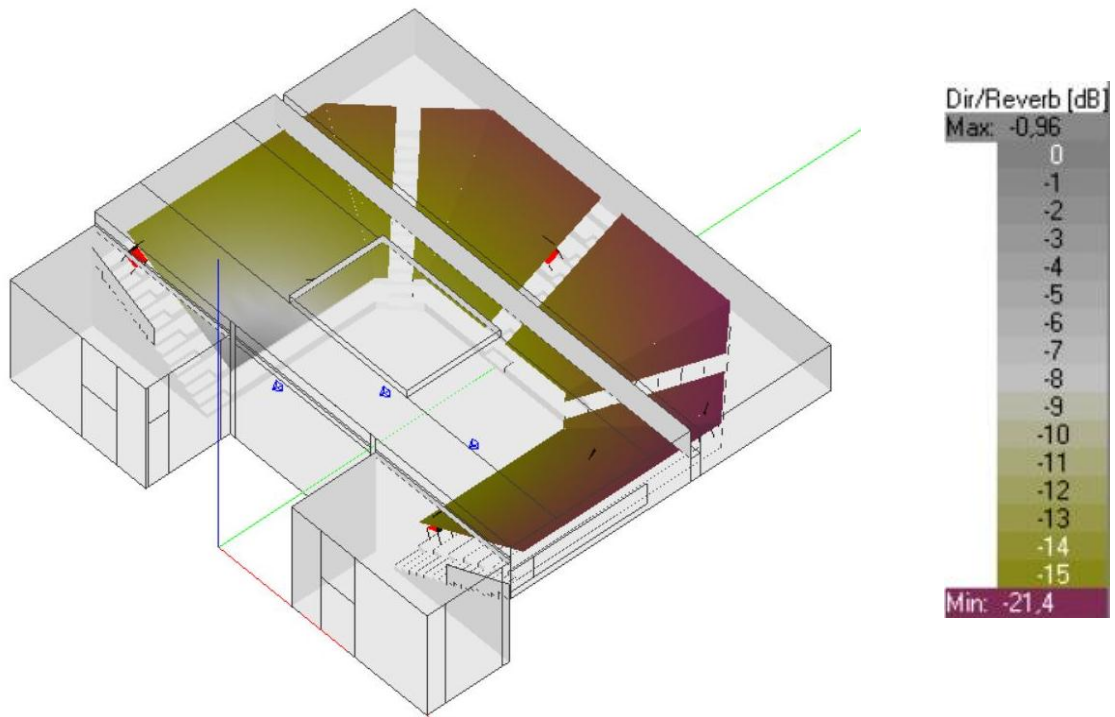


Figura 40. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

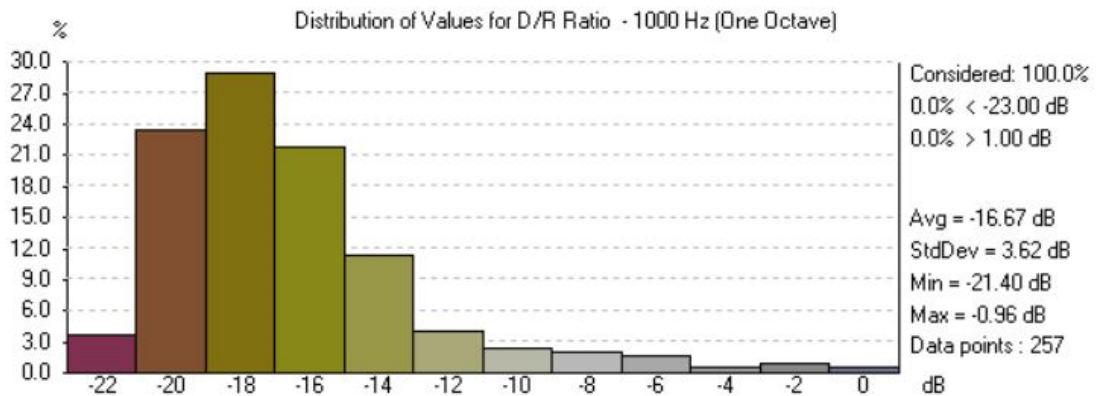


Figura 41. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 es el siguiente:

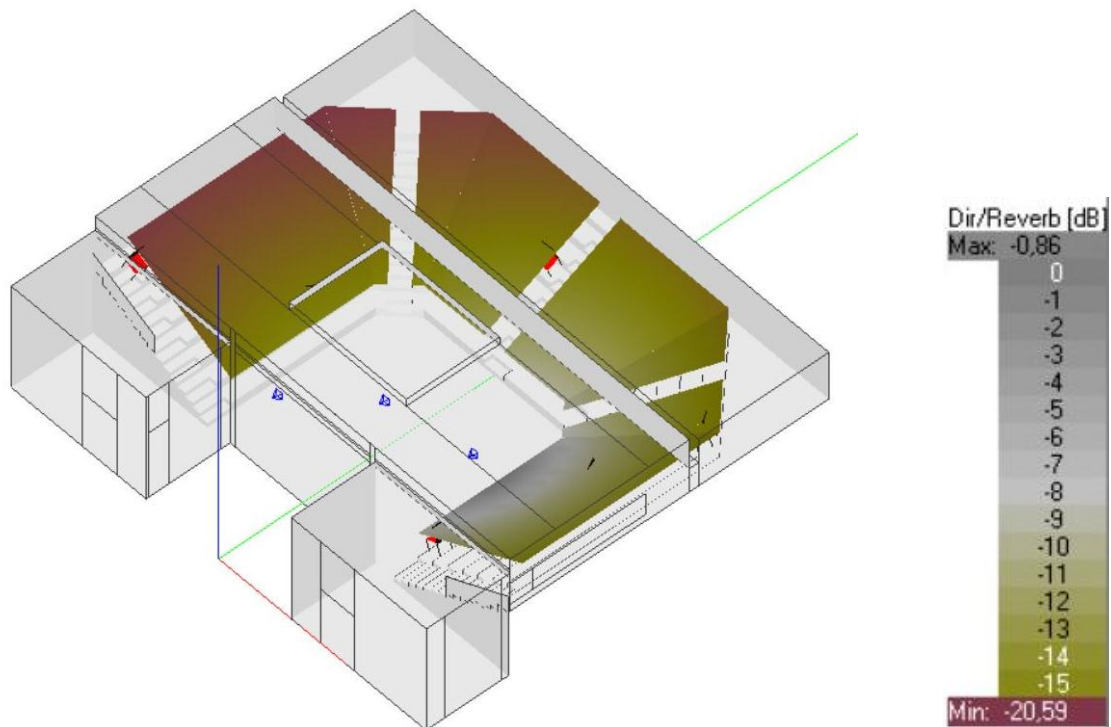


Figura 42. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

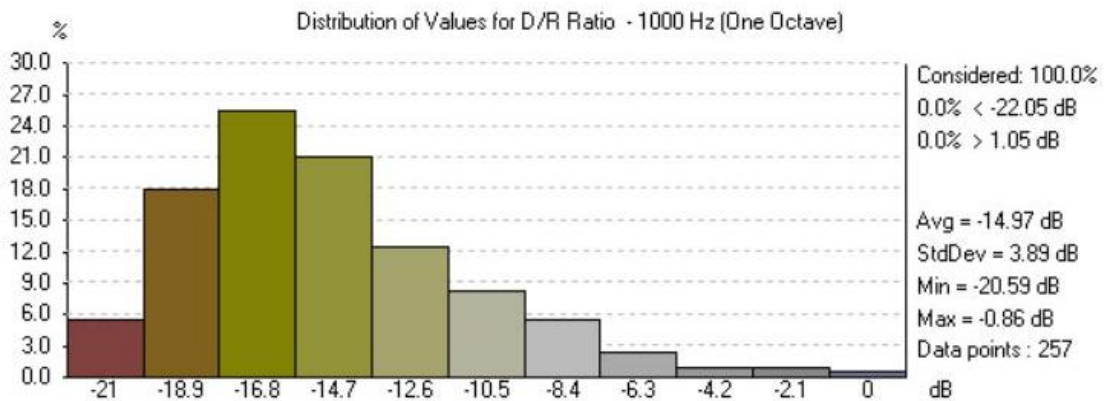


Figura 43. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 es el siguiente:

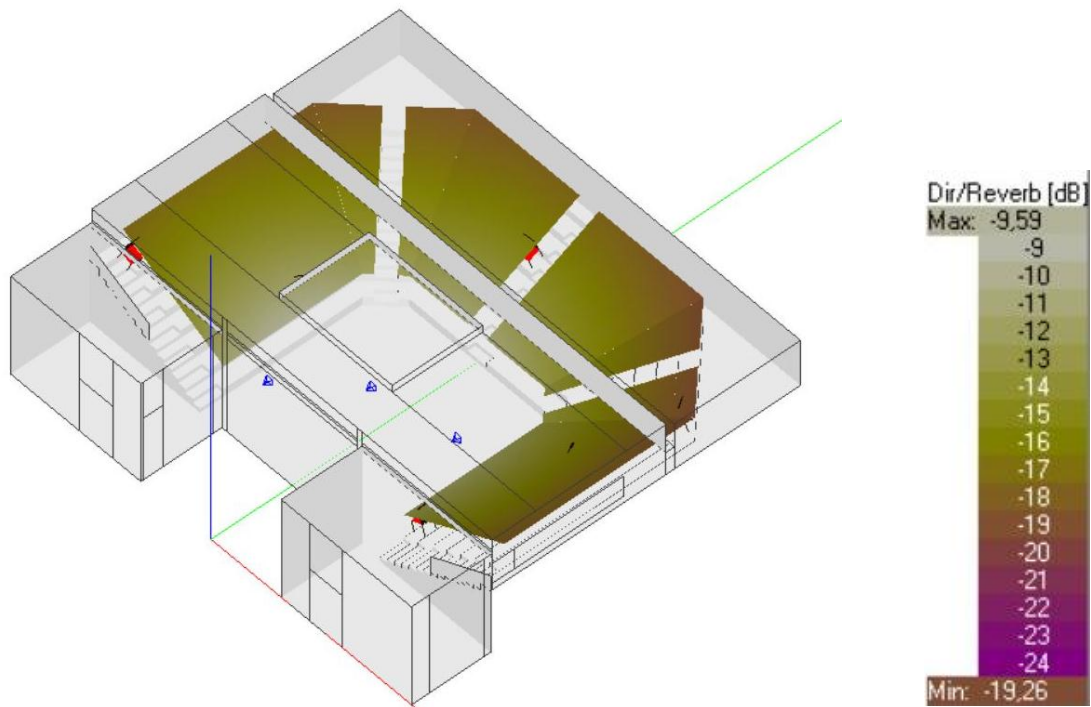


Figura 44. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

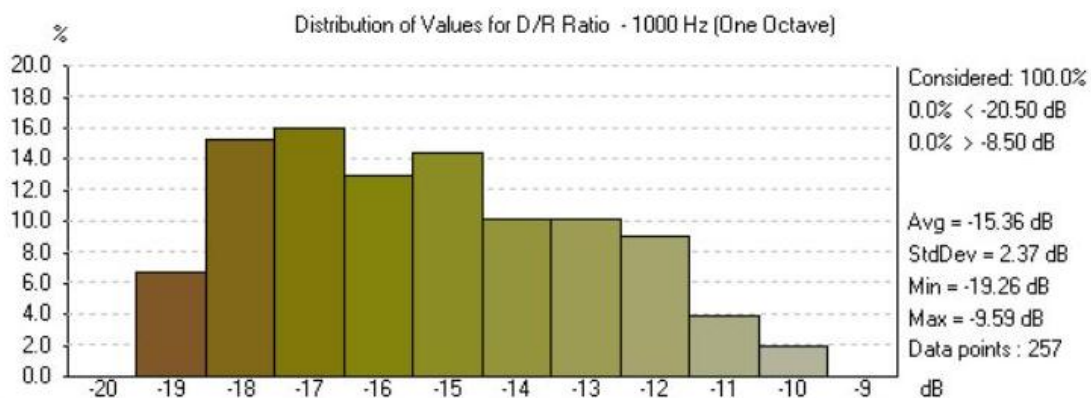


Figura 45. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Como indicamos con anterioridad este valor nos indica la relación entre el sonido directo y el reverberante (estando en dB ambos valores).

En nuestro caso todos los valores obtenidos muestran que el campo reverberante es mucho mayor que el directo. Podemos observar como los valores van desde un mínimo de -21 dB, hasta un máximo de 0 dB.

También observamos que cuanto más nos alejamos de la fuente mayor es el sonido reverberante y menor el sonido directo.



7.7.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Una vez obtenidos todos los parámetros acústicos y analizados independientemente cada uno de ellos, afrontaremos un análisis global del comportamiento acústico de la sala.

Observamos que el tiempo de reverberación del aula magna presenta unos valores inadecuados para la función a la que está destinado este recinto.

En cuanto al nivel de presión sonora directo, con la potencia de la fuente sonora dispuestas para la simulación, el aula magna presenta valores elevados por lo que hay una buena cobertura del sonido directo.

Los valores obtenidos del nivel de presión sonora total 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.

Ante los resultados obtenidos y el análisis realizado, corroboraremos estos datos obtenidos con la herramienta tecnológica EASE, con los valores calculados analíticamente a continuación.

Posteriormente, una vez realizadas las comprobaciones pertinentes de los datos, adoptaremos una propuesta de mejora de la calidad acústica del aula magna.



8.CÁLCULO ANALÍTICO DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.





8.1. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTO.

Cálculo del nivel de presión sonora directo, (SPL_d).

$$SPL_d = S + 10\log P_e - 20\log r + D \text{ (dB)}$$

Siendo:

SPL_d , nivel de presión sonora directo.

S, sensibilidad del altavoz (dB).

P_e , potencia del altavoz.

En este caso la potencia del altavoz (sphere), es $P_e = 4.762 \text{ W}$.

r, radio (m).

Las distancias son varían según el punto del oyente a analizar.

D, pérdidas por directividad, (dB).

D = 0 dB, en nuestro caso.

Los niveles de presión sonora obtenidos analíticamente son los siguientes:

	S1	S2	S3
M1	78,83 dB	86,49 dB	81,54 dB
M2	75,66 dB	83,93 dB	78,66 dB
M3	73,33 dB	78,57 dB	75,66 dB
M4	76,31 dB	78,36 dB	78,89 dB
M5	77,62 dB	82,44 dB	81,61 dB
M6	78,42 dB	76,17 dB	78,90 dB
M7	80,49 dB	74,40 dB	77,27 dB
M8	83,66 dB	77,99 dB	82,68 dB

Tabla 33. Cálculo analítico del nivel de presión sonora directo. Fuente propia.

8.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA REVERBERANTE (SPL_r).

Cálculo del nivel de presión sonora reverberante (SPL_r).

$$SPL_r = S + 10\log P_e - 10\log Q_{ax} \cdot R + 17 \text{ (dB)}$$



Siendo:

SPL_r , nivel de presión sonora reverberante.

S, sensibilidad del altavoz (dB).

P_e , potencia del altavoz.

Factor de directividad axial.

En nuestro caso $Q=1$, ya que las fuentes son omnidireccionales.

R, constante de sala.

$$R = \frac{S_t \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} \quad \text{Calculando} \quad \alpha_m = \frac{\sum \alpha \cdot A}{S_T}$$

Los niveles de presión sonora reverberante obtenidos analíticamente de cada una de las fuentes sonoras con respecto a cualquier punto de audiencia son iguales ya que estamos trabajando con teoría estadística.

SPL_r	93,91 dB
---------	----------

Tabla 34. Cálculo analítico del nivel de presión sonora reverberante. Fuente propia.

8.3. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL.

Cálculo del nivel de presión sonora total.

$$SPL_T = 10 \log \left(10^{\frac{SPL_d}{10}} + 10^{\frac{SPL_r}{10}} \right)$$

Siendo:

SPL_T , nivel de presión sonora total.

SPL_d , nivel de presión sonora directo.

SPL_r , nivel de presión sonora reverberante.

Los niveles de presión sonora total con los datos obtenidos son los siguientes:



	S1	S2	S3
M1	94,04 dB	94,63 dB	94,15 dB
M2	93,97 dB	94,32 dB	94,03 dB
M3	93,94 dB	94,03 dB	93,97 dB
M4	93,98 dB	94,03 dB	94,04 dB
M5	94,01 dB	94,21 dB	94,16 dB
M6	94,03 dB	93,98 dB	94,04 dB
M7	94,10 dB	93,96 dB	94,00 dB
M8	94,30 dB	94,02 dB	94,22 dB

Tabla 35. Cálculo analítico del nivel de presión sonora total. Fuente propia.

8.4. NIVEL RELACIÓN ENTRE DIRECTO Y REVERBERANTE (D/R RATIO).

$$\frac{D}{R} \text{ ratio} = \log \left(\frac{10^{\text{SPL}_d}}{10^{\text{SPL}_r}} \right)$$

Siendo:

D/R ratio, relación entre campo directo y reverberante.

SPL_d, nivel de presión sonora directo.

SPL_r, nivel de presión sonora reverberante.

Los resultados del D/R ratio obtenidos son los siguientes:

	S1	S2	S3
M1	-15,08 dB	-7,42 dB	-12,37 dB
M2	-18,25 dB	-9,98 dB	-15,24 dB
M3	-20,58 dB	-15,34 dB	-18,25 dB
M4	-17,59 dB	-15,54 dB	-15,02 dB
M5	-16,29 dB	-11,47 dB	-12,29 dB
M6	-15,49 dB	-17,73 dB	-15,00 dB
M7	-13,41 dB	-19,51 dB	-16,64 dB
M8	-10,25 dB	-15,92 dB	-11,23 dB

Tabla 36. D/R ratio. Fuente propia.

8.5. COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS CON EASE Y ANALÍTICAMENTE.

Una vez calculados los parámetros acústicos analíticamente y mediante Enhanced Acoustic Simulator for Engineers”, podemos asegurar que las desviaciones en los resultados obtenidos con cada uno de los métodos son asumibles. La comparación de los resultados obtenidos tanto de forma



analítica como a través de EASE, nos servirá de gran ayuda para conformar una propuesta de mejora lo más adecuada posible.



9. VALIDACIÓN DEL MODELO.





9.1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado se abordará el proceso a seguir para la validación de un modelo, según la norma UNE-EN ISO 3382-2, Medición de Parámetros Acústicos en recintos, parte 2: Tiempo de Reverberación en recintos ordinarios, tal y como realizaron los alumnos en colaboración del Máster Universitario en Ingeniería Acústica de Edificación y Medio Ambiente de la UPM, para comunicaciones en el próximo Congreso Ibérico Tecniacústica 2017 que tendrá sede en la EUAT de la UDC.

Esta norma establece distintas metodologías a seguir para medir el tiempo de reverberación y diversos parámetros acústicos, así como la descripción del equipo utilizado para la realización de las medidas.

Esta medición in situ nos permitiría valorar de forma fidedigna el comportamiento acústico de la sala, así como la validación del modelo creado en EASE.

9.2. CONDICIONES DE MEDICIÓN.

Siguiendo la UNE-EN ISO 3382-2, las mediciones del tiempo de reverberación se deberán realizar en un recinto sin personas. Sin embargo, se puede permitir que en un recinto se hallen hasta dos personas.

En recintos grandes, la atenuación por el aire puede contribuir de manera significativa a la absorción acústica a frecuencias elevadas. Para las mediciones de precisión, se debe medir la temperatura y la humedad relativa del aire en el recinto. La importancia de la contribución de la absorción del aire es baja si el tiempo de reverberación es inferior a 1,5 s a 2 kHz e inferior a 0,8 s a 4 kHz. En este caso, no es necesario medir la temperatura y la humedad relativa.

Estas condiciones han sido seguidas en el proceso de medición del aula magna.



9.3. MÉTODOS DE MEDIDA.

La Norma ISO 3382 se describen dos métodos para medir el tiempo de reverberación; el método del ruido interrumpido y el método de la respuesta impulsiva integrada.

9.3.1. MÉTODO DEL RUIDO INTERRUMPIDO.

Este método nos permite obtener curvas de decrecimiento mediante el registro directo del decrecimiento del nivel de presión acústica tras la excitación de un recinto con ruido de banda ancha o ruido de banda limitado.

Se debe utilizar un altavoz y la señal que recibe debe proceder de un ruido eléctrico de banda ancha aleatorio o pseudoaleatorio.

Para los métodos de ingeniería y de precisión, la duración de excitación del recinto debe ser suficiente para que el campo acústico alcance un estado estacionario antes de apagar la fuente. Por lo tanto, es esencial emitir el ruido durante al menos $T/2$ s. En recintos grandes, la duración de la excitación debe ser de al menos unos segundos.

El proceso que se sigue con este método es el siguiente:

Se excita la sala y una vez que ha cesado de emitir la fuente, se registra la caída de presión sonora, en bandas de octava o de tercio de octava. El tiempo de reverberación será el tiempo que tarda la energía en decaer 60 dB.

Para este método no se necesita una instrumentación sofisticada, únicamente es necesario un micrófono con filtros que capte la señal y un registrador de la caída.

Este método solo nos permite obtener el Tiempo de Reverberación.

9.3.2. MÉTODO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA INTEGRADA.

Este método obtiene curvas de decrecimiento mediante la integración inversa del tiempo de respuestas impulsivas al cuadrado.

Para evaluar las características acústicas de un recinto es crucial el conocimiento de su respuesta impulsiva. La respuesta impulsiva caracteriza al recinto para una ubicación dada de fuente y receptor y varía según la geometría y materiales, entre otros factores. En la actualidad el conocimiento



de la respuesta impulsiva del recinto resulta imprescindible para el análisis y diseño de diversos recintos.

Una de las ventajas que presenta este método, precisamente, es que a partir de la RIR se pueden calcular múltiples parámetros además del tiempo de reverberación.

9.4. EQUIPO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN.

9.4.1. FUENTE ACÚSTICA.

La fuente debería ser lo más omnidireccional posible. Para mediciones de precisión, la directividad de la fuente acústica debe cumplir los requisitos de la Norma ISO 3382-1. Para las mediciones de control y de ingeniería, no existen requisitos específicos para la directividad. Debe producir un nivel de presión acústica suficiente para generar curvas de decrecimiento con el rango dinámico mínimo requerido sin contaminación por ruido de fondo.



Figura 46. Fuente omnidireccional. Fuente: UPM.

9.4.2. MICRÓFONOS Y EQUIPO DE ANÁLISIS.

Se deben utilizar micrófonos omnidireccionales para detectar la presión acústica y la salida se puede conectar: – directamente a un amplificador, un conjunto de filtros y un sistema donde se muestran las curvas de decrecimiento o a un equipo de análisis que permita calcular las respuestas impulsivas; o – a un registrador de señal para un análisis posterior.





Figura 47. Micrófono. Fuente: UPM.

El micrófono debería ser lo más pequeño posible y tener preferiblemente un diámetro de diafragma máximo de 14 mm. Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 27 mm si son del tipo respuesta en presión o del tipo respuesta en campo libre, siempre y cuando se suministren con un corrector de incidencia aleatoria.

El micrófono debería ser lo más pequeño posible y tener preferiblemente un diámetro de diafragma máximo de 14 mm.

Se permiten micrófonos con diámetros de hasta 27 mm si son del tipo respuesta en presión o del tipo respuesta en campo libre, siempre y cuando se suministren con un corrector de incidencia aleatoria.

9.5. PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.

A partir del ordenador junto con un software se genera la señal de excitación que es emitida por la fuente. El micrófono se encarga de recoger la señal de excitación.

Esta señal es recogida por el ordenador, a través de la tarjeta de sonido. La señal es procesada para su posterior análisis y obtención de los parámetros acústicos.

Antes de realizar las medidas hay que comprobar que la relación señal a ruido sea la correcta. Si no se tiene suficiente nivel hay que aumentar el nivel de la señal mediante el amplificador, teniendo cuidado de que no se produzca saturación del sistema.

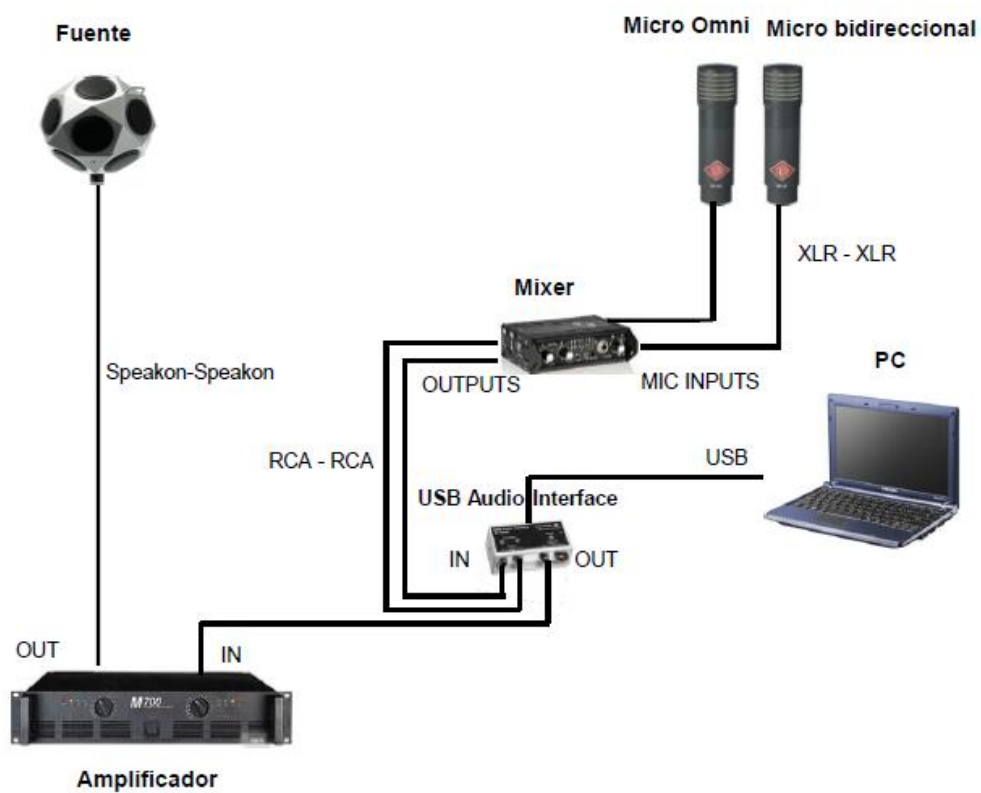


Figura 48. Esquema del montaje para realizar las medidas con Dirac. Fuente: UPM.



10.PROPUESTA DE MEJORA ACÚSTICA.





10.1. IDEAS DE PARTIDA PARA LA 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 a criterios tales como la simplicidad técnica de montaje o 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.

Para valorar el grado de mejora que experimentará el aula nos apoyaremos de nuevo en la herramienta tecnológica EASE.

El proceso a seguir con EASE, ahora que ya tenemos el modelo geométrico introducido consistirá básicamente en cambiar los materiales y analizar la mejora que experimenta con cada cambio realizado. EASE nos permitirá conocer exactamente la mejora que experimenta con cada uno de los elementos introducidos en la sala.

Además con este programa sabremos, como vimos con anterioridad, el porcentaje que ocupa cada material utilizado en el recinto. Esto nos facilitará el proceso de sustitución de unos materiales por otros con un coeficiente de absorción más favorable.

Una vez cambiados e introducidos los nuevos elementos en el modelo, procederemos de una forma muy semejante a la realizada con el estado actual de la sala, es decir, analizaremos y valoraremos la mejora acústica que experimenta el aula magna.

Para completar la propuesta de mejora se procederá a realizar una valoración económica de ésta. De esta manera podremos determinar si resulta viable la inversión a realizar.



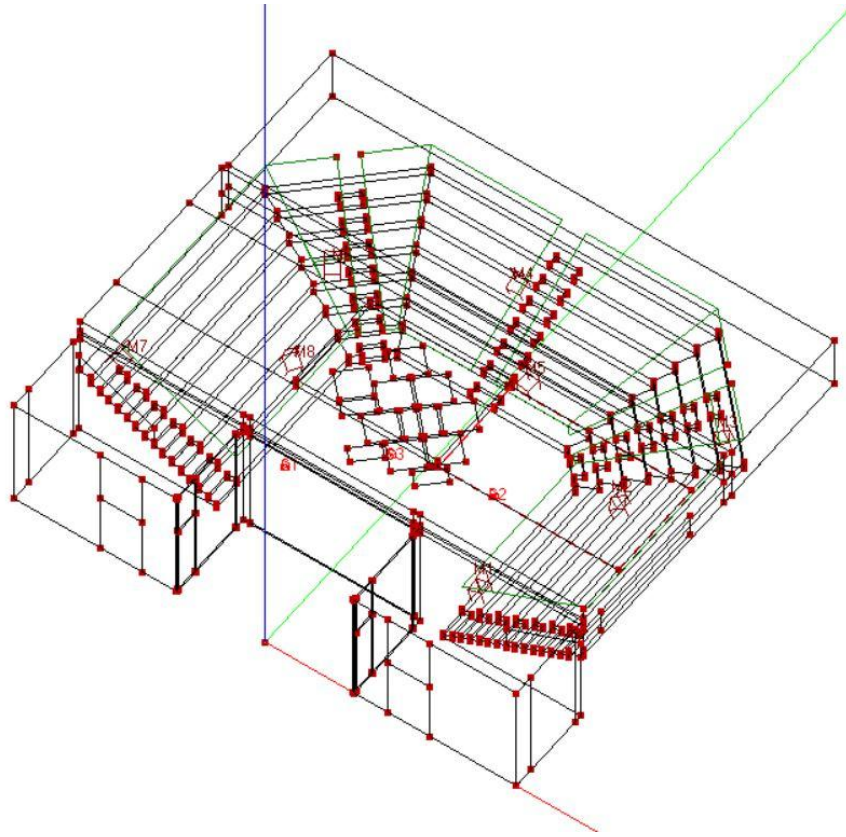


Figura 49. Vista 3D de la propuesta de mejora. Fuente: EASE.

10.2. ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA MEJORA ACÚSTICA Y CARACTERÍSTICAS.

Por todas las razones indicadas con anterioridad adoptamos como solución la instalación de nubes acústicas suspendidas del techo y la disposición de cortinas acústicas en diversos puntos del recinto.

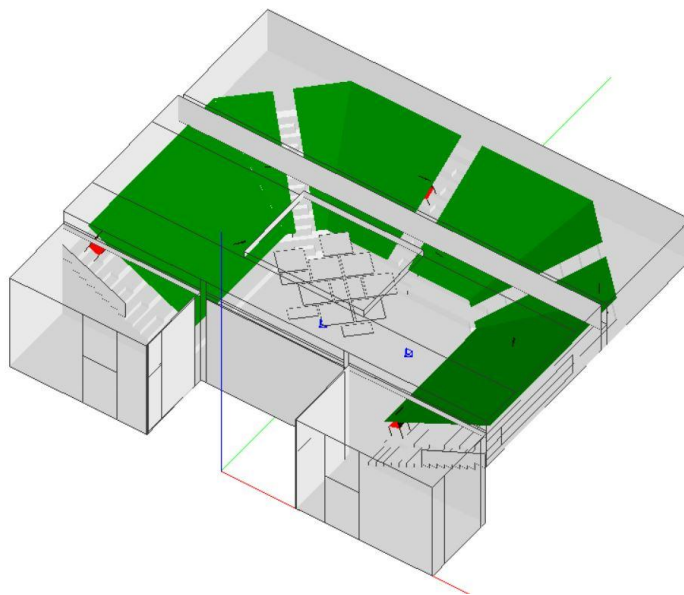


Figura 50. Vista 3D de las áreas de audiencia y las nubes acústicas.

Fuente: EASE

10.2.1. NUBES ACÚSTICAS.

Las nubes acústicas se suspenderán en la zona central del aula, la zona que actualmente ocupa el falso techo registrable (cota: +9,61 m).

Se dispondrán de forma asimétrica a una distancia de 10 cm entre cada una de las nubes. 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.

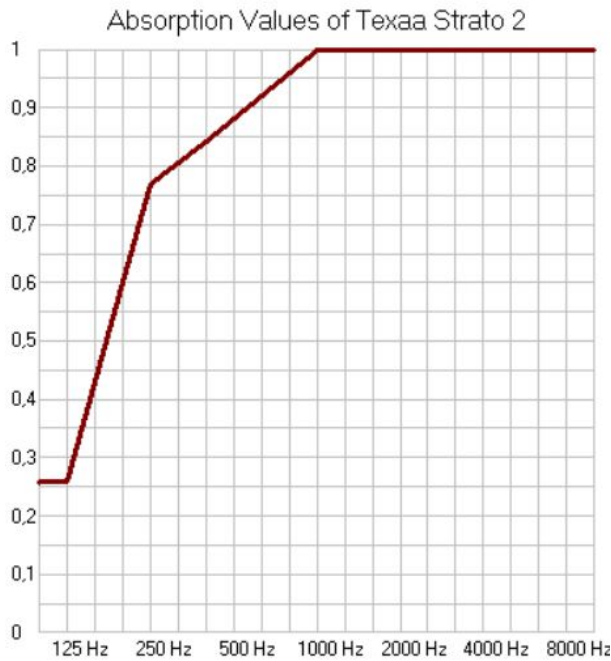
El elemento suspendido elegido para este proyecto pertenece a la casa comercial Texaa, dentro de su gama Strato 2.

Las características que hacen que este producto se ajuste a nuestras necesidades son las siguientes:

- La estructura que la sustenta está conformada por un sistema de raíles, tirantes y cerrojos en acero, con cuadro de acero galvanizado.
- El elemento absorbente se trata de una espuma AM microporosa con velo microporoso. Este absorbente acústico alveolar, ligero y de color gris; es difícilmente inflamable y no produce gotas incandescentes. La espuma acústica AM ofrece un buen comportamiento ante las variaciones climáticas y la luz. Su volumen varía ligeramente con la humedad del aire, sin ninguna influencia sobre sus otras características.
- El elemento absorbente cuenta como envoltura y como acabado exterior un textil (rejilla textil transonora Aeria), patentado por Texaa. El textil se puede elegir su color entre una gran variedad de colores, en nuestro caso un tono grisáceo (Gris béton MR500).
- En cuanto a su eficacia acústica, la absorción es importante en todos los espectros de frecuencias.
- Clasificación reacción al fuego B-s2, d0.
- Los módulos de esta casa comercial permiten la incorporación de luminarias ya que cuentan con una bandeja de chapa cortada.

El coeficiente de absorción de las nubes acústicas es el siguiente:





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

Tabla 37. Coeficiente de absorción de la nube Strato 2. Fuente: Texaa.

Figura 51. Coeficiente de absorción de la nube Strato 2. Fuente: Texaa.

Los ensayos de producto están realizados según la UNE-EN ISO 354:2004, Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.

La instalación se realizará suspendiendo cada panel desde el techo horizontalmente, usando cuatro cables verticales de acero inoxidable (1,8 mm de diámetro y 1500 mm de longitud), provistos de piezas de enroscado y ganchos ajustables.

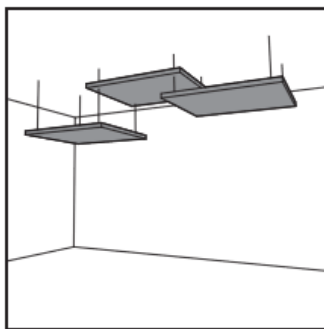


Figura 52. Elementos suspendidos por cables. Fuente: Texaa.



Figura 53. Deslizador ajustable de la nube Strato 2. Fuente: Texaa.



Figura 54. Capa de acabado de la nube Strato 2. Fuente: Texaa.



Figura 55. Vista de un conjunto de cuatro elementos suspendidos de un techo. Fuente: Texaa.



Figura 56. Acabado Gris béton MR500 de la nube. Fuente: Texaa.

En los ANEXOS se adjunta la ficha comercial del producto.

10.2.2. CORTINAS ACÚSTICAS.

Para poder 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, es decir, la parte posterior del orador.

Dadas las características acústicas que necesitamos del tejido, recurrimos a la casa comercial "Morpa". Esta cortina pertenece a la línea "Morpacur Cavallo Plus". Esta es una cortina acústica densamente tejida y saturada, pesada y de colores intensos. De la gama de colores disponibles, para una correcta integración con el recinto, escogemos el color 0059.



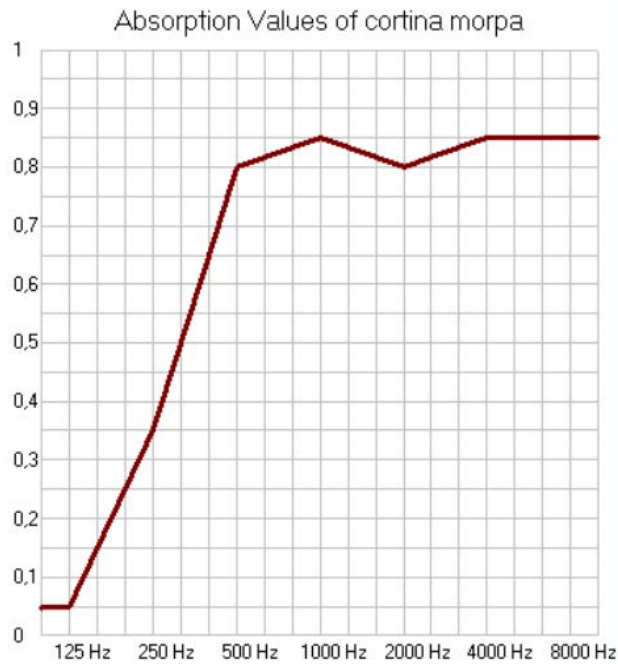
Figura 57. Gama cromática que ofrece la casa comercial para las cortinas. Fuente: Morpa.

Las principales propiedades de este tejido son las siguientes:

- Está compuesto por un 80% de lana y un 20% de poliéster.
- Peso: 350 gr/m².
- En cuanto a su reacción al fuego la ficha técnica indica que no es inflamable.
- La temperatura máxima de lavado será de 60°C, la temperatura de planchado no deberá superar los 250°C. Todos los procesos de lavado se deberán de llevar a cabo en tintorerías o establecimientos similares.

Su comportamiento en cuanto a la absorción es el siguiente:





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

Tabla 38. Coeficiente de absorción de las cortinas acústicas. Fuente: Morpa.

Figura 58. Coeficiente de absorción de las cortinas acústicas. Fuente: Morpa.

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

Cálculo del Tiempo de Reverberación por el método del CTE- DBHR							
Tipo de recinto: Aula magna EUAT vacía.					Volumen, V (m ³):		1529,84
Elemento	Acabado	S Área (m ²)	am Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m ²) am . S
			500	1000	2000	am	
Suelo							
Suelo	Linóleo	136,39	0,03	0,03	0,04	0,03	4,09
Suelo grada G1	Linóleo	20,70	0,03	0,03	0,04	0,03	0,62
Suelo grada G2	Linóleo	22,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,67
Suelo grada G3	Linóleo	24,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,73
Suelo grada G4	Linóleo	26,22	0,03	0,03	0,04	0,03	0,79
Suelo grada G5	Linóleo	27,76	0,03	0,03	0,04	0,03	0,83
Suelo grada G6	Linóleo	29,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,87
Suelo grada G7	Linóleo	32,39	0,03	0,03	0,04	0,03	0,97
Suelo grada G8	Linóleo	40,45	0,03	0,03	0,04	0,03	1,21
Techo							
Falso techo continuo	Placa de yeso laminado	272,92	0,05	0,09	0,07	0,06	16,38
Falso techo registrable	Placa de yeso laminado	24,90	0,05	0,09	0,07	0,06	1,49



Forjado bidireccional	Hormigón visto	53,99	0,03	0,04	0,04	0,04	2,16
Viga de canto	Hormigón visto	8,48	0,03	0,04	0,04	0,04	0,34
Nubes acústicas	Espuma AM	30,24	0,88	1,00	1,00	0,96	29,03
Paramentos							
Alzado A							
Pared	Enfoscado de mortero	44,12	0,06	0,08	0,04	0,06	2,65
Ventana 1	Cortinas acústicas	16,56	0,83	0,81	0,77	0,80	13,30
	Cortinas acústicas	7,92	0,83	0,81	0,77	0,80	6,36
Pilar 1	Hormigón visto	2,88	0,03	0,04	0,04	0,04	0,12
Alzado B							
Pared	Enfoscado de mortero	38,85	0,06	0,08	0,04	0,06	2,33
Ventana 2	Cortinas acústicas	16,56	0,83	0,81	0,77	0,80	13,30
	Cortinas acústicas	7,92	0,83	0,81	0,77	0,80	6,36
Ventana 3	Cortinas acústicas	7,48	0,83	0,81	0,77	0,80	6,01
	Cortinas acústicas	3,06	0,83	0,81	0,77	0,80	2,46
Pilar 2	Hormigón visto	2,88	0,03	0,04	0,04	0,04	0,12
Alzado C							
Pared	Enfoscado de mortero	49,40	0,06	0,08	0,04	0,06	2,96
Alzado D							
Pared	Enfoscado de mortero	3,81	0,06	0,08	0,04	0,06	0,23
Pared	Cortinas acústicas	65,28	0,83	0,81	0,77	0,80	52,44
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Pilar 3 y 4	Hormigón visto	8,44	0,03	0,04	0,04	0,04	0,34
Alzado E							
Pared	Cortinas acústicas	26,56	0,83	0,81	0,77	0,80	21,34
Puerta 1	Cortinas acústicas	6,38	0,83	0,81	0,77	0,80	5,13
Alzado F							
Pared	Cortinas acústicas	26,56	0,83	0,81	0,77	0,80	21,34
Puerta 2	Cortinas acústicas	6,38	0,83	0,81	0,77	0,80	5,13
Alzado G							



Pared	Enfoscado de mortero	33,51	0,06	0,08	0,04	0,06	2,01
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Puerta 3	Madera	4,65	0,08	0,08	0,08	0,08	0,37
Alzado H							
Pared	Enfoscado de mortero	33,51	0,06	0,08	0,04	0,06	2,01
Canto de forjado	Hormigón visto	2,72	0,03	0,04	0,04	0,04	0,11
Puerta 4	Madera	4,65	0,08	0,08	0,08	0,08	0,37
Vertical grada G1	Linóleo	10,32	0,03	0,03	0,04	0,03	0,31
Vertical grada G2	Linóleo	11,36	0,03	0,03	0,04	0,03	0,34
Vertical grada G3	Linóleo	12,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,37
Vertical grada G4	Linóleo	13,37	0,03	0,03	0,04	0,03	0,40
Vertical grada G5	Linóleo	14,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,43
Vertical grada G6	Linóleo	15,30	0,03	0,03	0,04	0,03	0,46
Vertical grada G7	Linóleo	16,31	0,03	0,03	0,04	0,03	0,49
Vertical grada G8	Linóleo	17,33	0,03	0,03	0,04	0,03	0,52
Escaleras	Linóleo	15,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,45
Viga de canto	Hormigón visto	65,72	0,03	0,04	0,04	0,04	2,63
Paredes falso techo registrable	Enfoscado de mortero	5,38	0,06	0,08	0,04	0,06	0,32
Objetos (1)	Tipo	N número	Área de absorción acústica equivalente media, A0, m (m²).				A0, m . N
			500	1000	2000	A0,m	
Absorción aire (2)	Coeficiente de atenuación del aire en mm. (m ⁻¹)					4 . mm . V	
	500	1000	2000	mm			
			0,003	0,005	0,01	0,006	36,72
A, (m²) Absorción acústica del recinto resultante			$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,j} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A0, m, j + 4 \cdot \text{mm} \cdot V$				270,63



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

(1) Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m³

(2) Sólo para volúmenes mayores a 250 m³

Aunque el resultado excede el TR máximo establecido por el CTE DBHR en 0,20 s, estos valores son más que adecuados para un recinto de estas características y con los valores de TR tan elevados que tiene la sala. Con valores inferiores a 1 s, el tiempo de reverberación se ajusta a lo deseado.

Para llegar a cumplir la exigencia de 0,7 s se requerirían de medidas adicionales, tales como la sustitución de los asientos, sin embargo se opta por esta solución por motivos de economía y cercanía a las prestaciones del recinto.

10.4. RESULTADOS DE LA MEJORA PROPUESTA EN EASE.

En este punto facilitaremos los parámetros acústicos obtenidos en el aula magna una vez introducidas las respectivas mejoras.

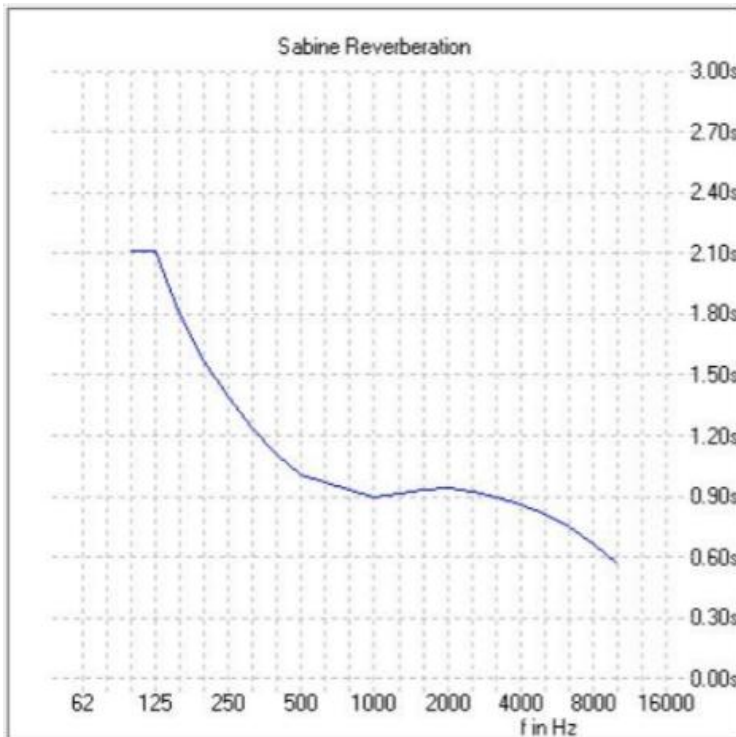
Para obtener estos datos utilizamos de nuevo el software EASE 4.4, manteniendo los puntos de las fuentes sonoras, los puntos de audiencia y áreas. La colocación de los elementos sigue como indicamos anteriormente la UNE-EN ISO 3382-2: 2008.

En este apartado aportaremos los datos de la mejora que experimenta el tiempo de reverberación y los histogramas y la distribución en frecuencias del nivel de presión sonora directo, nivel de presión sonora total y la relación entre el campo directo y el reverberante.

Las gráficas de las fuentes con cada punto de audiencia se aportarán en el ANEXO.



10.4.1. TIEMPO DE REVERBERACIÓN, RT.



Frecuencia	Absorción
125 Hz	2,11 s
250 Hz	1,39 s
500 Hz	1,01 s
1000 Hz	0,90 s
2000 Hz	0,95 s
4000 Hz	0,86 s
8000 Hz	0,67 s

Tabla 39. Representación el tiempo de reverberación de la mejora en las distintas bandas de frecuencia. Fuente: EASE.

Figura 59. Representación del tiempo de reverberación de la mejora en las distintas bandas de frecuencia del aula magna. Fuente: EASE.

Después de la propuesta de mejora realizada observamos que:

El tiempo de reverberación disminuye significativamente en todas las bandas de frecuencia, acercándose así a los valores exigidos por el CTE DBHR.

El valor del tiempo de reverberación máximo permitido por la normativa para salas con estas características es de 0,7 s. Observamos que en frecuencias medias (500 Hz - 1 kHz), los valores se mueven entre 1,00 s y 0,90 s. Con valores de TR inferiores a 1,00 s en frecuencias medias, podemos afirmar que, en relación con este parámetro, la sala presenta unos valores muy adecuados.

En bajas frecuencias, como ocurría antes de la propuesta de mejora, los valores de TR son más elevados que en bajas frecuencias. Aun así la mejora del TR en estas bandas de frecuencia experimentadas son muy importantes pasamos en 125 Hz de 3,52 s a 2,11 s. en general los materiales de construcción se comportan mejor acústicamente en altas frecuencias que en bajas.



El TR entre 1000Hz y 2000Hz experimenta una subida de 0,90 s a 0,95 s, por lo que podemos afirmar que con respecto a antes de la mejora la subida experimentada en esta banda de frecuencia se suaviza drásticamente.

En las frecuencias más altas el TR desciende en relación con el mejor comportamiento que presentan los materiales en estas bandas.

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, (este parámetro es el que tiene en cuenta el CTE DBHR para el acondicionamiento acústico).



10.4.2. NIVEL DE PRESIÓN SONORA DIRECTO.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 en la propuesta de mejora es el siguiente:

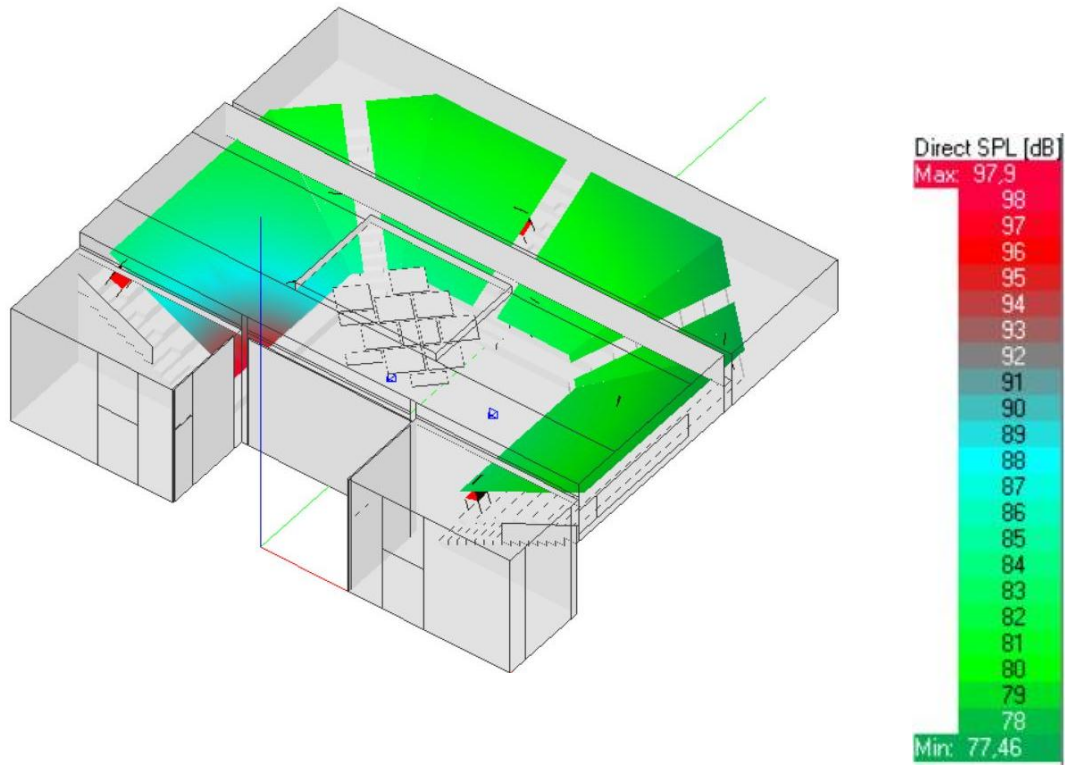


Figura 60. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

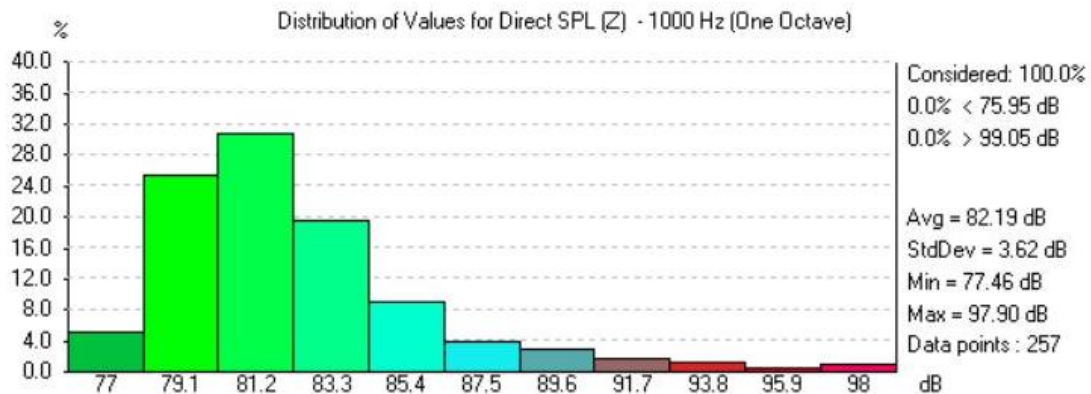


Figura 61. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1. Fuente: EASE

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 en la propuesta de mejora es el siguiente:

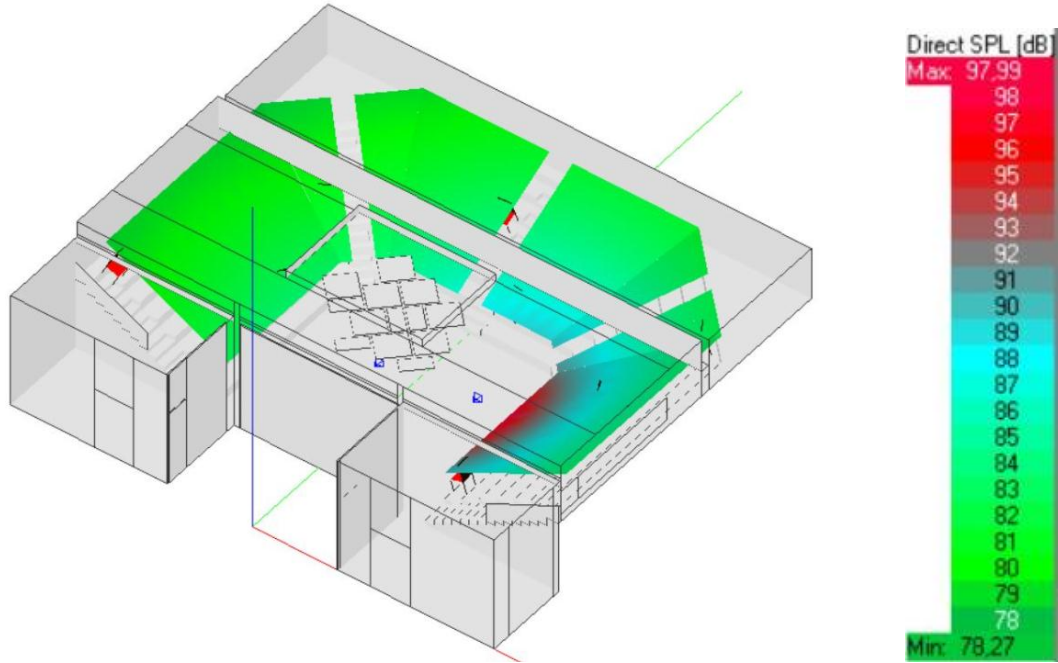


Figura 62. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

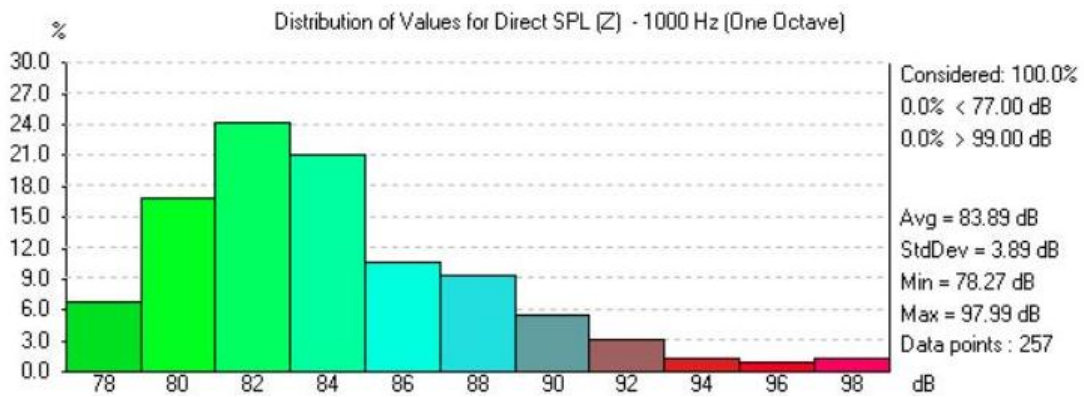


Figura 63. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 en la propuesta de mejora es el siguiente:

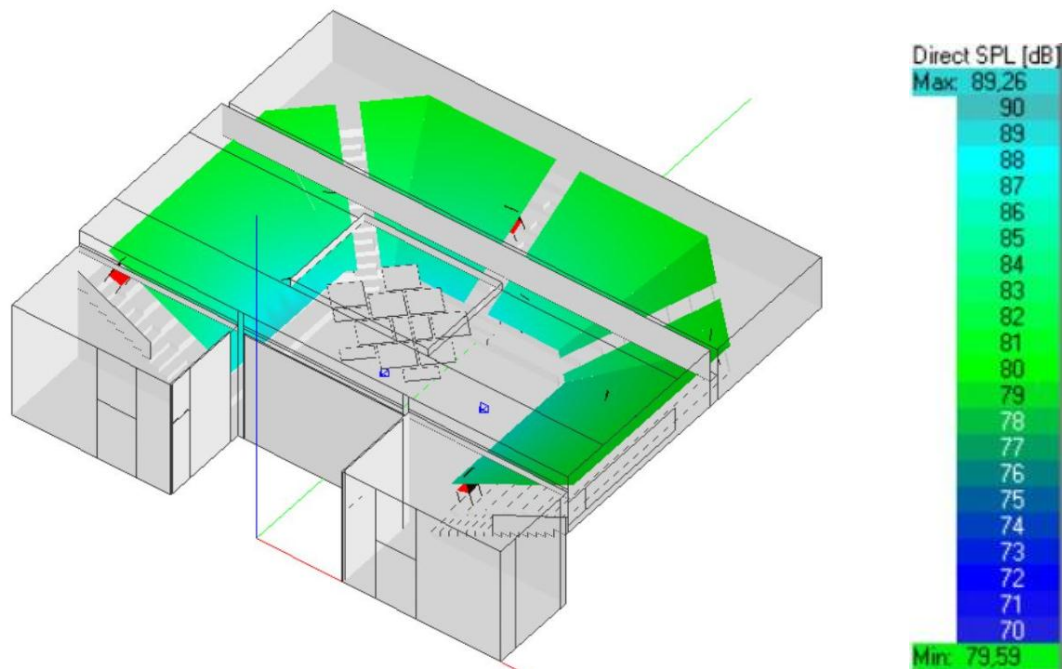


Figura 64. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

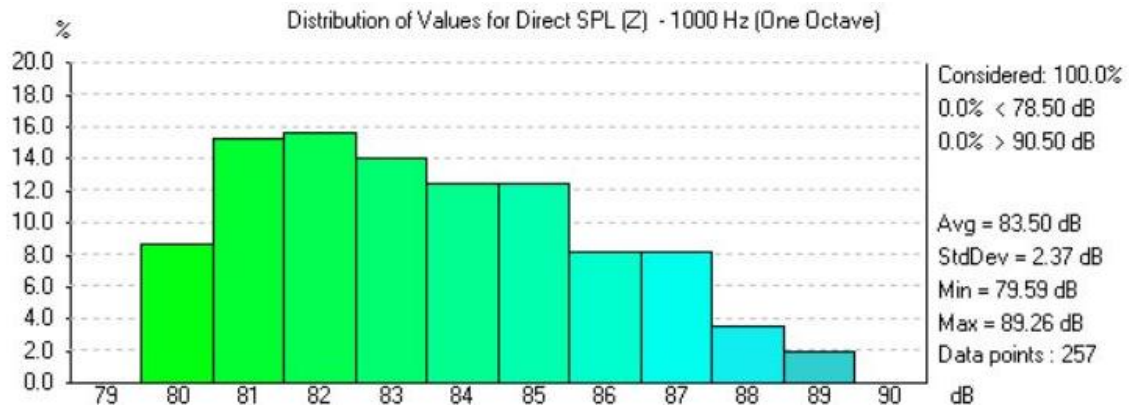


Figura 65. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Como indicamos con anterioridad, el nivel de presión sonora directo indica el nivel de sonido que llega al área de audiencia sin ningún tipo de reflexión. Al usar las mismas fuentes sonoras y no variar ninguno de los parámetros que podrían afectar, los resultados obtenidos son los mismos.

Recordamos que tiene una buena cobertura de campo directo, debido a la potencia de la fuente.

10.4.3. NIVEL DE PRESIÓN SONORA TOTAL.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 en la propuesta de mejora es el siguiente:

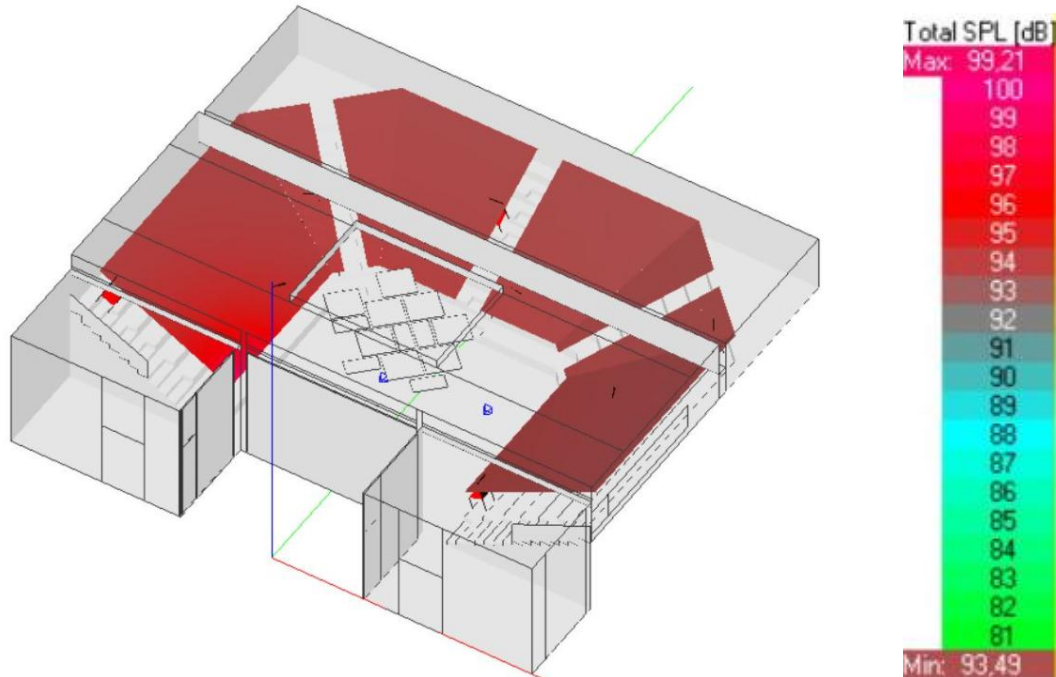


Figura 66. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

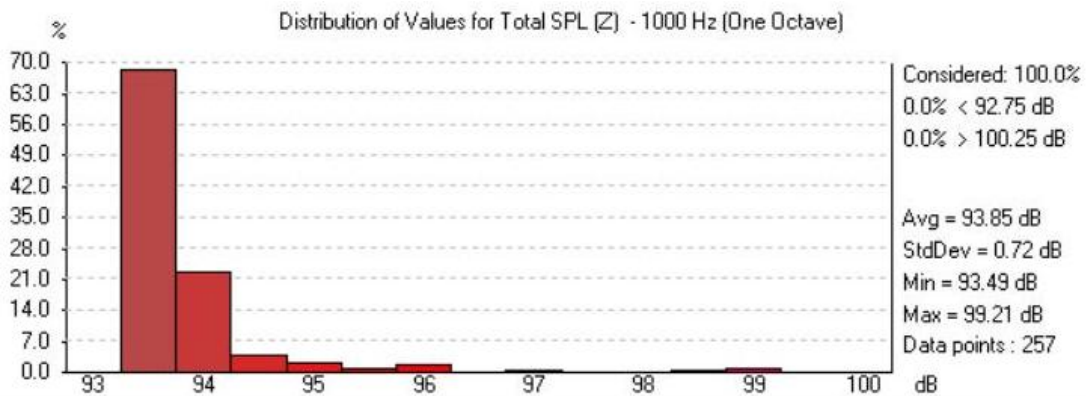


Figura 67. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 en la propuesta de mejora es el siguiente:

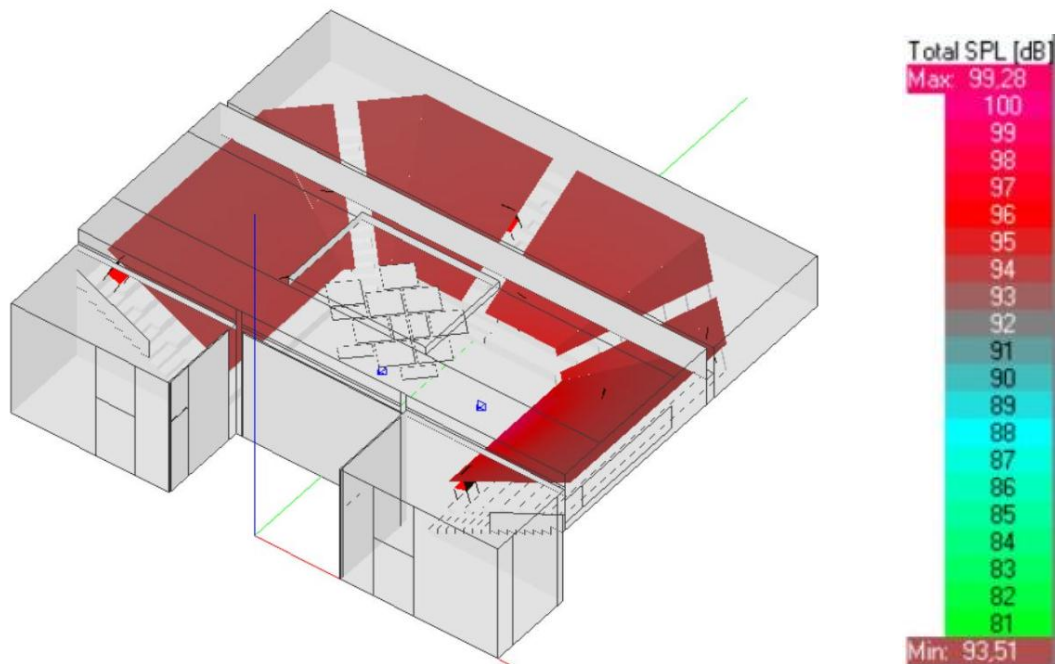


Figura 68. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

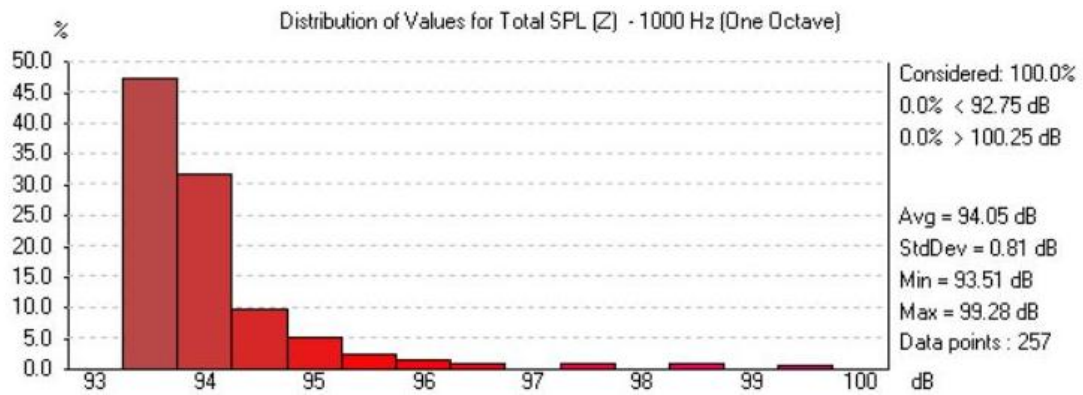


Figura 69. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 en la propuesta de mejora es el siguiente:

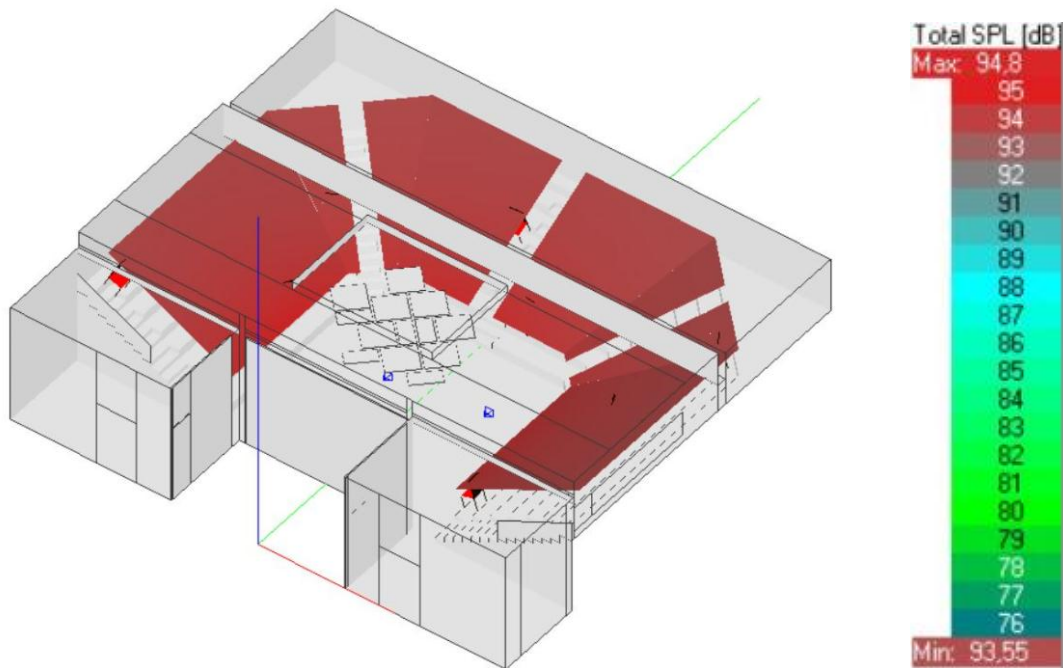


Figura 70. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

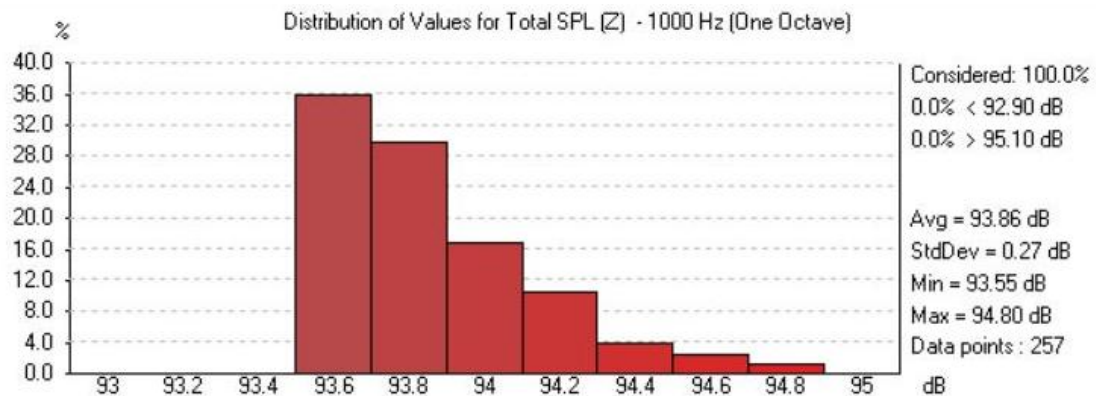


Figura 71. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

Los valores obtenidos del nivel de presión sonora total representan la suma del nivel de presión sonora directo y el nivel de presión sonora reverberante.

Después de la mejora realizada observamos que el principal cambio que experimenta la sala es que el intervalo entre el valor máximo y el mínimo se ve reducido.

Si analizamos la distribución de los valores del nivel de presión sonora total observamos que los valores se concentran en un intervalo pequeño.

10.4.4. RELACIÓN ENTRE CAMPO DIRECTO Y REVERBERANTE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S1 en la propuesta de mejora es el siguiente:

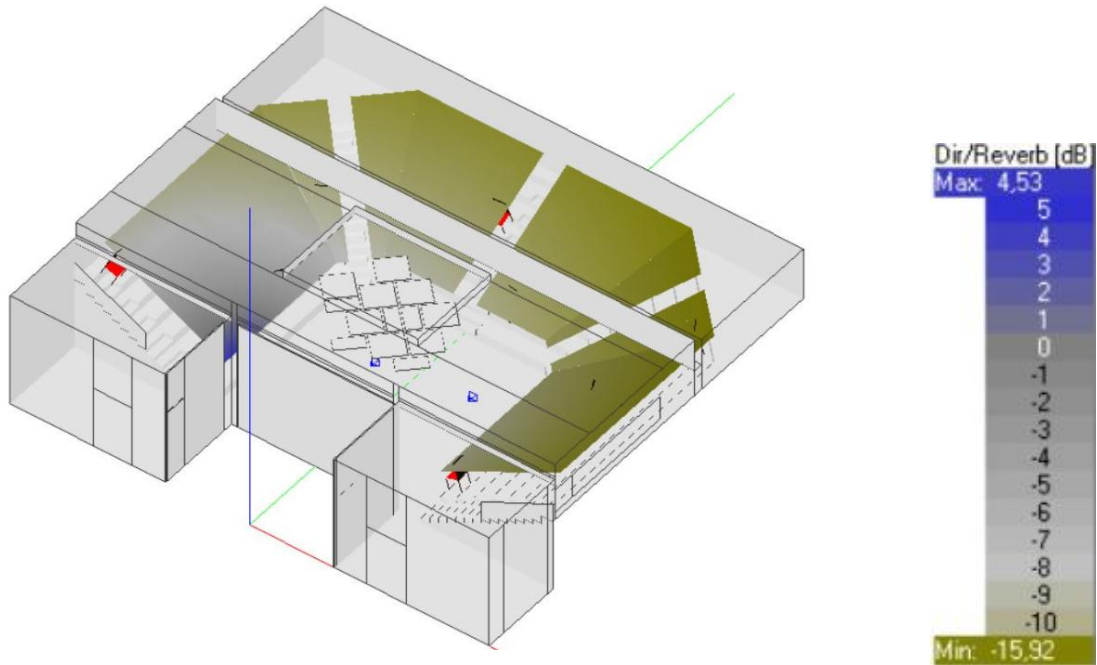


Figura 72. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

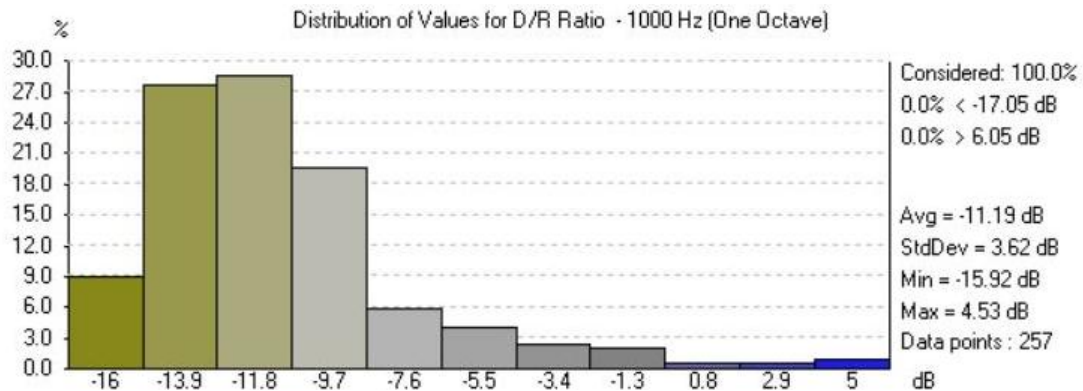


Figura 73. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S2 es el siguiente:

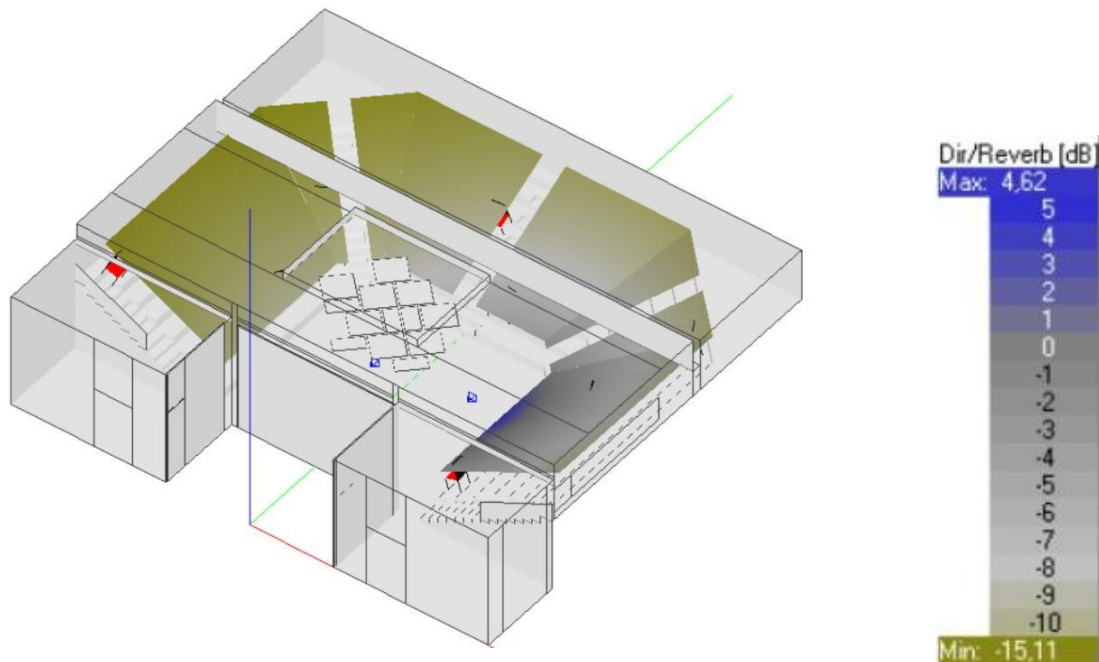


Figura 74. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

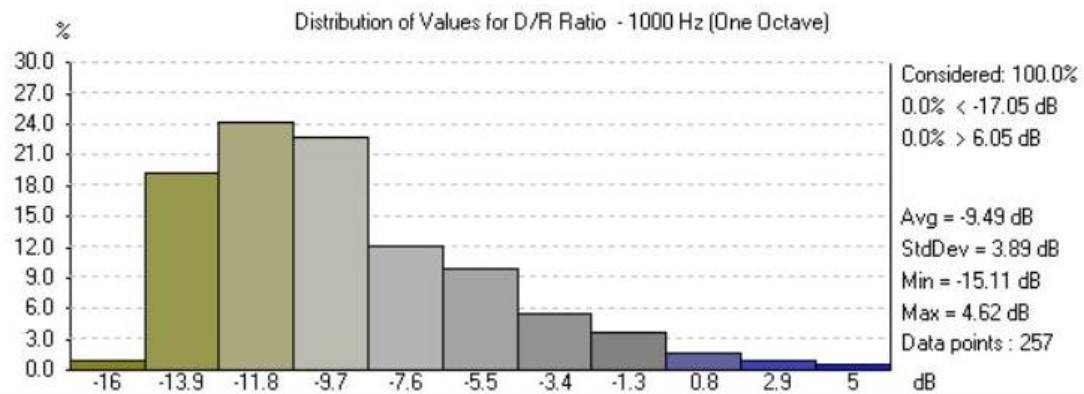


Figura 75. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

El histograma obtenido con respecto a la fuente sonora S3 es el siguiente:

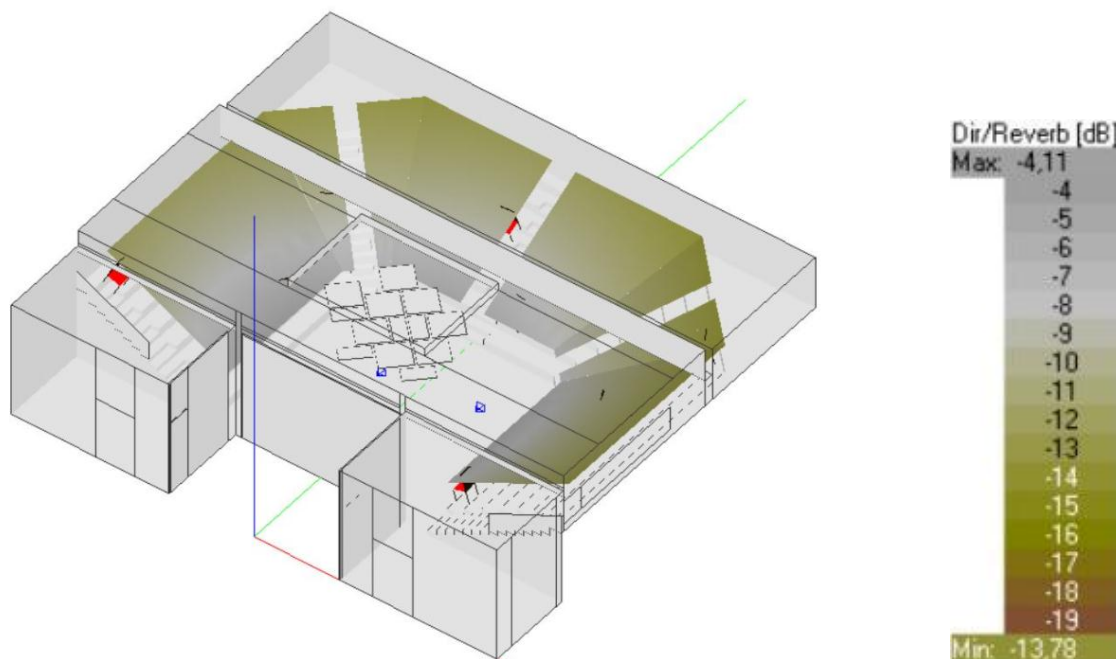


Figura 76. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

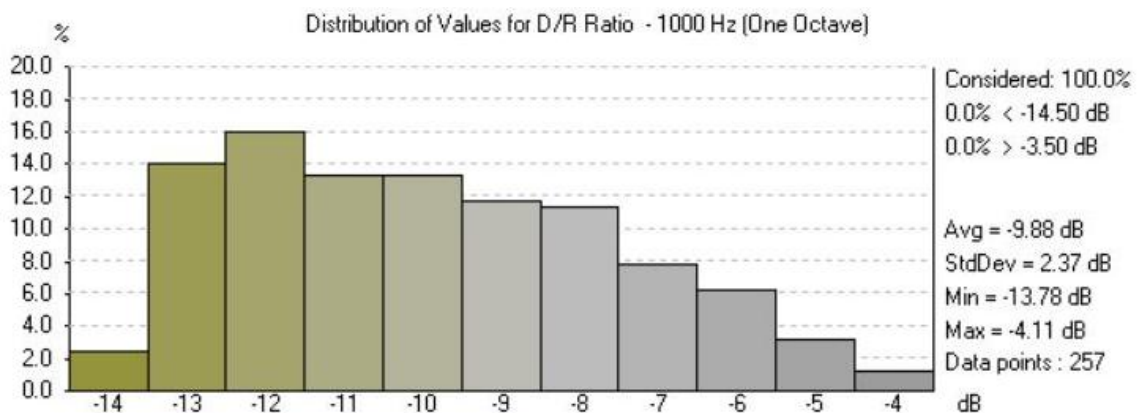


Figura 77. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

El campo reverberante del aula magna, previa a la mejora, contaba con un campo reverberante mucho mayor que el directo. Con esta propuesta conseguimos reducir el campo reverberante.

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

Los valores de la relación directo/reverberante no llegan a ser los deseables para una sala de estas características, a pesar de esto, la mejoría que experimenta la sala es muy importante.

10.5. CUADRO COMPARATIVO DEL ESTADO ACTUAL CON LA PROPUESTA DE MEJORA.

Con el siguiente cuadro compararemos los datos obtenidos antes y después de la mejora:

Parámetros			Antes de la mejora	Después de la mejora
Tiempo de reverberación (1000 Hz)			2,76 s	0,90 s
SPL Directo	S1- áreas de audiencia	Máximo	97,90 dB	97,90 dB
		Mínimo	77,46 dB	77,46 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	97,99 dB	97,99 dB
		Mínimo	78,27 dB	78,27 dB
	S3- áreas de audiencia	Máximo	89,26 dB	89,26 dB
		Mínimo	79,59 dB	79,59 dB
SPL Total	S1 áreas de audiencia	Máximo	101,42 dB	99,21 dB
		Mínimo	98,89 dB	93,49 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	101,46 dB	99,28 dB
		Mínimo	98,89 dB	93,51 dB
	S3- áreas de audiencia	Máximo	99,31 dB	94,80 dB
		Mínimo	98,91 dB	93,55 dB
Ratio D/R	S1- áreas de audiencia	Máximo	-0,96 dB	4,53 dB
		Mínimo	-21,40 dB	-15,92 dB
	S2- áreas de audiencia	Máximo	-0,86 dB	4,62 dB
		Mínimo	-20,59 dB	-15,11 dB
	S3- áreas de audiencia	Máximo	-9,59 dB	-4,11 dB
		Mínimo	-19,26 dB	-13,78 dB

Tabla 40. Comparación de datos significativos entre la situación actual y la propuesta de mejora. Fuente propia.



11.MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA.





11.1. MEDICIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA.

Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	TOTALES
1.1	<p>CAPÍTULO 01. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	4				4	
1.2	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm perforado para instalación de luminarias \varnothing 232 mm.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm perforado para instalación de luminarias \varnothing 232 mm, con cuadro acero electrogalvanizado ,absorbente</p>						4



Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	TOTALES
1.3	<p>espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa.</p> <p>Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	4				4	4
	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm.</p>						
	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	5				5	5
1.4	<p>m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus".</p>						
	<p>m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus", compuesta por un tejido denso, pesado y no inflamable, color 0059; sustentada por carriles de</p>						



Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	TOTALES
	acero. Incluso p/p elementos de fijación y medios auxiliares. Todos los productos contarán con el marcado CE.						
	Ventana	1	5,07		1,04	5,27	
	Cuarto técnico	1	6,80		4,80	32,64	
	Laterales cuarto técnico	2	2,55		4,80	24,48	
	Ventanas laterales	2	3,40		4,80	32,64	
							95,03



11.2. PRECIOS DESCOMPUESTOS.

u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.
 u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Sistema nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.	1 u/uuo	317,00 €/u	317,00 €/uuo
4% Perdidas	0,04 s/	317,00 €/uuo	329,68 €/uuo
TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN			646,68 €/uuo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Colocación de sistema de nube acústica (10F1ª + 1PO)	1,0000 h/uuo	33,47 €/h	33,47 €/uuo
TOTAL MANO DE OBRA			33,47 €/uuo

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TOTAL MEDIOS AUXILIARES			0,00 €/uuo

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y MEDIOS AUXILIARES:	680,15 €/uuo
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC):	20,40 €/uuo
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD):	700,55 €/uuo
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI):	59,55 €/uuo

TOTAL PRECIO UNITARIO:	760,10 €/uuo
-------------------------------	---------------------



u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm perforado para instalación de luminarias \varnothing 232 mm.

u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Sistema nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.	1 u/uuo	377,00 €/u	377,00 €/uuo
4% Perdidas	0,04 s/	377,00 €/uuo	392,08 €/uuo
TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN			769,08 €/uuo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Colocación de sistema de nube acústica (1OF1ª + 1PO)	1,0000 h/uuo	33,47 €/h	33,47 €/uuo
TOTAL MANO DE OBRA			33,47 €/uuo

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TOTAL MEDIOS AUXILIARES			0,00 €/uuo

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y MEDIOS AUXILIARES:	802,55 €/uuo
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC):	24,08 €/uuo
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD):	826,63 €/uuo
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI):	70,26 €/uuo

TOTAL PRECIO UNITARIO:	896,89 €/uuo
------------------------	--------------



u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm.
 u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox \varnothing 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Sistema nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.	1 u/uuo	220,00 €/u	220,00 €/uuo
4% Perdidas	0,04 s/	220,00 €/uuo	228,80 €/uuo
TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN			448,80 €/uuo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Colocación de sistema de nube acústica (1OF1ª + 1PO)	1,0000 h/uuo	33,47 €/h	33,47 €/uuo
TOTAL MANO DE OBRA			33,47 €/uuo

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TOTAL MEDIOS AUXILIARES			0,00 €/uuo

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y MEDIOS AUXILIARES:	482,27 €/uuo
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC):	14,47 €/uuo
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD):	496,74 €/uuo
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI):	42,22 €/uuo

TOTAL PRECIO UNITARIO:	538,96 €/uuo
------------------------	--------------



m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus".
 m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus", compuesta por un tejido denso, pesado y no inflamable, color 0059; sustentada por carriles de acero. Incluso p/p elementos de fijación y medios auxiliares. Todos los productos contarán con el marcado CE.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus"	1,0000 m ² /m ^{2uo}	47,00 €/m ^{2uo}	47,00 €/m ^{2uo}
Riel cortina	0,0830 m/m ^{2uo}	2,30 €/m ^{uo}	0,19 €/m ^{2uo}
Ganchos	4,3750 uuo/m ^{2uo}	0,05 €/uuo	0,22 €/m ^{2uo}
4% Perdidas	0,04 s/	47,19 €/m ^{2uo}	1,89 €/m ^{2uo}
TOTAL PRODUCTOS DE LA CONTRUCCIÓN			49,30 €/m ^{2uo}

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Colocación de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus"(1OF1 ^a +1PO)	0,0400 h/m ^{2uo}	33,47 €/h	1,34 €/m ^{2uo}

TOTAL MANO DE OBRA	1,34 €/m ^{2uo}
--------------------	-------------------------

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TOTAL MEDIOS AUXILIARES			0,00 €/m ^{2uo}

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y MEDIOS AUXILIARES:	50,64 €/m ^{2uo}
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC):	1,52 €/m ^{2uo}
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD):	52,16 €/m ^{2uo}
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI):	4,43 €/m ^{2uo}

TOTAL PRECIO UNITARIO:	56,59 €/m ^{2uo}
------------------------	--------------------------



11.3. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA.

Nº de orden	Nº de unidad	DESCRIPCIÓN	PRECIO €	IMPORTE €
CAPÍTULO 01. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.				
1.1	4	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox ø 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	760,10	3040,41
1.2	4	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm perforado para instalación de luminarias ø 232 mm.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 1199x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox ø 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	896,89	3587,56
1.3	5	<p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm.</p> <p>u Suministro y colocación de sistema de nube acústica STRATO 2 de dimensiones 599x1199x55 mm con cuadro acero electrogalvanizado, absorbente espuma AM microporosa y velo microporoso con envoltura de rejilla textil transonora Aeria, patentado por Texaa. Suspendida de 4 cables inox ø 2 mm longitud 1500 mm (opcionalmente 3000 mm), fijado a techo con terminal perfilado acabado con rosca M6 y en la parte inferior gancho ajustable de acero. Resistencia = 15 kg / sujeción. Acabado Gris betón MR500. Incluso p/p taladros, cables, elementos de fijación y medios auxiliares. Según CTE DBHR. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	538,96	2694,80
1.4	95,03	<p>m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus".</p> <p>m² Suministro y colocación de sistema de cortina acústica "Morpacur Cavallo Plus", compuesta por un tejido denso, pesado y no inflamable, color 0059; sustentada por carriles de acero. Incluso p/p elementos de fijación y medios auxiliares. Todos los productos contarán con el marcado CE.</p>	56,59	5377,75
TOTAL PEM:				14700,52



	GGE	18%	2646,09
	BI	7%	1029,04
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA:			18375,65
	IVA	21%	3858,89
PRESUPUESTO TOTAL			22234,75

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de VEINTIDÓS MIL DOSCIENTOS TREINTA Y CUATRO CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS.





12.CONCLUSIONES.





Una vez finalizado el proyecto podemos afirmar que los objetivos planteados al inicio de éste, han sido superados.

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. Además, presenciemos la realización de mediciones in situ siguiendo la norma UNE-EN ISO 3382.

Para llegar a los objetivos deseados en este proyecto se comenzó por un trabajo de campo previo, realizando las pertinentes medidas del recinto de forma precisa.

Gracias a este trabajo realizado con anterioridad, pudimos modelar en 3D el recinto en EASE para realizar la simulación acústica obteniendo los parámetros acústicos pertinentes para el análisis de la sala.

Paralelamente a este trabajo, se efectuará un estudio teórico en torno a la acústica de salas, que servirá de sustento para el posterior análisis acústico del aula magna. En esta parte teórica estudiamos los parámetros más importantes en el comportamiento acústico de una sala, para después poder aplicarlos en nuestro caso concreto.

Con la modelización del recinto en EASE, conseguiríamos la obtención de resultados tan significativos como son el Tiempo de Reverberación o el nivel de presión sonora directo y total. Estos valores obtenidos basándonos en los conocimientos teóricos adquiridos previamente, fueron comprobados analíticamente. El resultado obtenido analíticamente corroboró los datos obtenidos con la herramienta tecnológica EASE.

Lo laborioso que supone introducir todas las características simplificadas de la sala, es lo que permite obtener los datos que posteriormente analizaremos para proponer una mejora notable en ella.

Con los datos proporcionados por EASE, en lo referido a la calidad acústica del aula magna, observamos que no cumple con los objetivos indicados en la normativa y en los escritos sobre el tema.



Para ratificar los valores del modelo en EASE, tuvimos la oportunidad de asistir a las mediciones efectuadas “in situ” en el aula magna, gracias a la colaboración de alumnos del Máster Universitario en Ingeniería Acústica de Edificación y Medio Ambiente de la UPM. Gracias a esto conocimos la metodología a seguir para obtener los parámetros acústicos de una sala siguiendo la norma UNE-EN ISO 3382.

Todo este proceso de obtención de datos y posterior análisis, nos permitió obtener una propuesta de solución acorde con los problemas acústicos y arquitectónicos que el recinto presentaba.

Con la 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 en ella como analizamos en el apartado 10.1. Además aportamos el presupuesto de la mejora.

Con la metodología seguida para realizar este proyecto, mis conocimientos adquiridos en el campo de la acústica de recintos, han sido ampliados notoriamente.

Este proyecto ha permitido adentrarme en un campo mucho más amplio al establecido por CTE DB HR, además de percatarme las limitaciones que éste presenta.

El desarrollo de este proyecto me permitió el uso de herramientas tecnológicas de ingeniería acústica y entrar en contacto con gente vinculada con este campo.

El trabajo realizado también me permitió acercarme a nuevos materiales adecuados para el acondicionamiento acústico de salas.

Después de realizar todo este proceso de aprendizaje, considero que hay un importante campo para los graduados en Arquitectura Técnica y con unas potencialidades poco aprovechadas. La profesión al tener un carácter generalista, puede explorar diversos caminos como sería el de la acústica aplicada en los procesos arquitectónicos.



13. BIBLIOGRAFÍA.





ARAU HIGINI, 1999. *ABC de la acústica arquitectónica*. S.I.: Ediciones CEAC. ISBN 84-329-2017-7.

CARRIÓN ANTONI, 1998. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL. ISBN 84-8301-252-9.

COBO PARRA, PEDRO, 2015. *Absorción del sonido*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. ISBN 9788400099527.

COLINA TEJADA, C. DE LA., 1997. *Acústica de la edificación*. Madrid: Fundación Escuela de Edificación. ISBN 84-86957-71-0.

DAUMMALI I DOMENECH, FRANCESC, 2000. *Arquitectura acustica.2, Disseny*. Barcelona: UPC. ISBN 84-8301-414-9.

MÖSER, MICHAEL, 2009. *Ingeniería acústica: teoría y aplicaciones.2ª ed.* Berlín: Springer. ISBN 978-3-642-02543-3.

NEILA GONZÁLEZ, JAVIER, 1999. *Condiciones de diseño acústico*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Escuela de Arquitectura. ISBN 84-89977-64-X.

ORTIZ, LUÍS I, 1992. *Refuerzo sonoro. Bases para el diseño*. S.I.: Departamento de ingeniería audiovisual y comunicaciones. (UPM).

RECUERO LÓPEZ, MANUEL, 1991. *Acústica arquitectónica*. Madrid: [s.n.]. ISBN 84-604-0285-1.

RECUERO LÓPEZ, MANUEL, 1992. *Ingeniería acústica*. Madrid: Paraninfo. ISBN 84-283-2639-8.

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ FRANCISCO JAVIER, D.L.P.C.J. y DÍAZ SANCHIDRIÁN CÉSAR, 2000. *Guía acústica de la construcción*. S.I.: s.n. ISBN 978-84-96437-81-4.

VALERO GRANADOS SANTIAGO, 2011. *Acústica aplicada al interiorismo*. S.I.: Arquifon, diseños contra el ruido, s.l. ISBN 978-84-614-7626-8.

FUENTES NORMATIVAS.



MINISTERIO DE VIVIENDA, MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN,
Septiembre 2009. *Documento Básico HR. Protección frente al ruido. CTE.*
Madrid.

MINISTERIO DE VIVIENDA, MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN,
Marzo 2016. *Catálogo de Elementos Constructivos. CTE.* Madrid.

AENOR, 2008. UNE-EN-ISO 3382-2: 2008. *Medición de Parámetros Acústicos
en recintos, parte 2: Tiempo de Reverberación en recintos ordinarios.* Madrid:
Aenor.

PÁGINAS WEB.

AENOR, 2009. UNE-EN-ISO 3382-1: 2009. *Medición de parámetros acústicos
en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos.* Madrid: Aenor.

AUDIA, [sitio web] 2014. A Estrada: Empresa AUDIA [consulta: 2 junio 2016].
Disponible en www.audia.es/

MORPA, S.L. [sitio web], 2012. Vizcaya: Empresa Morpa [consulta: 24 mayo
2016]. Disponible en www.morpa.es/



ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Propagación de una onda.....	9
Figura 2. Representación de la amplitud, período y frecuencia.....	11
Figura 3. Representación de la amplitud, longitud de onda y altura de onda..	12
Figura 4. Encuentro de una onda con un elemento.....	14
Figura 5. Concepto de reflexión.....	22
Figura 6. Concepto de refracción.....	22
Figura 7. Ecograma asociado a un receptor con indicación del sonido directo, las primeras reflexiones y la cola reverberante.....	24
Figura 8. Llegada del sonido directo y de las primeras reflexiones al receptor.....	25
Figura 9. Relación entre el grado de inteligibilidad y el valor del índice de articulación (AI).....	41
Figura 10. Vista aérea de la escuela universitaria de arquitectura técnica..	45
Figura 11. Vista de la escuela universitaria de arquitectura técnica..	46
Figura 12. Vista fachada de la escuela universitaria de arquitectura técnica.....	46
Figura 13. Vista del suelo de la escuela universitaria de arquitectura técnica..	47
Figura 14. Vista de los distintos tipos de techo de la escuela universitaria de arquitectura técnica.	49
Figura 15. Vista de los paramentos en donde se encuentra una ventana y una puerta del aula magna de la escuela universitaria de arquitectura técnica.....	50
Figura 16. Vista de los asientos en las gradas del aula magna de la escuela universitaria de arquitectura técnica.....	50
Figura 17. Coeficiente de absorción del linóleo.....	52
Figura 18. Coeficiente de absorción del hormigón visto..	53
Figura 19. Coeficiente de absorción del mortero.....	53
Figura 20. Coeficiente de absorción de la madera.....	54
Figura 21. Coeficiente de absorción del vidrio.....	54
Figura 22. Coeficiente de absorción del yeso.....	55
Figura 23. Definición geométrica del recinto.	67
Figura 24. Vista 3D de las áreas de audiencia.....	68
Figura 25. Vista lateral con algunos de los puntos de audiencia colocados en el aula magna.	69
Figura 26. Posición de las fuentes.	69
Figura 27. Representación del tiempo de reverberación en las distintas bandas de frecuencia del aula magna.....	71
Figura 28. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S1.....	75
Figura 29. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S1.....	75
Figura 30. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S2.....	76



Figura 31. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S2..	76
Figura 32. Nivel de presión sonora directo del aula magna con respecto a la fuente sonora S3..	77
Figura 33. Representación del nivel de presión sonora directa para 1000Hz con respecto a la fuente sonora S3..	77
Figura 34. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S1..	80
Figura 35. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1.	80
Figura 36. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S2..	81
Figura 37. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2..	81
Figura 38. Nivel de presión sonora total del aula magna con respecto a la fuente sonora S3..	82
Figura 39. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3..	82
Figura 40. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S1..	85
Figura 41. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S1..	85
Figura 42. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S2..	86
Figura 43. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S2..	86
Figura 44. Relación entre directo y reverberante del aula magna con respecto a la fuente sonora S3..	87
Figura 45. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S3..	87
Figura 46. Fuente omnidireccional..	99
Figura 47. Micrófono..	100
Figura 48. Esquema del montaje para realizar las medidas con Dirac..	101
Figura 49. Vista 3D de la propuesta de mejora.	106
Figura 50. Vista 3D de las áreas de audiencia y las nubes acústicas..	106
Figura 51. Coeficiente de absorción de la nube Strato 2..	108
Figura 52. Elementos suspendidos por cables..	108
Figura 53. Deslizador ajustable de la nube Strato 2..	108
Figura 54. Capa de acabado de la nube Strato 2..	108
Figura 55. Vista de un conjunto de cuatro elementos suspendidos de un techo.	109
Figura 56. Acabado Gris béton MR500 de la nube.	109
Figura 57. Gama cromática que ofrece la casa comercial para las cortinas..	110
Figura 58. Coeficiente de absorción de las cortinas acústicas..	111



Figura 59. Representación del tiempo de reverberación de la mejora en las distintas bandas de frecuencia del aula magna.	115
Figura 60. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S1.....	117
Figura 61. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1..	117
Figura 62. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S2.....	118
Figura 63. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2..	118
Figura 64. Nivel de presión sonora directo del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S3.....	119
Figura 65. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3..	119
Figura 66. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S1.....	120
Figura 67. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S1..	120
Figura 68. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S2.....	121
Figura 69. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S2..	121
Figura 70. Nivel de presión sonora total del aula magna con la propuesta de mejora con respecto a la fuente sonora S3.....	122
Figura 71. Representación del nivel de presión sonora total para 1000Hz, con la fuente sonora S3..	122
Figura 72. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S1.	123
Figura 73. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S1..	123
Figura 74. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S2.....	124
Figura 75. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S2..	124
Figura 76. Relación entre directo y reverberante con la propuesta de mejora del aula magna, con respecto a la fuente sonora S3.....	125
Figura 77. Representación de la relación directo/reverberante para 1000Hz, con la fuente sonora S3..	125

ANEXOS.

Figura 78. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	183
Figura 79. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1.	183
Figura 80. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1..	183



Figura 81. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1..	184
Figura 82. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1..	184
Figura 83. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1..	184
Figura 84. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1..	185
Figura 85. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1..	185
Figura 86. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2..	185
Figura 87. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2..	186
Figura 88. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2..	186
Figura 89. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2..	186
Figura 90. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2..	187
Figura 91. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2..	187
Figura 92. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2..	187
Figura 93. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2..	188
Figura 94. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3..	188
Figura 95. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3..	188
Figura 96. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3..	189
Figura 97. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3..	189
Figura 98. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3..	189
Figura 99. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3..	190
Figura 100. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3..	190
Figura 101. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3..	190
Figura 102. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1..	191
Figura 103. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1..	191



Figura 104. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1.....	191
Figura 105. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1.....	192
Figura 106. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1.....	192
Figura 107. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1.....	192
Figura 108. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1.....	193
Figura 109. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1.....	193
Figura 110. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2.....	193
Figura 111. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2.....	194
Figura 112. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2.....	194
Figura 113. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2.....	194
Figura 114. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2.....	195
Figura 115. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2.....	195
Figura 116. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora.....	195
Figura 117. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	196
Figura 118. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3.....	196
Figura 119. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3.....	196
Figura 120. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3.....	197
Figura 121. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3.....	197
Figura 122. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3.....	197
Figura 123. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3.....	198
Figura 124. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3.....	198
Figura 125. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3.....	198
Figura 126. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	199



Figura 127. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1.....	199
Figura 128. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1.....	199
Figura 129. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1.....	200
Figura 130. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1.....	200
Figura 131. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1.....	200
Figura 132. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1.....	201
Figura 133. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1.....	201
Figura 134. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2.....	201
Figura 135. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2.....	202
Figura 136. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2.....	202
Figura 137. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2.....	202
Figura 138. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2.....	203
Figura 139. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2.....	203
Figura 140. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2.....	203
Figura 141. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2.....	204
Figura 142. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3.....	204
Figura 143. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3.....	204
Figura 144. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3.....	205
Figura 145. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3.....	205
Figura 146. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3.....	205
Figura 147. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3.....	206
Figura 148. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3.....	206
Figura 149. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3.....	206



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Valores de pérdidas de articulación de consonantes.....	36
Tabla 2. Frecuencias portadoras y moduladoras del RASTI..	36
Tabla 3. Correspondencia entre inteligibilidad STI y RASTI.....	37
Tabla 4. Coeficiente de absorción del linóleo.....	52
Tabla 5. Coeficiente de absorción del hormigón visto.....	53
Tabla 6. Coeficiente de absorción del mortero.....	53
Tabla 7. Coeficiente de absorción de la madera.....	54
Tabla 8. Coeficiente de absorción del vidrio.....	54
Tabla 9. Coeficiente de absorción del yeso.....	55
Tabla 10. Coeficientes de absorción acústica de los materiales del aula magna.....	67
Tabla 11. Coordenadas y posición de los oyentes.....	68
Tabla 12. Coordenadas y posición de las fuentes.....	69
Tabla 13. Potencia sonora y nivel de presión sonora a 1m de las propias fuentes.....	70
Tabla 14. Representación del tiempo de reverberación en las distintas bandas de frecuencia.....	71
Tabla 15. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1.....	72
Tabla 16. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1.....	73
Tabla 17. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2.....	73
Tabla 18. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2.....	73
Tabla 19. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3.....	74
Tabla 20. Valores del nivel de presión sonora directo en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3.....	74
Tabla 21. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1.....	78
Tabla 22. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1.....	78
Tabla 23. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2.....	78
Tabla 24. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2.....	79
Tabla 25. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S3.....	79
Tabla 26. Valores del nivel de presión sonora total en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3.....	79
Tabla 27. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S1.....	83
Tabla 28. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S1.....	83



Tabla 29. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S2.....	83
Tabla 30. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S2.....	84
Tabla 31. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M1, M2, M3 y M4 con respecto a la fuente sonora S3.....	84
Tabla 32. Valores de la relación directo y reverberante en los puntos M5, M6, M7 y M8 con respecto a la fuente sonora S3.....	84
Tabla 33. Cálculo analítico del nivel de presión sonora directo.....	91
Tabla 34. Cálculo analítico del nivel de presión sonora reverberante.....	92
Tabla 35. Cálculo analítico del nivel de presión sonora total.....	93
Tabla 36. D/R ratio.....	93
Tabla 37. Coeficiente de absorción de la nube Strato 2.....	108
Tabla 38. Coeficiente de absorción de las cortinas acústicas.....	111
Tabla 39. Representación el tiempo de reverberación de la mejora en las distintas bandas de frecuencia.....	115
Tabla 40. Comparación de datos significativos entre la situación actual y la propuesta de mejora.....	126

ANEXOS.

Tabla 41. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	183
Tabla 42. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1.....	183
Tabla 43. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1.....	183
Tabla 44. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1.....	184
Tabla 45. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1.....	184
Tabla 46. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1.....	184
Tabla 47. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1.....	185
Tabla 48. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1.....	185
Tabla 49. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2.....	185
Tabla 50. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2.....	186
Tabla 51. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2.....	186
Tabla 52. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2.....	186
Tabla 53. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2.....	187



Tabla 54. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2.....	187
Tabla 55. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2.....	187
Tabla 56. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2.....	188
Tabla 57. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3.....	188
Tabla 58. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3..	188
Tabla 59. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3.....	189
Tabla 60. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3..	189
Tabla 61. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3.....	189
Tabla 62. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3.....	190
Tabla 63. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3.....	190
Tabla 64. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3.....	190
Tabla 65. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	191
Tabla 66. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1.....	191
Tabla 67. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1.....	191
Tabla 68. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1.....	192
Tabla 69. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1.....	192
Tabla 70. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1.....	192
Tabla 71. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1.....	193
Tabla 72. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1.....	193
Tabla 73. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2.....	193
Tabla 74. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2.....	194
Tabla 75. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2.....	194
Tabla 76. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2.....	194



Tabla 77. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2.....	195
Tabla 78. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2.....	195
Tabla 79. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2.....	195
Tabla 80. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2.....	196
Tabla 81. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3.....	196
Tabla 82. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3.....	196
Tabla 83. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3.....	197
Tabla 84. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3.....	197
Tabla 85. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3.....	197
Tabla 86. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3.....	198
Tabla 87. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3.....	198
Tabla 88. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3.....	198
Tabla 89. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1.....	199
Tabla 90. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1.....	199
Tabla 91. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1.....	199
Tabla 92. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1.....	200
Tabla 93. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1.....	200
Tabla 94. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1.....	200
Tabla 95. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1.....	201
Tabla 96. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1.....	201
Tabla 97. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2.....	201
Tabla 98. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2.....	202
Tabla 99. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2.....	202



Tabla 100. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2.....	202
Tabla 101. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2.....	203
Tabla 102. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2.....	203
Tabla 103. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2.....	203
Tabla 104. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2.....	204
Tabla 105. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3.....	204
Tabla 106. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3.....	204
Tabla 107. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3.....	205
Tabla 108. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3.....	205
Tabla 109. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3.....	205
Tabla 110. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3.....	206
Tabla 111. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3.....	206
Tabla 112. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3.....	206





ANEXOS.





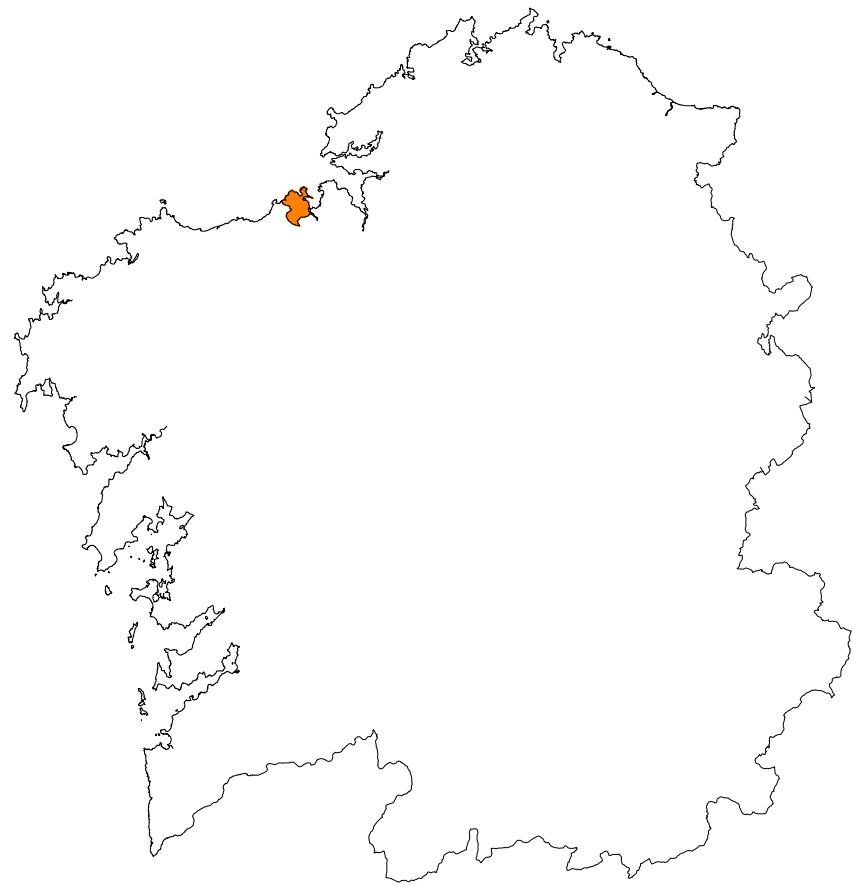
PLANOS.





ÍNDICE.

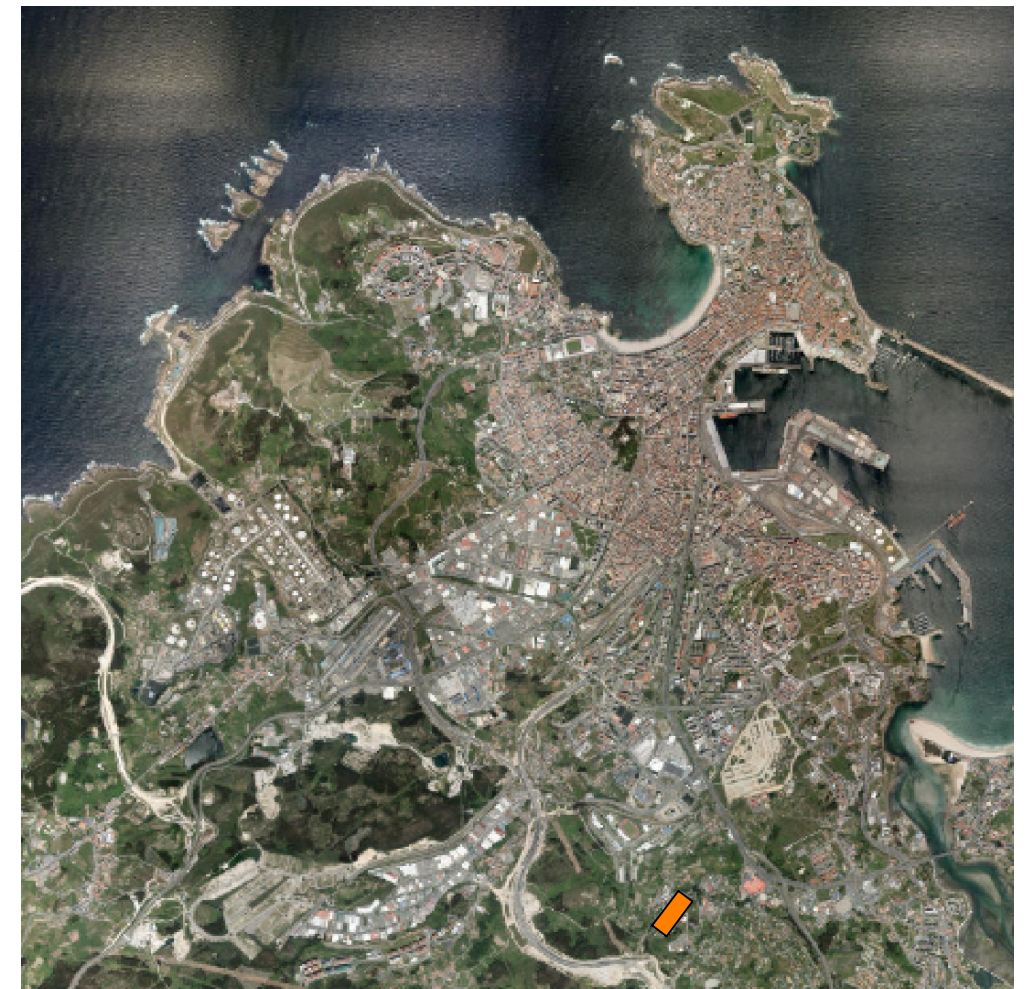
Situación y emplazamiento.....	S01
ESTADO ACTUAL	EA
Planta Estado Actual.....	A02
Planta Techo Estado Actual.....	A03
Secciones Estado Actual.....	A04
Secciones Estado Actual.....	A05
Planta de Cotas.....	A06
Planta Techo Cotas.....	A07
Secciones Acotadas.....	A08
Secciones Acotadas.....	A09
ESTADO REFORMADO.....	ER
Planta Estado Reformado.....	A10
Planta Techo Estado Reformado.....	A11
Secciones Estado Reformado.....	A12
Secciones Estado Reformado.....	A13
Planta de cotas.....	A14
Planta Techo Cotas.....	A15
Secciones Acotadas.....	A16
Secciones Acotadas.....	A17
Planta Acabos	C18



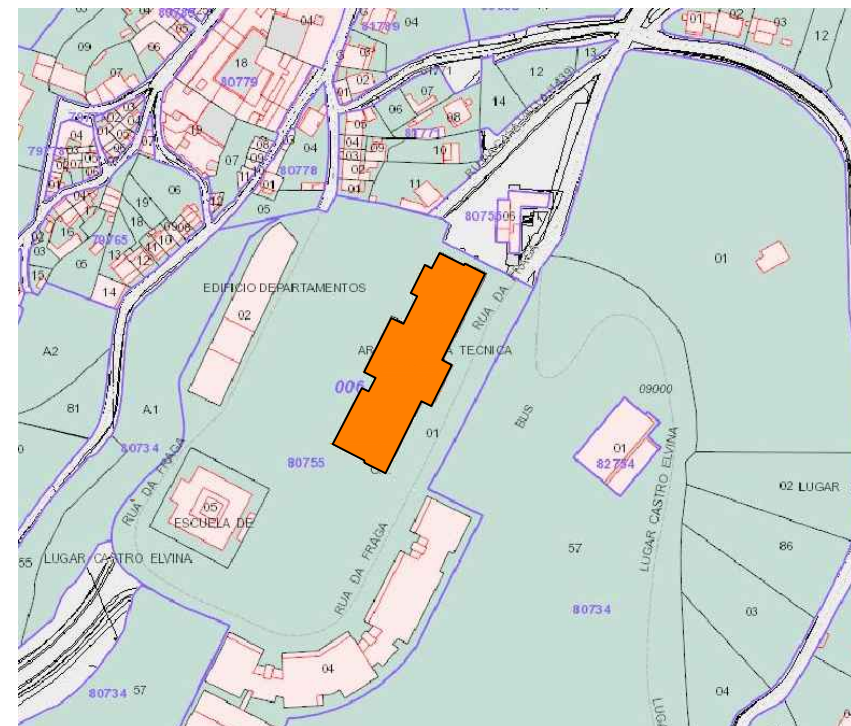
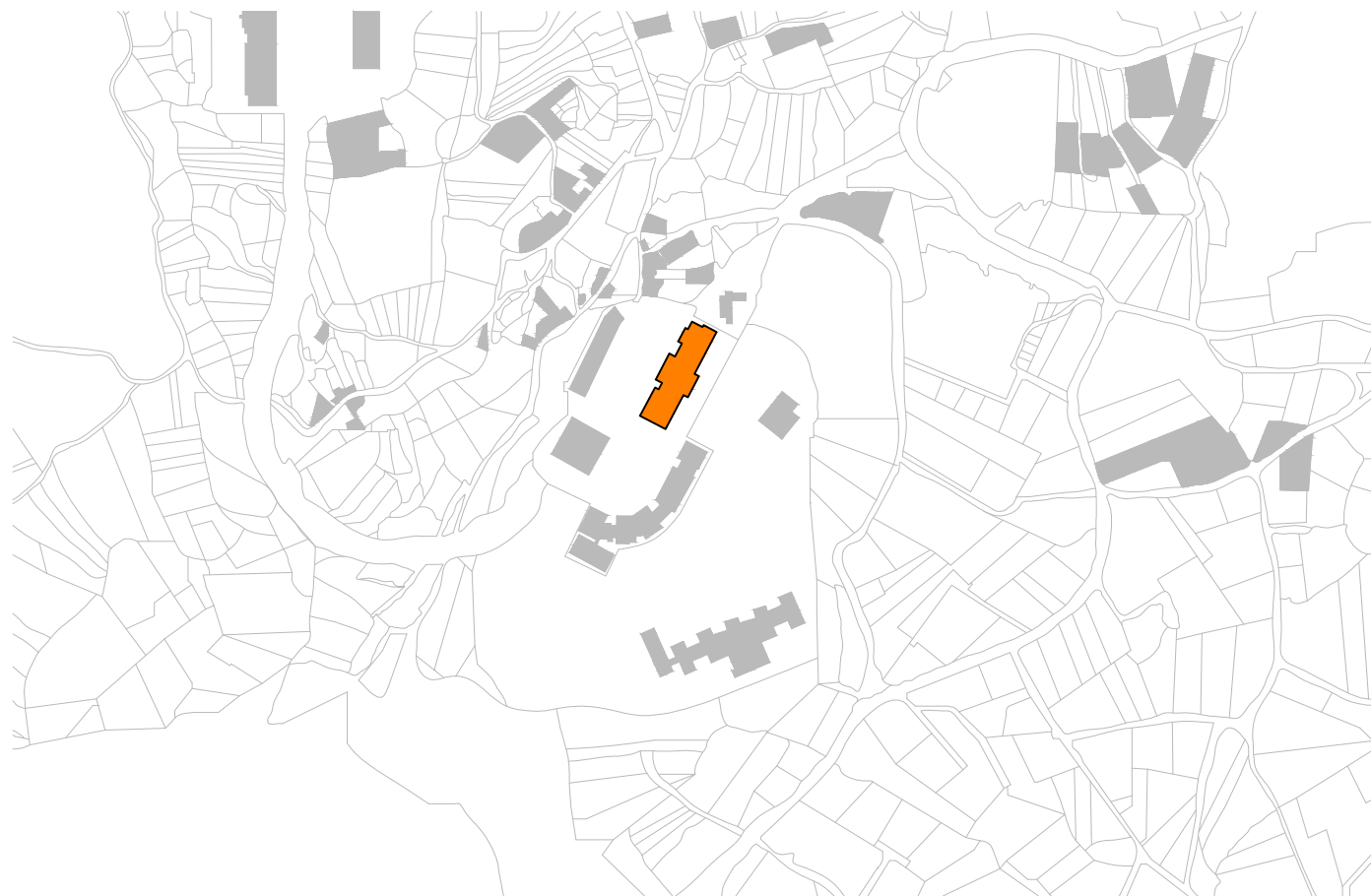
UBICACIÓN EN GALICIA.



UBICACIÓN EN LA PROVINCIA DE A CORUÑA.



UBICACIÓN EN EL AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA.



CATASTRO.



VISTA AÉREA DE LA EUAT.





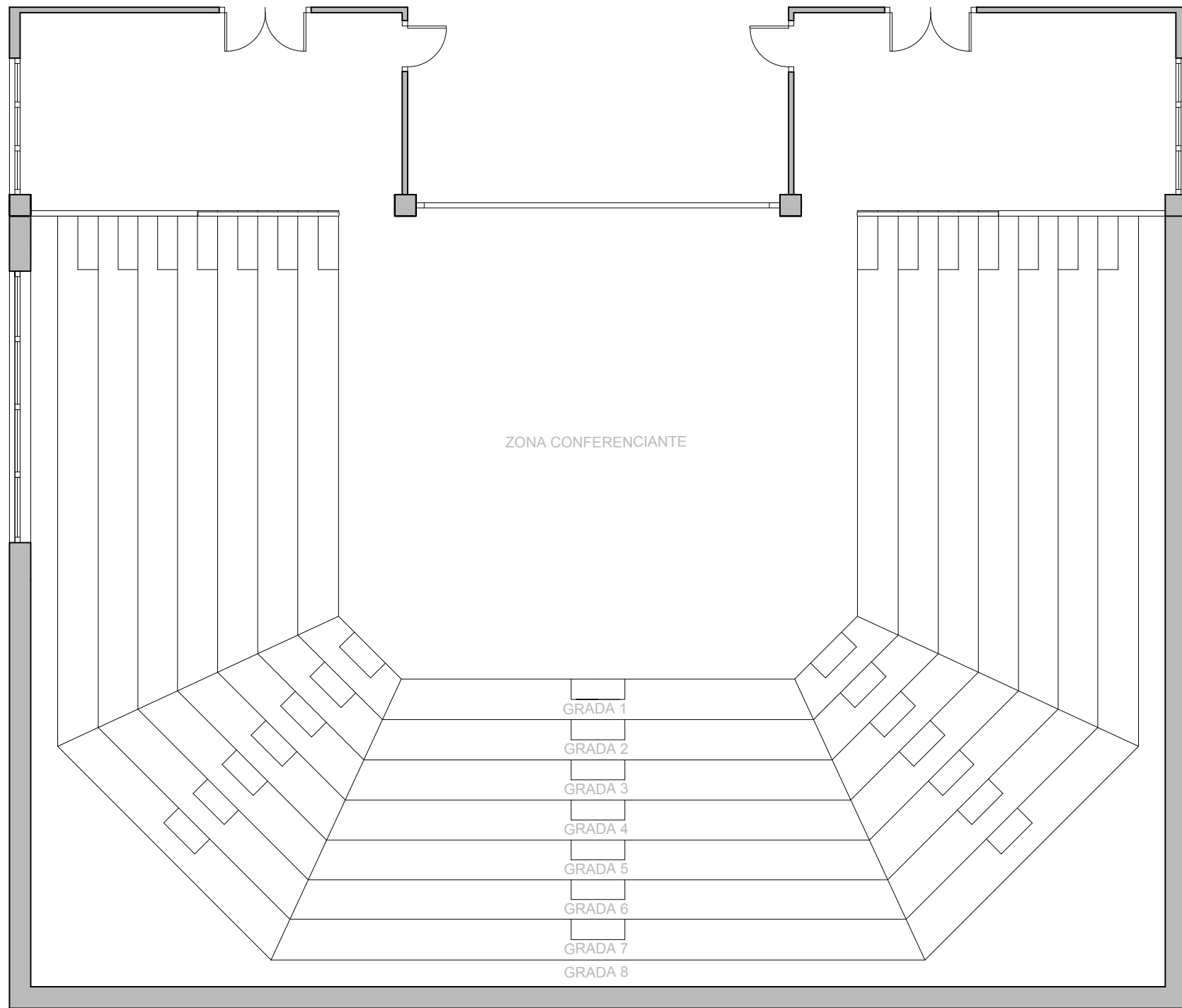
TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la
EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

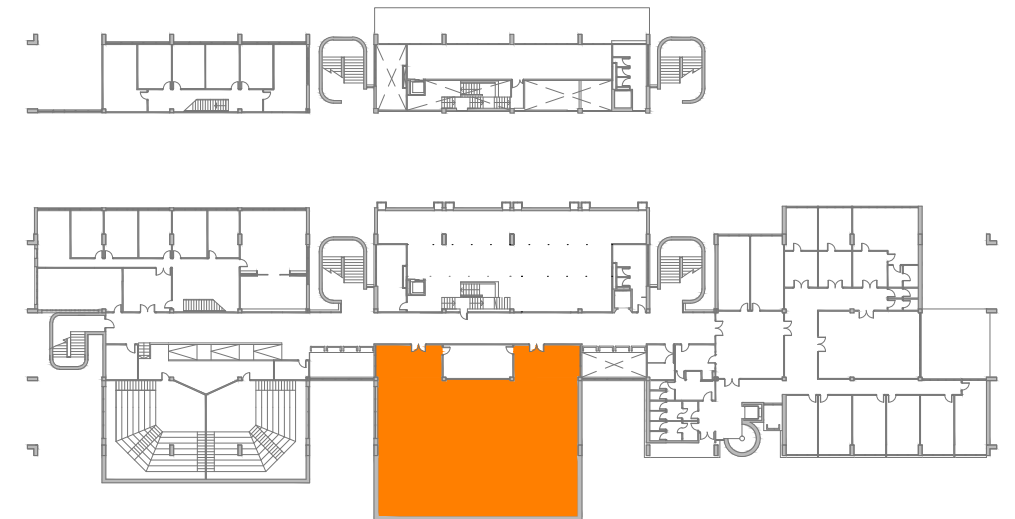
AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.
ESTADO ACTUAL.

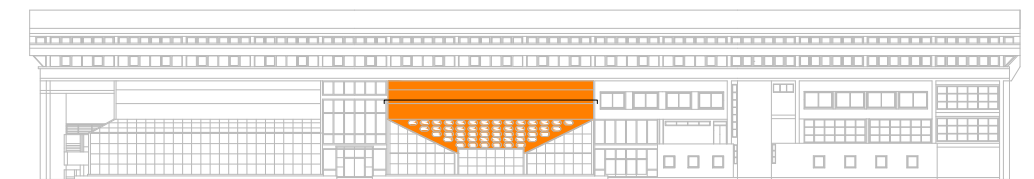
EA



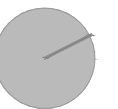
COTAS PLANTA.			
ZONA CONFERENCIANTE.	⬆ +3.50m	GRADA 5.	⬆ +5.50m
GRADA 1.	⬆ +3.90m	GRADA 6.	⬆ +5.90m
GRADA 2.	⬆ +4.30m	GRADA 7.	⬆ +6.30m
GRADA 3.	⬆ +4.70m	GRADA 8.	⬆ +6.67m
GRADA 4.	⬆ +5.10m		



	SUPERFICIE CONSTRUÍDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

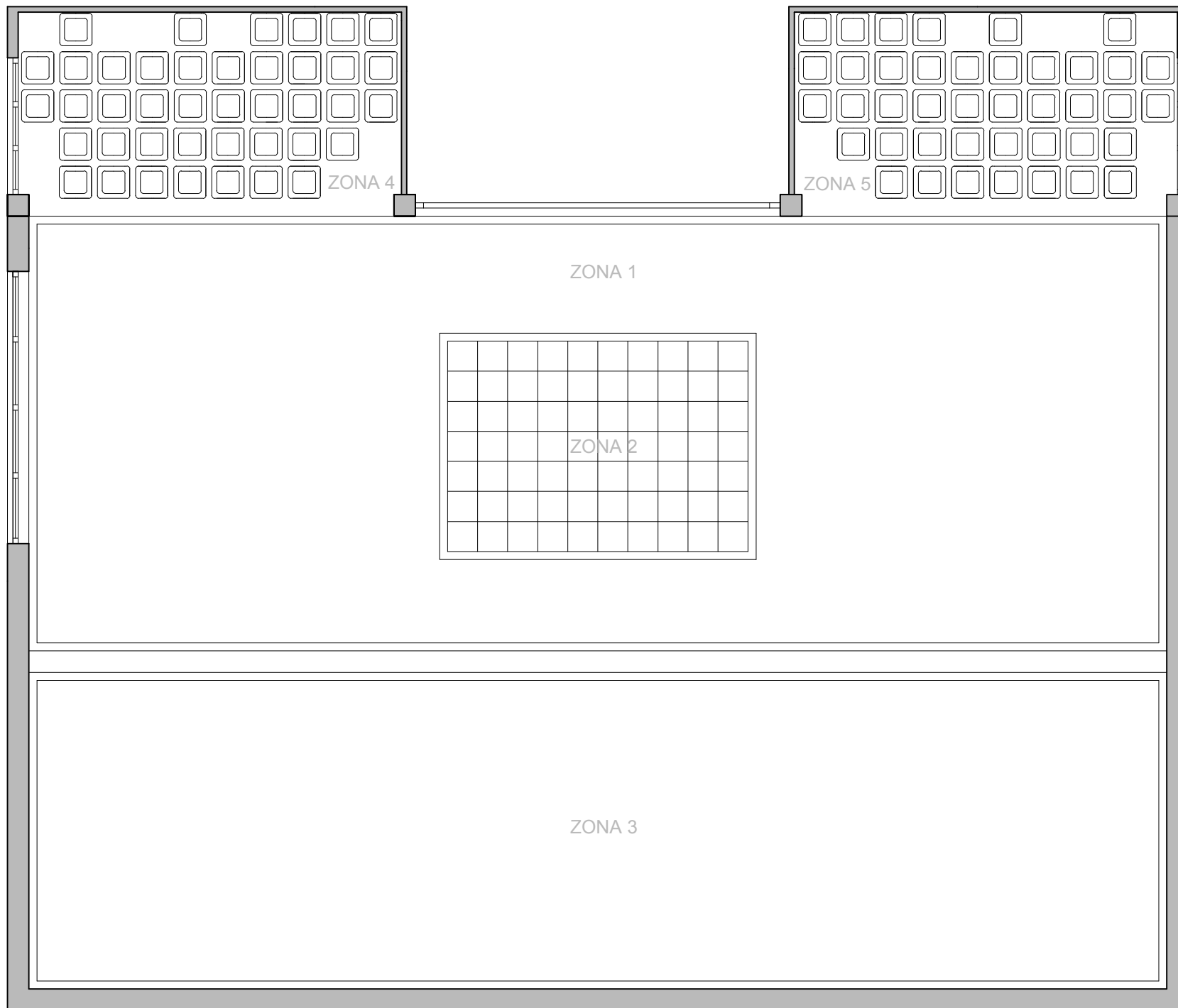
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Planta Estado Actual.

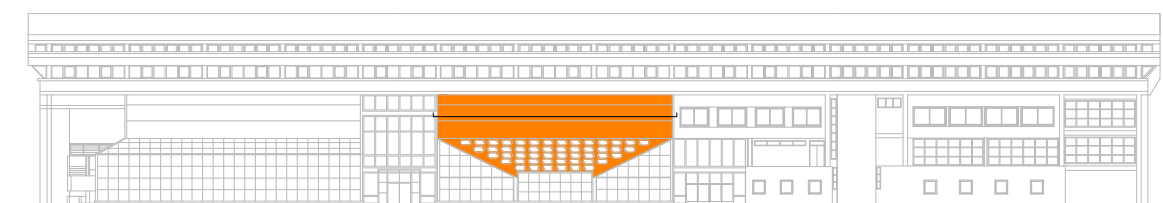
ESCALA: 1/100

A02



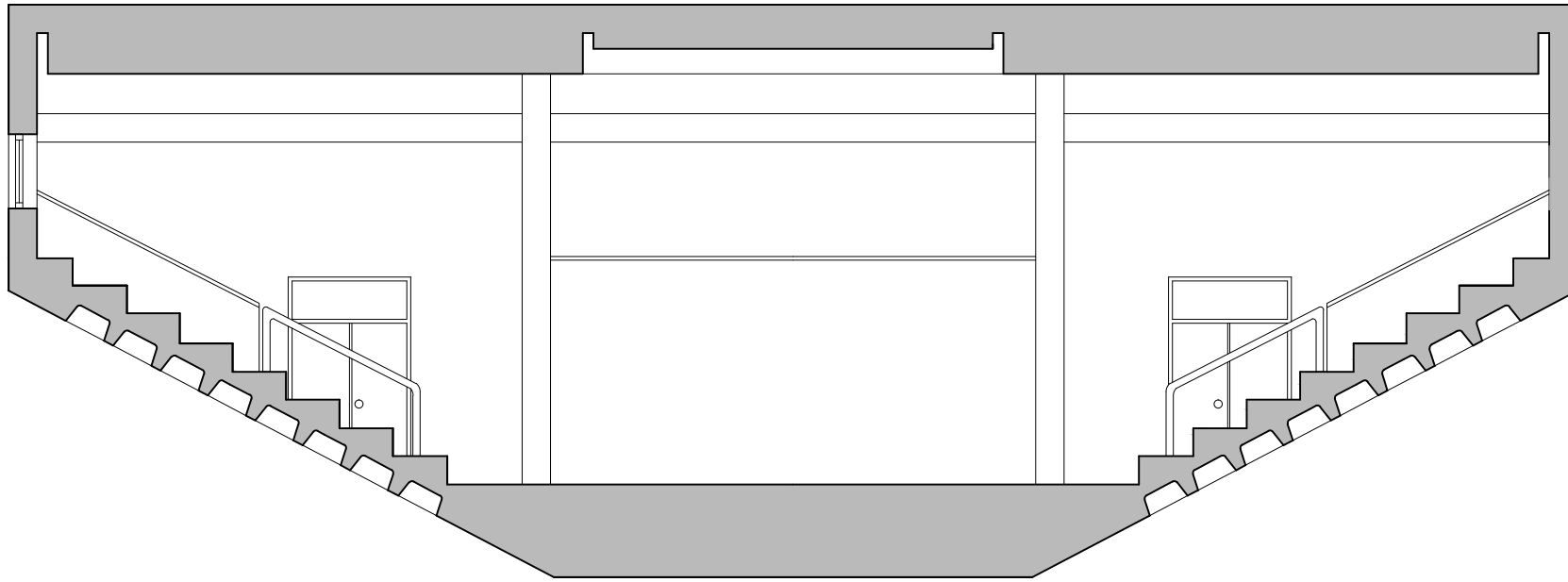
COTAS PLANTA TECHO.	
ZONA 1.	⊕ +9.26m
ZONA 2.	⊕ +9.61m
ZONA 3.	⊕ +9.21m
ZONA 4.	⊕ +8.30m
ZONA 5.	⊕ +8.30m

TIPOS DE TECHO.	
ZONA 1.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 2.	FALSO TECHO REGISTRABLE.
ZONA 3.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 4.	FORJADO BIDIRECCIONAL.
ZONA 5.	FORJADO BIDIRECCIONAL.

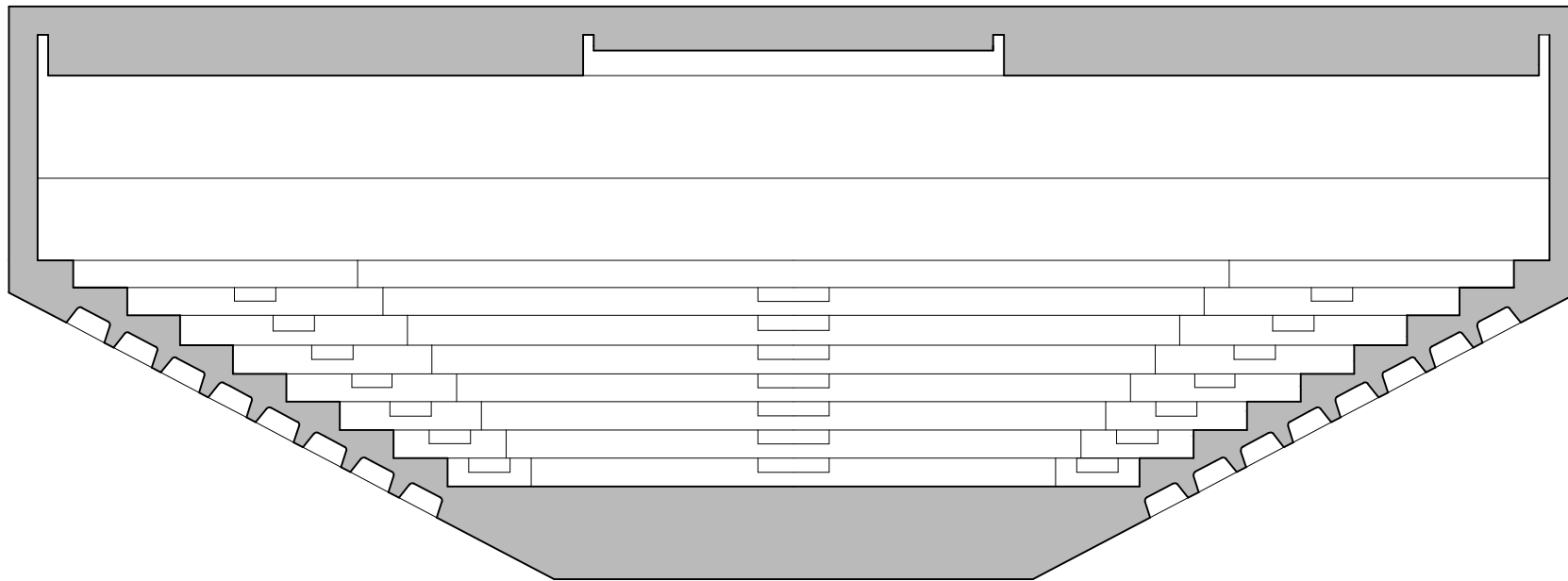


UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

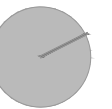
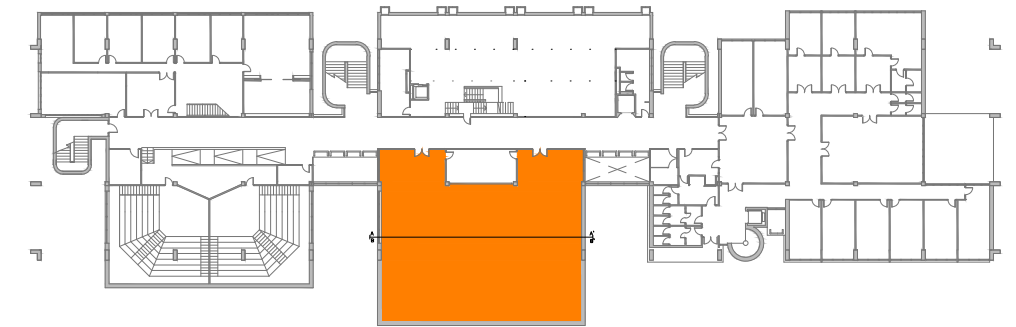
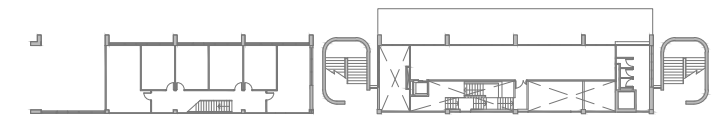
	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



SECCIÓN AA'



SECCIÓN BB'



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

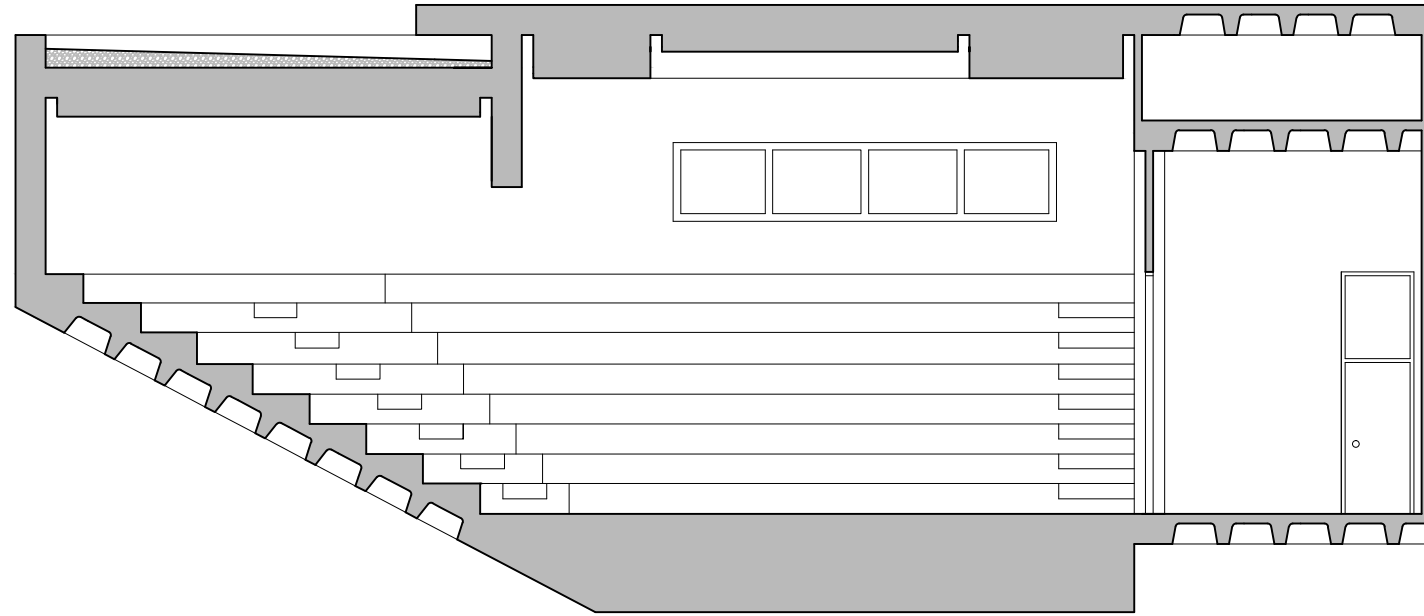
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

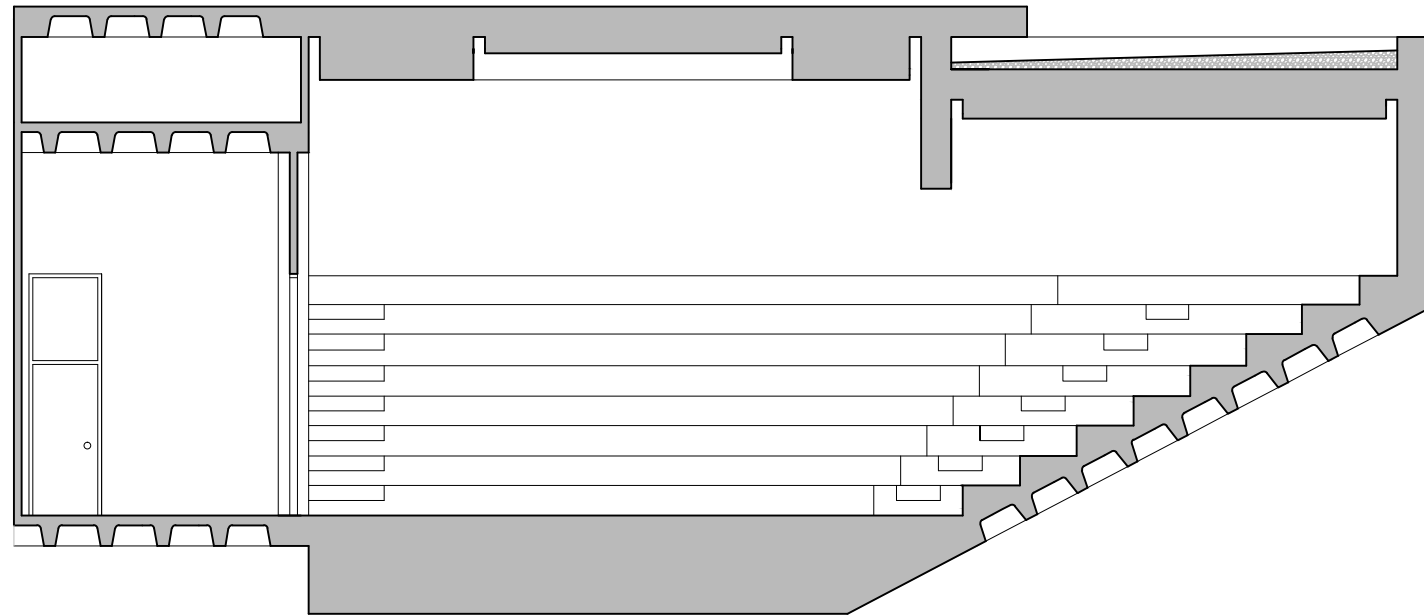
PLANO: Secciones Estado Actual.

ESCALA: 1/100

A04

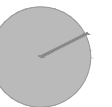
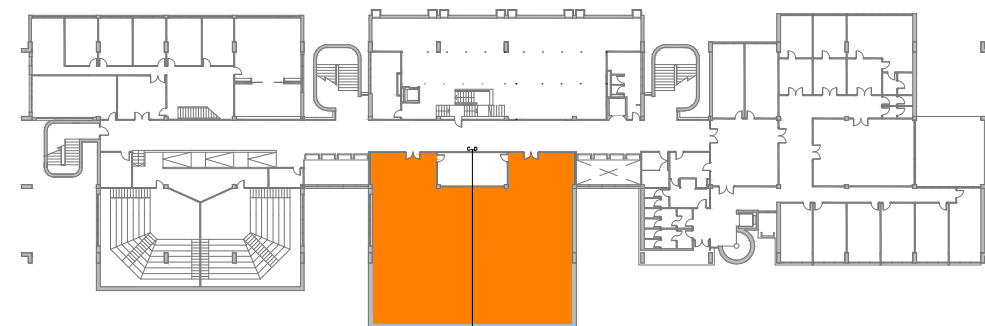
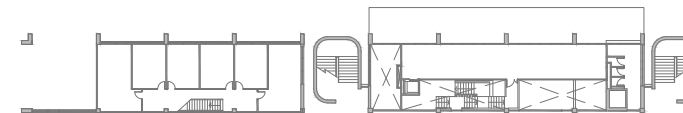


SECCIÓN CC'



SECCIÓN DD'

SUPERFICIES AULA MAGNA. (m ²).			
ELEMENTOS HORIZONTALES.			
SUELO COTA +3.50 m.	136.39	ALZADO NO central.	
SUELO COTA +3.90 m.	20.70	PARED.	3.81
GRADA COTA +4.30 m.	22.37	PARED.	32.64
GRADA COTA +4.70 m.	24.30	CANTO DE FORJADO.	2.72
GRADA COTA +5.10 m.	26.22	PILARES 3 Y 4.	8.44
GRADA COTA +5.50 m.	27.76	ALZADO NE.	
GRADA COTA +5.90 m.	29.03	PARED.	13.28
GRADA COTA +6.28 m.	32.39	PUERTA 1.	3.19
GRADA COTA +6.67 m.	40.45	ALZADO SO.	
FALSO TECHO CONTINUO.	272.92	PARED.	13.28
FALSO TECHO REGISTRABLE.	24.90	PUERTA 2.	3.19
FORJADO BIDIRECCIONAL.	53.99	ALZADO NO derecho.	
VIGA DE CANTO.	8.48	PARED.	33.51
ELEMENTOS VERTICALES.			
		CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO NE.		PUERTA 3.	4.65
PARED.	44.12	ALZADO NO izquierdo.	
VENTANA.	12.24	PARED.	33.51
PILAR 1.	2.88	CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO SO.		PUERTA 4.	4.65
PARED.	38.85	GRADA COTA +3.90 m.	10.32
VENTANA 2.	12.24	GRADA COTA +4.30 m.	11.36
VENTANA 3.	5.27	GRADA COTA +4.70 m.	12.37
PILAR 2.	2.88	GRADA COTA +5.10 m.	13.37
ALZADO SE.		GRADA COTA +5.50 m.	14.30
PARED.	49.40	GRADA COTA +5.90 m.	15.30
		GRADA COTA +6.28 m.	16.31
		GRADA COTA +6.67 m.	17.33
		ESCALERAS GRADAS.	15.00
		VIGA DE CANTO.	65.72
		PAREDES FALSO TECHO REGISTRABLE.	5.38



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

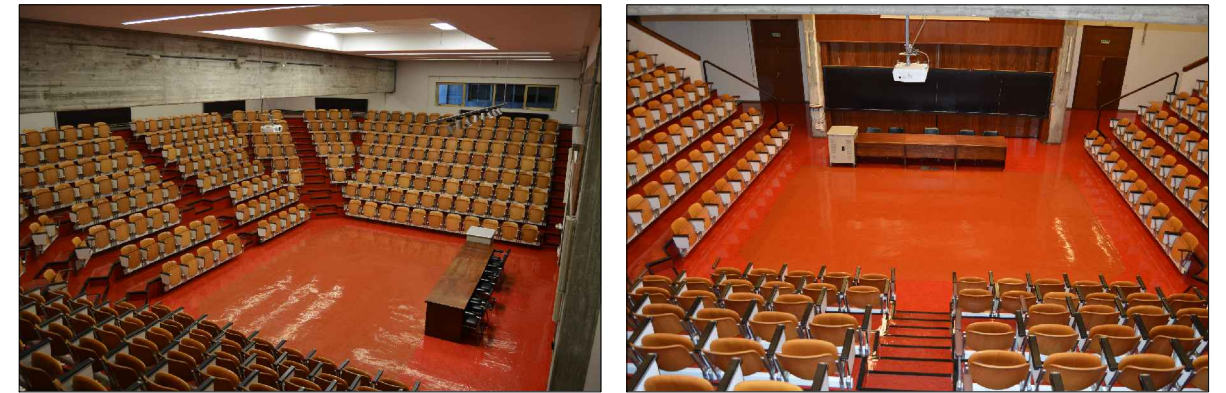
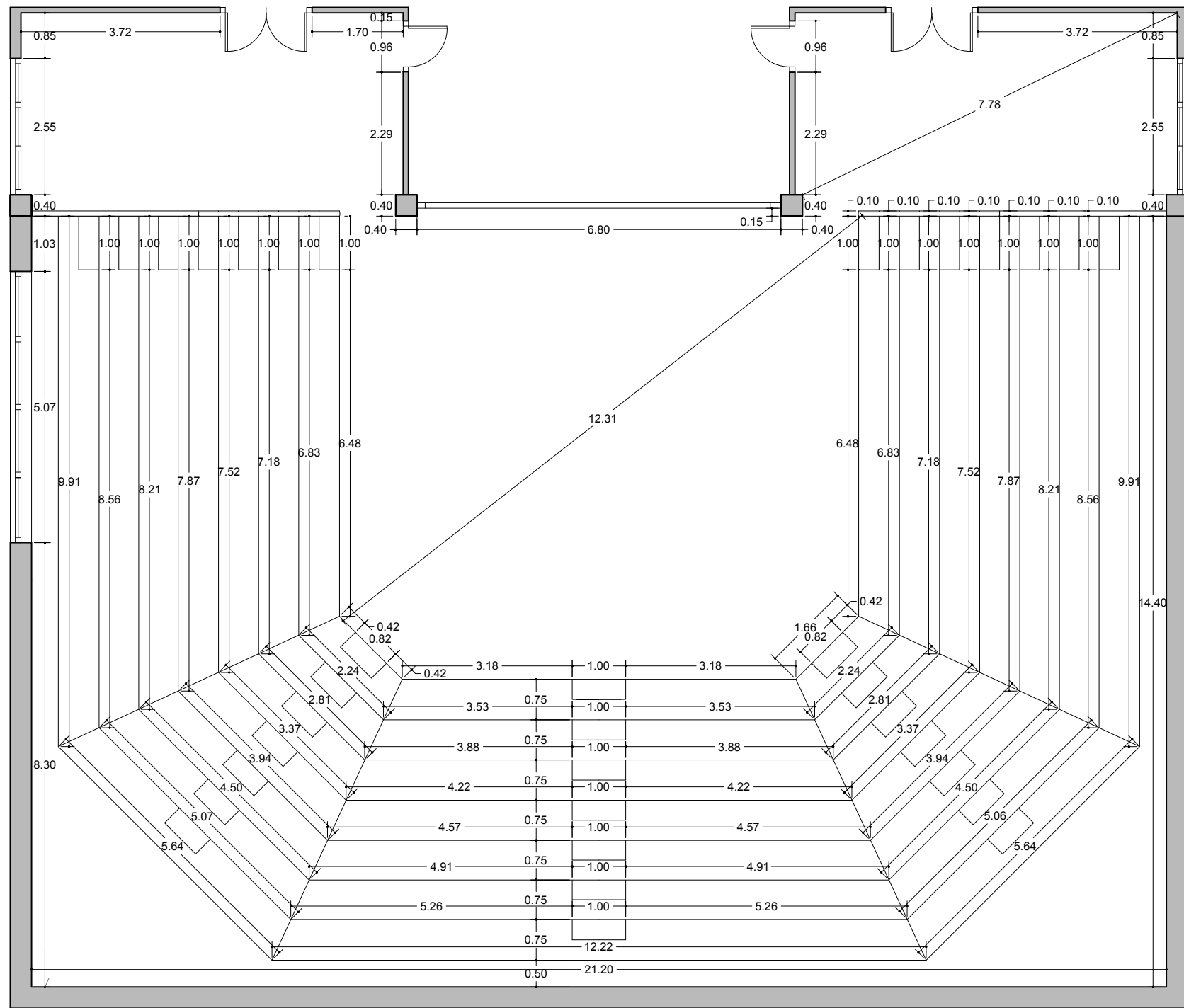
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Secciones Estado Actual.

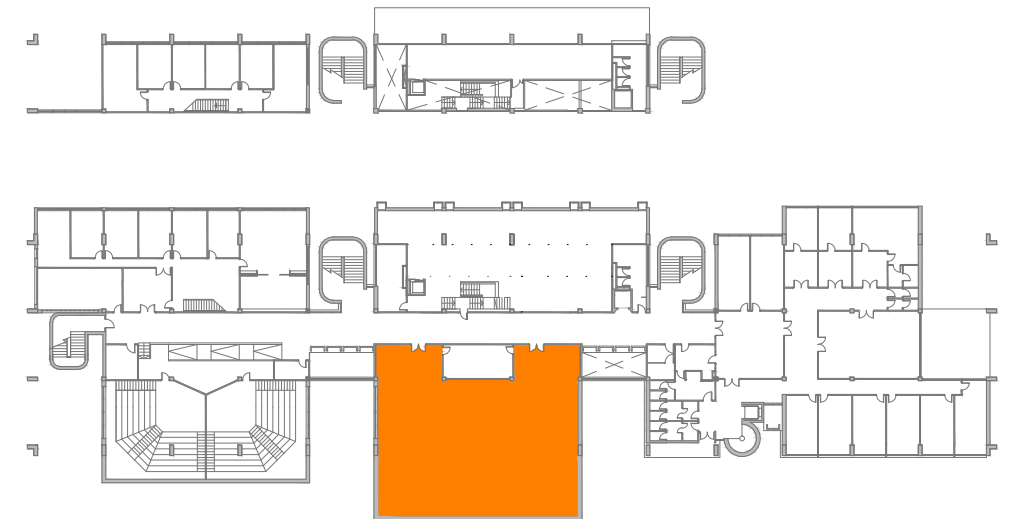
ESCALA: 1/100

A05



COTAS PLANTA.

ZONA CONFERENCIANTE.	⬆ +3.50m	GRADA 5.	⬆ +5.50m
GRADA 1.	⬆ +3.90m	GRADA 6.	⬆ +5.90m
GRADA 2.	⬆ +4.30m	GRADA 7.	⬆ +6.30m
GRADA 3.	⬆ +4.70m	GRADA 8.	⬆ +6.67m
GRADA 4.	⬆ +5.10m		



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

	SUPERFICIE CONSTRUÍDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

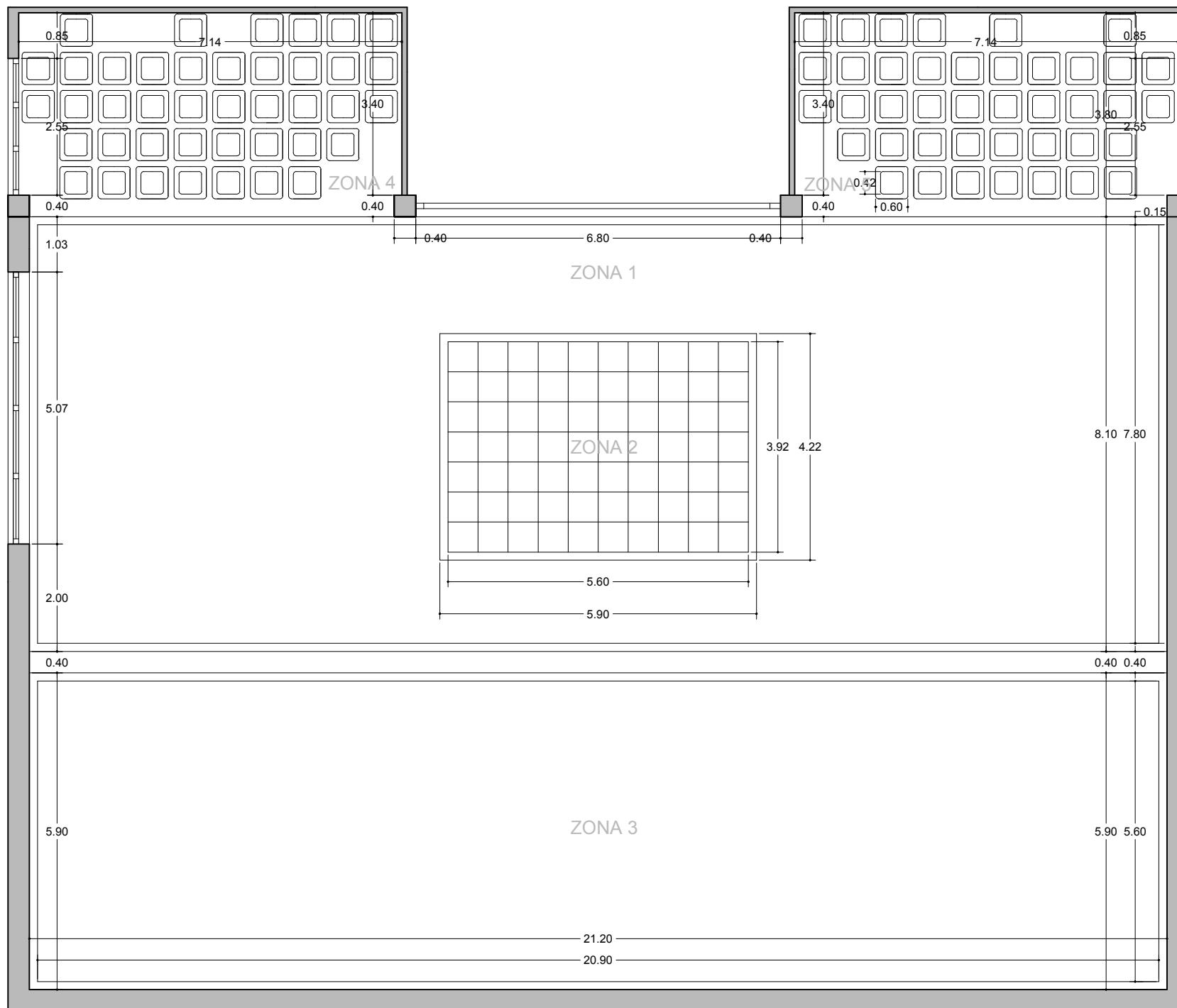
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Planta de Cotas.

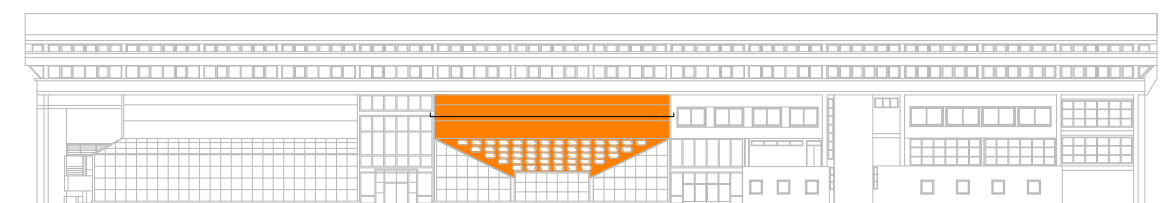
ESCALA: 1/100

A06



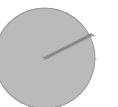
COTAS PLANTA TECHO.	
ZONA 1.	⊕ +9.26m
ZONA 2.	⊕ +9.61m
ZONA 3.	⊕ +9.21m
ZONA 4.	⊕ +8.30m
ZONA 5.	⊕ +8.30m

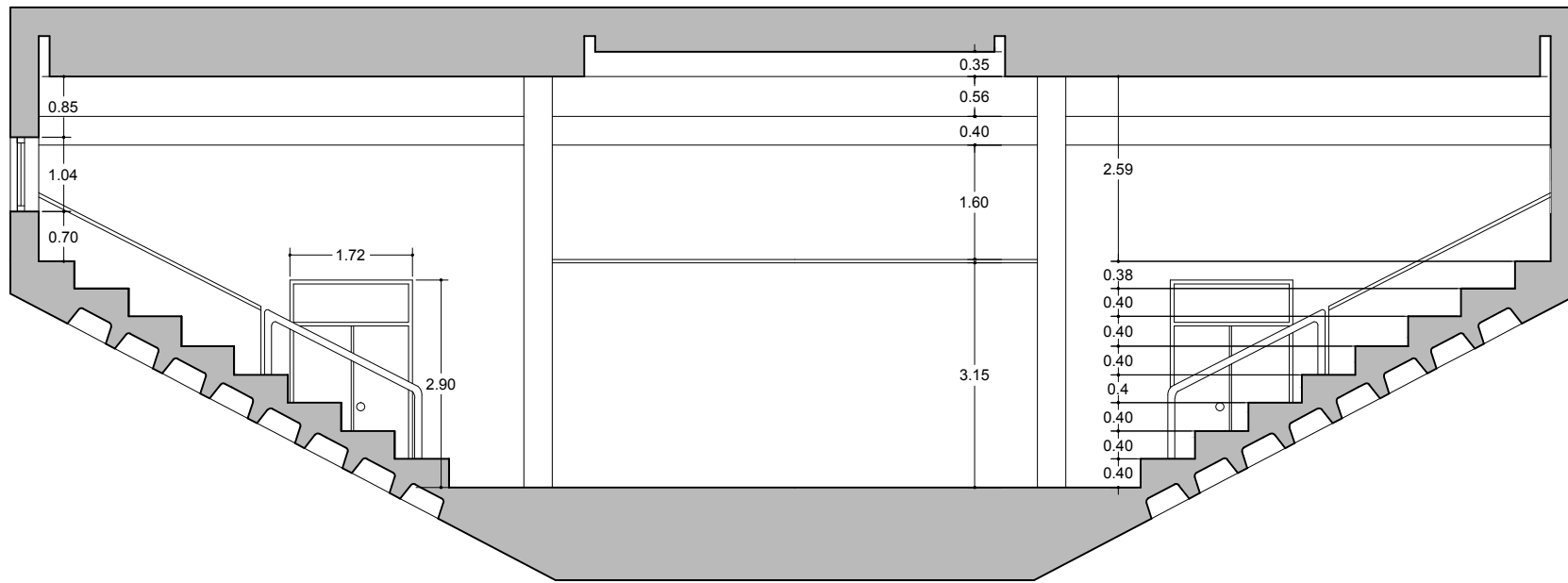
TIPOS DE TECHO.	
ZONA 1.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 2.	FALSO TECHO REGISTRABLE.
ZONA 3.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 4.	FORJADO BIDIRECCIONAL.
ZONA 5.	FORJADO BIDIRECCIONAL.



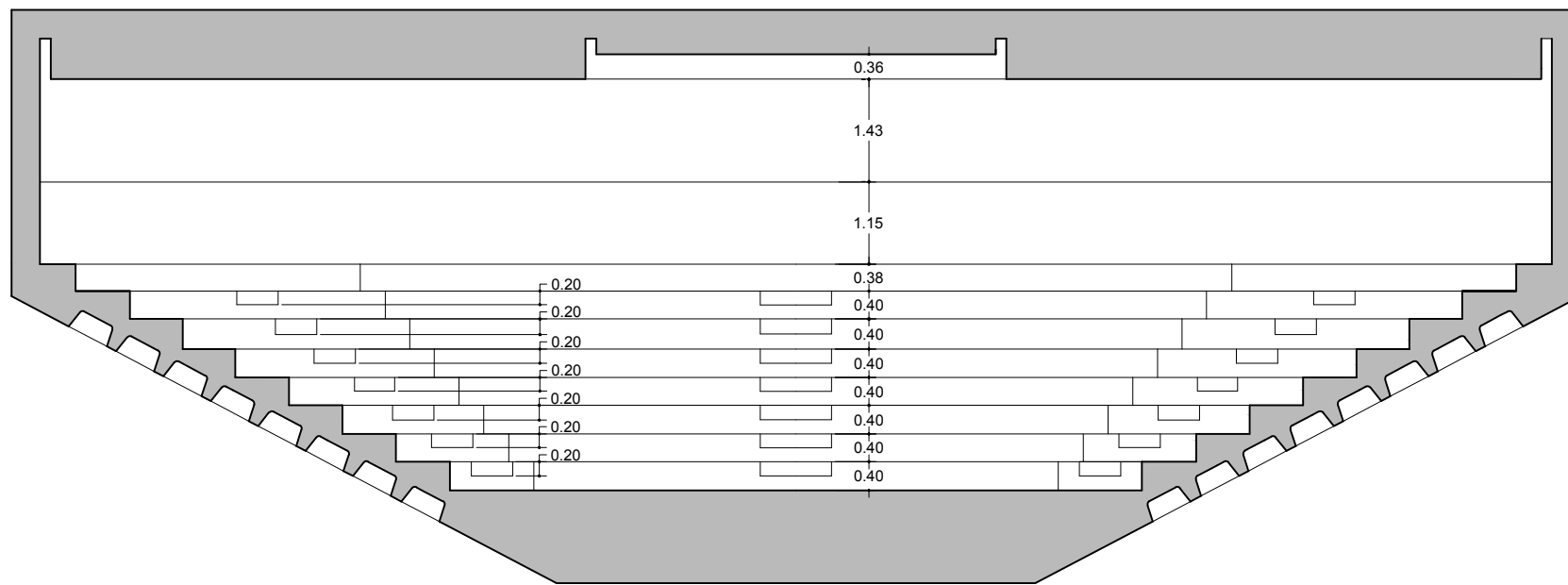
UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60

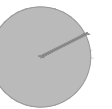
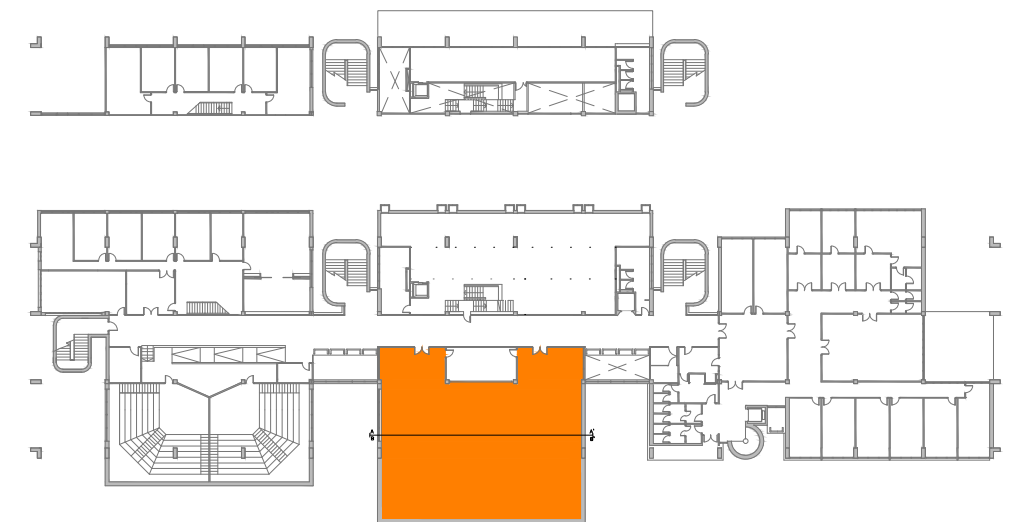




SECCIÓN AA'



SECCIÓN BB'



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

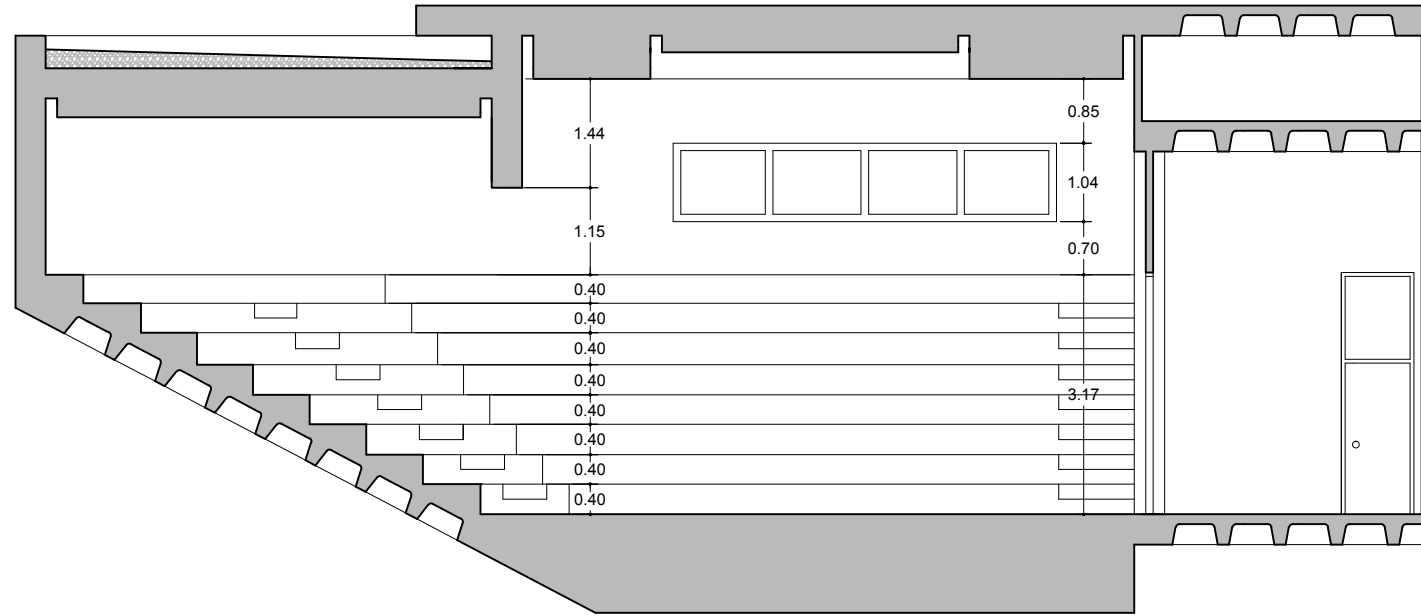
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

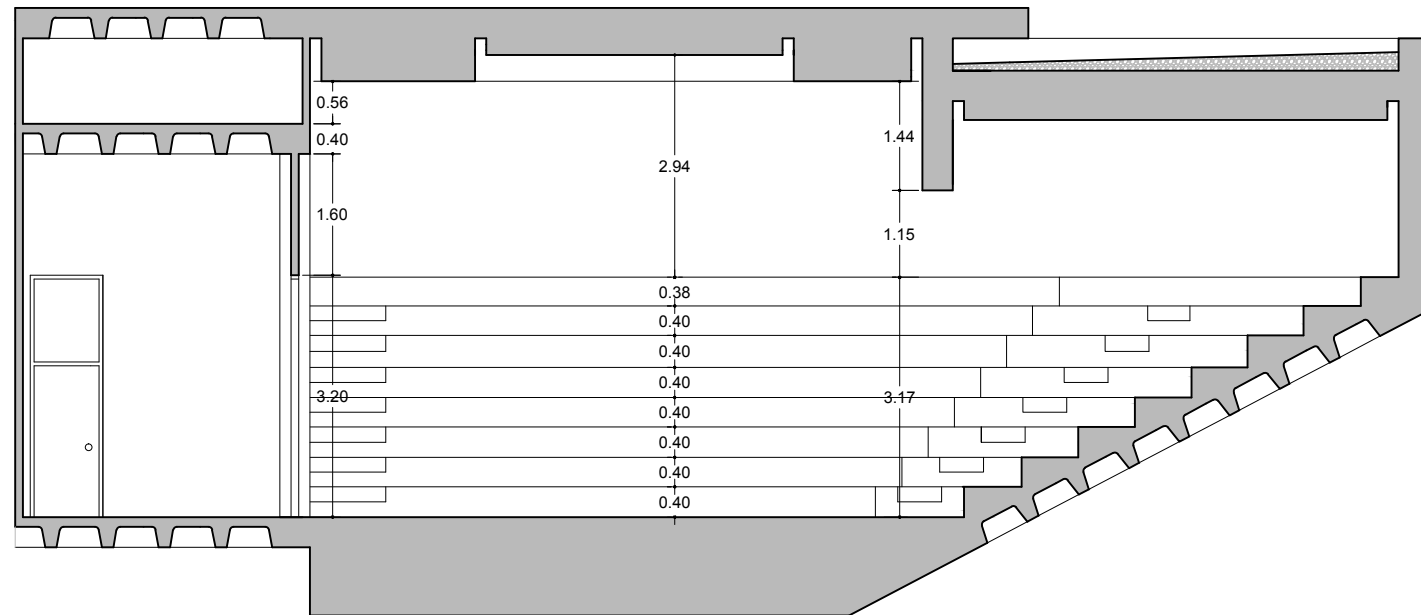
PLANO: Secciones Acotadas

ESCALA: 1/100

A08

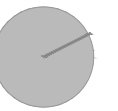
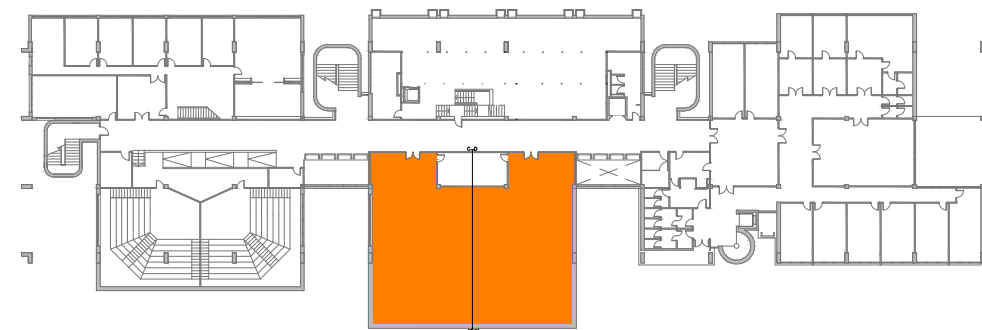
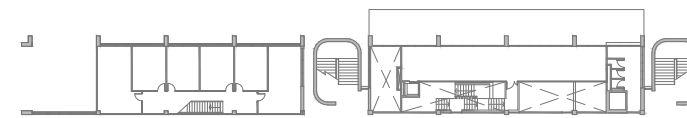


SECCIÓN CC'



SECCIÓN DD'

SUPERFICIES AULA MAGNA. (m ²).			
ELEMENTOS HORIZONTALES.			
SUELO COTA +3.50 m.	136.39	ALZADO NO central.	
SUELO COTA +3.90 m.	20.70	PARED.	3.81
GRADA COTA +4.30 m.	22.37	PARED.	32.64
GRADA COTA +4.70 m.	24.30	CANTO DE FORJADO.	2.72
GRADA COTA +5.10 m.	26.22	PILARES 3 Y 4.	8.44
GRADA COTA +5.50 m.	27.76	ALZADO NE.	
GRADA COTA +5.90 m.	29.03	PARED.	13.28
GRADA COTA +6.28 m.	32.39	PUERTA 1.	3.19
GRADA COTA +6.67 m.	40.45	ALZADO SO.	
FALSO TECHO CONTINUO.	272.92	PARED.	13.28
FALSO TECHO REGISTRABLE.	24.90	PUERTA 2.	3.19
FORJADO BIDIRECCIONAL.	53.99	ALZADO NO derecho.	
VIGA DE CANTO.	8.48	PARED.	33.51
ELEMENTOS VERTICALES.			
		CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO NE.		PUERTA 3.	4.65
PARED.	44.12	ALZADO NO izquierdo.	
VENTANA.	12.24	PARED.	33.51
PILAR 1.	2.88	CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO SO.		PUERTA 4.	4.65
PARED.	38.85	GRADA COTA +3.90 m.	10.32
VENTANA 2.	12.24	GRADA COTA +4.30 m.	11.36
VENTANA 3.	5.27	GRADA COTA +4.70 m.	12.37
PILAR 2.	2.88	GRADA COTA +5.10 m.	13.37
ALZADO SE.		GRADA COTA +5.50 m.	14.30
PARED.	49.40	GRADA COTA +5.90 m.	15.30
		GRADA COTA +6.28 m.	16.31
		GRADA COTA +6.67 m.	17.33
		ESCALERAS GRADAS.	15.00
		VIGA DE CANTO.	65.72
		PAREDES FALSO TECHO REGISTRABLE.	5.38



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Secciones Acotadas.

ESCALA: 1/100

A09



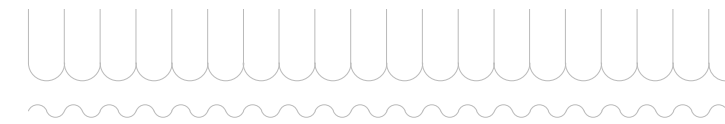
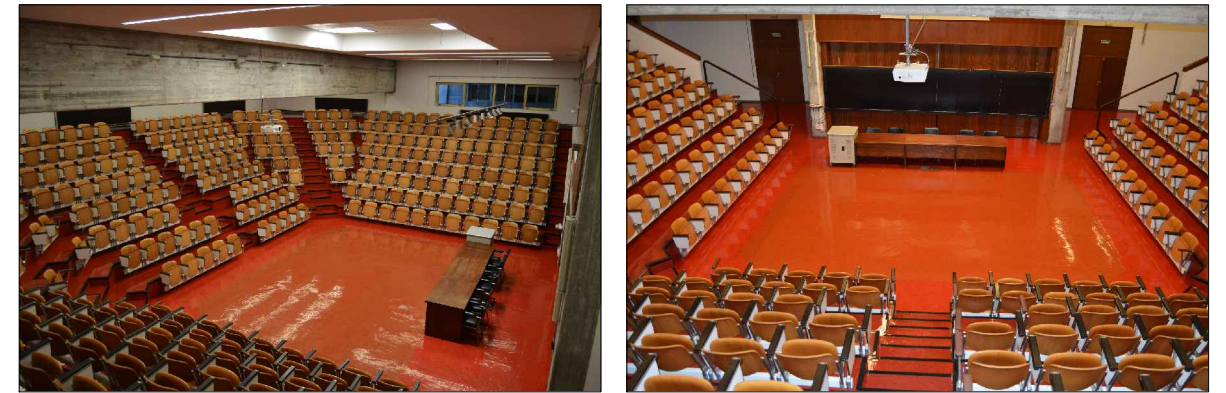
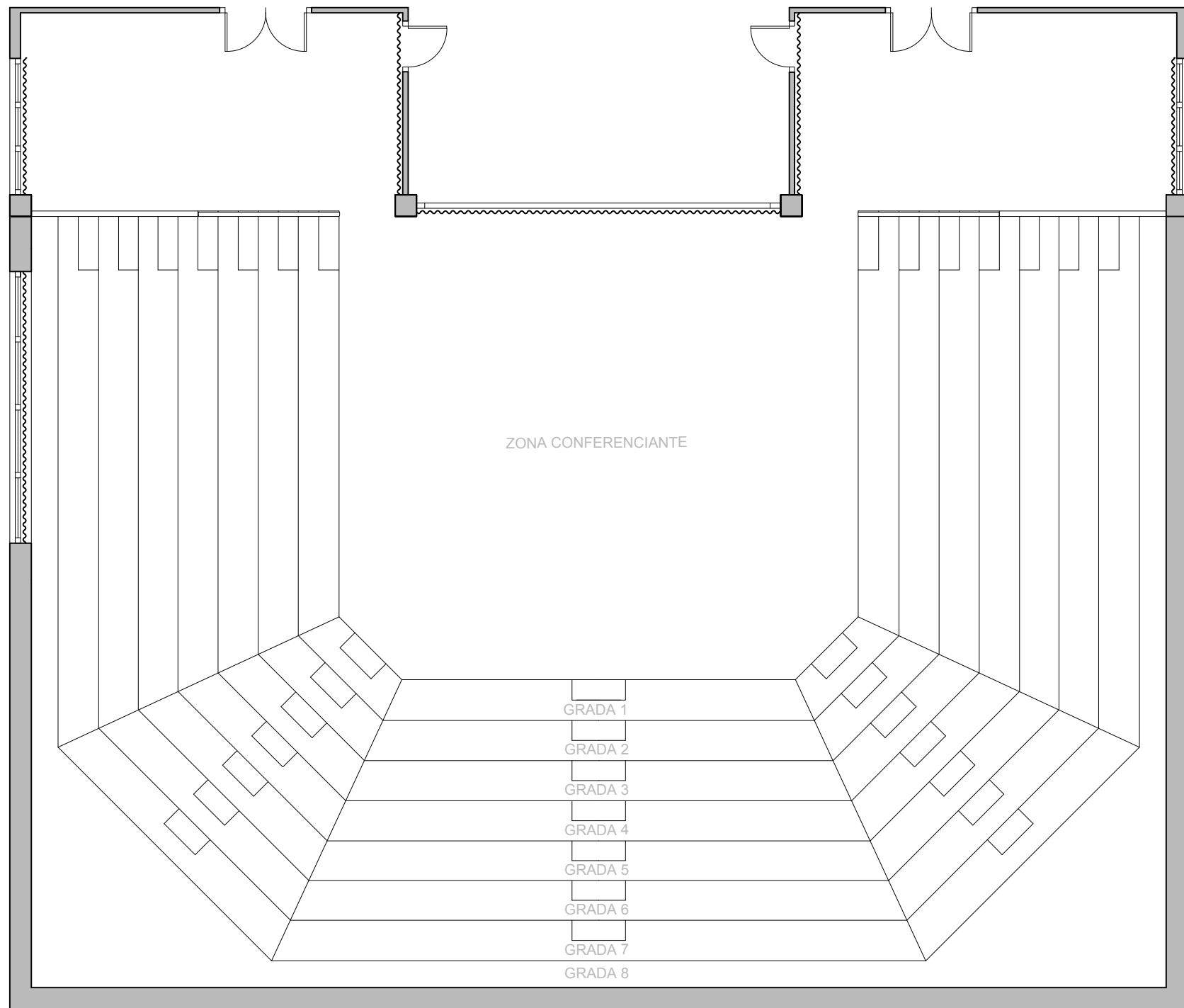
TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la
EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.
ESTADO REFORMADO.

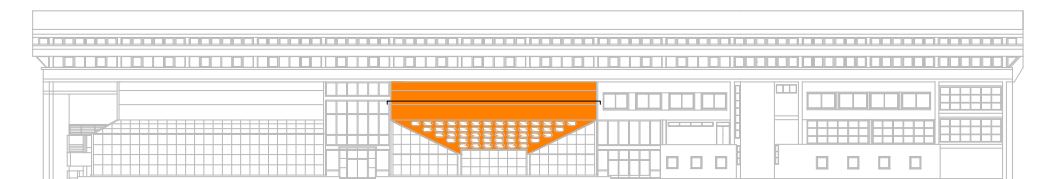
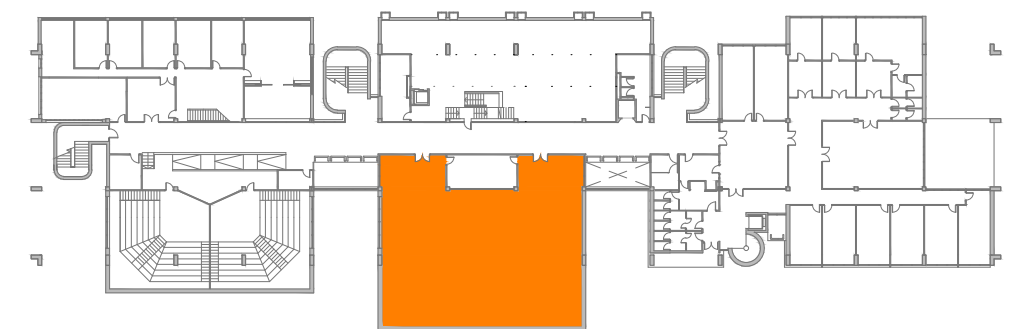
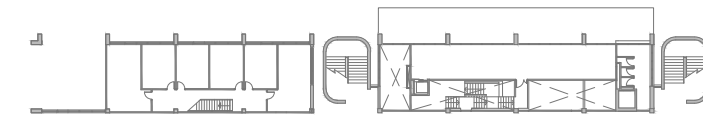
ER



CORTINA ACÚSTICA MORPACUR
CAVALLO PLUS, MORPA.

COTAS PLANTA.

ZONA CONFERENCIANTE.	⬆ +3.50m	GRADA 5.	⬆ +5.50m
GRADA 1.	⬆ +3.90m	GRADA 6.	⬆ +5.90m
GRADA 2.	⬆ +4.30m	GRADA 7.	⬆ +6.30m
GRADA 3.	⬆ +4.70m	GRADA 8.	⬆ +6.67m
GRADA 4.	⬆ +5.10m		



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA
FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

	SUPERFICIE CONSTRUÍDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la
EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

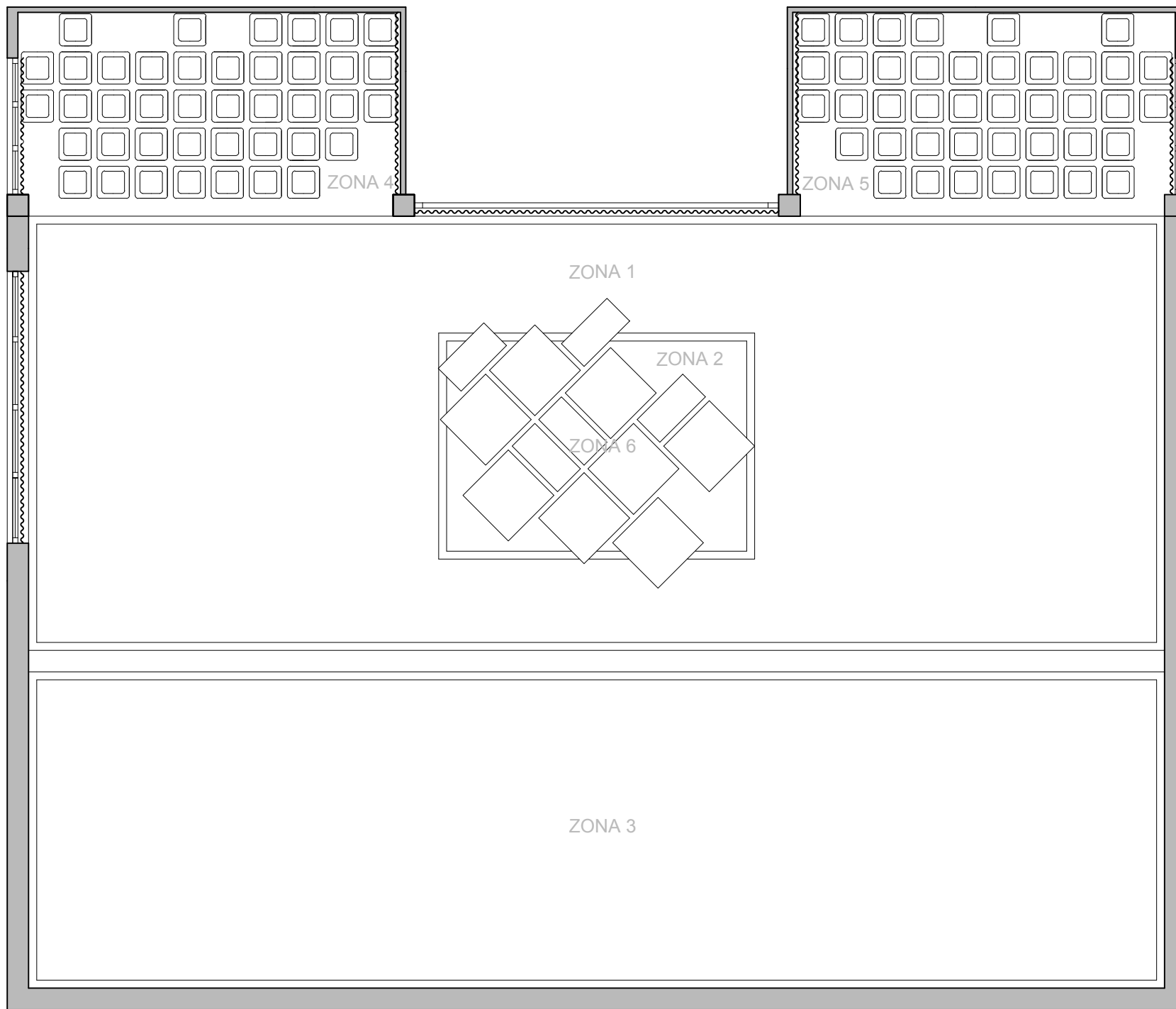
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Planta Estado Reformado.

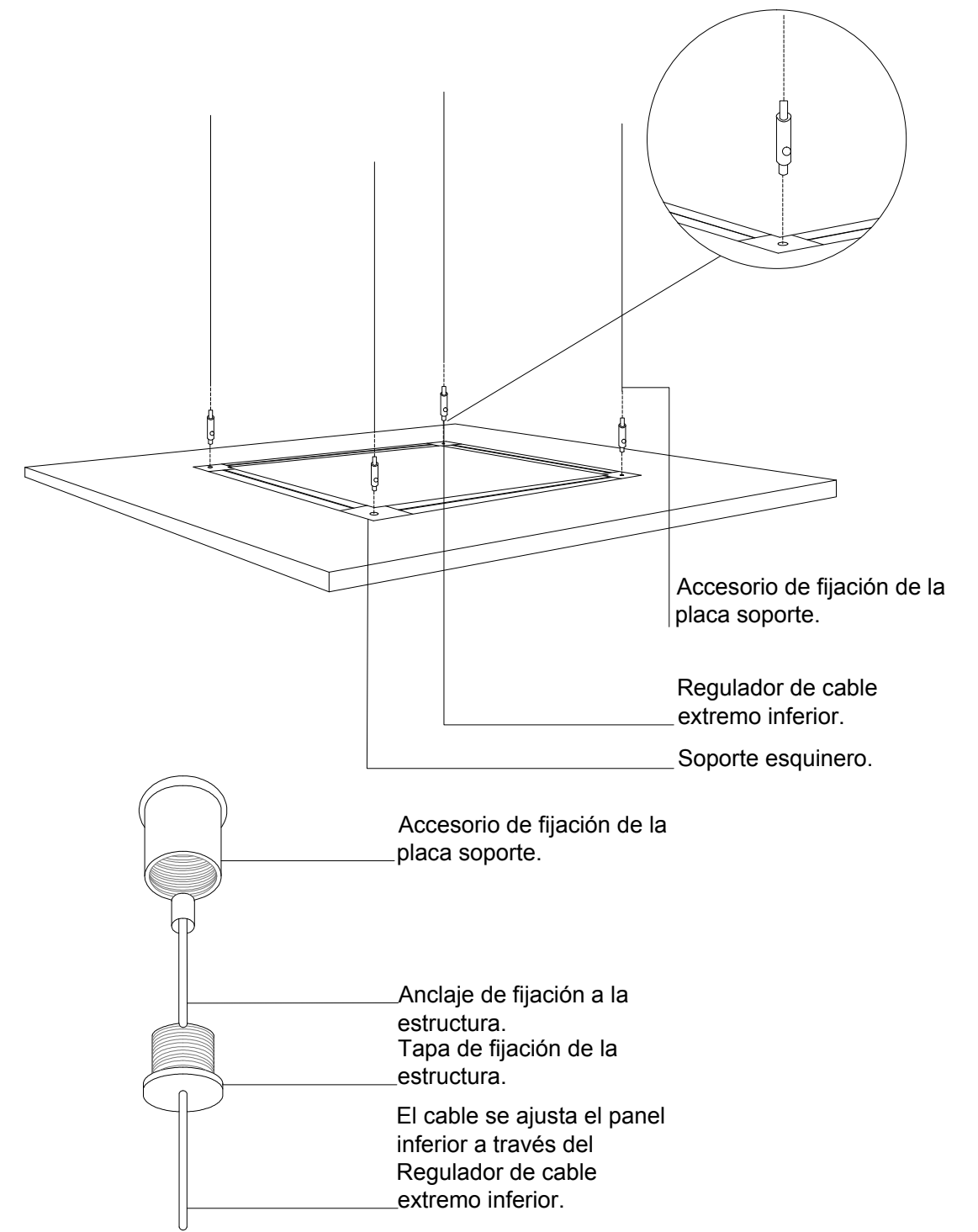
ESCALA: 1/100

A10

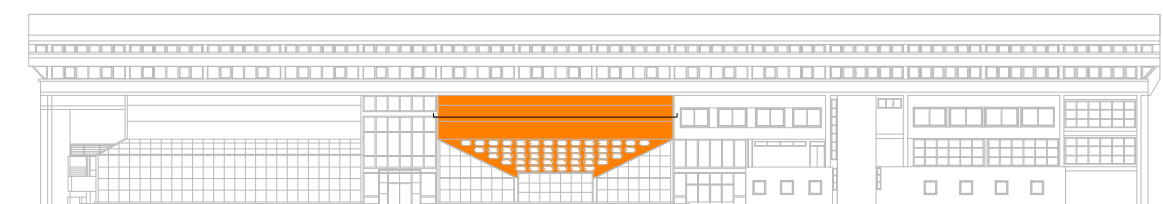


COTAS PLANTA TECHO.	
ZONA 1	+9.26m
ZONA 2	+9.61m
ZONA 3	+9.21m
ZONA 4	+8.30m
ZONA 5	+8.30m
ZONA 6	+7.80m

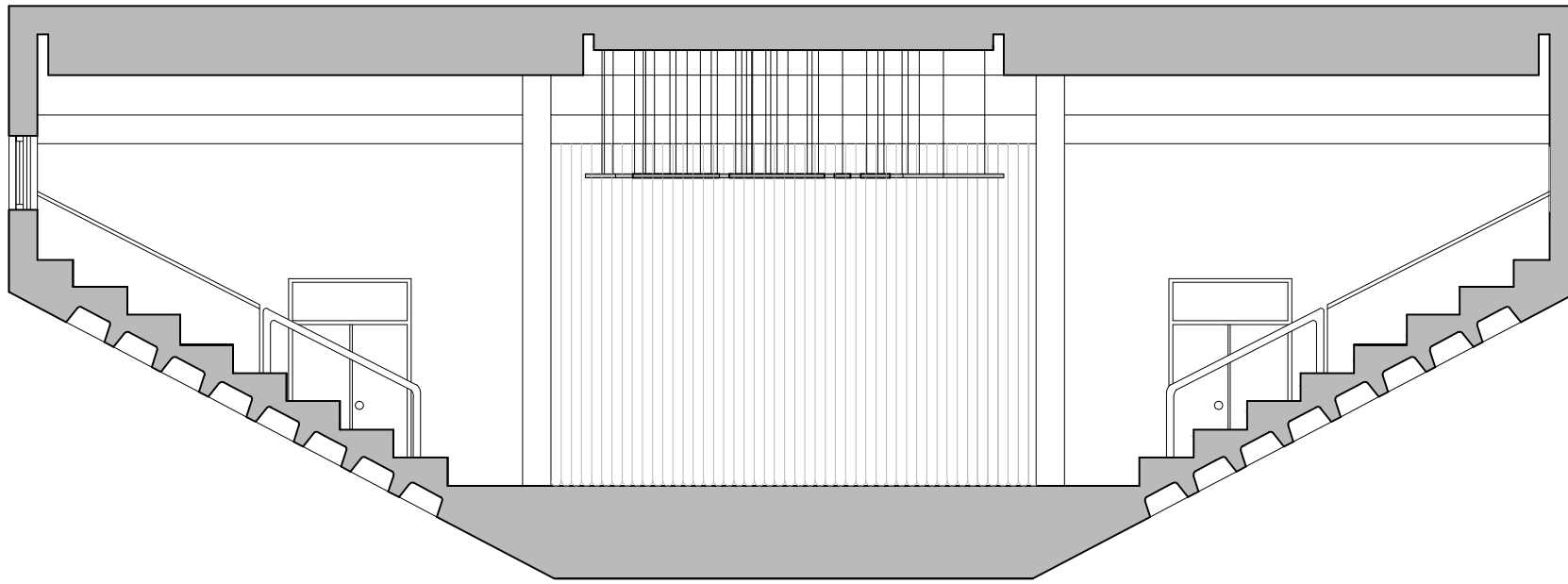
TIPOS DE TECHO.	
ZONA 1	FALSO TECHO CONTINUO
ZONA 2	FALSO TECHO REGISTRABLE
ZONA 3	FALSO TECHO CONTINUO
ZONA 4	FORJADO BIDIRECCIONAL
ZONA 5	FORJADO BIDIRECCIONAL
ZONA 6	NUBES ACÚSTICAS



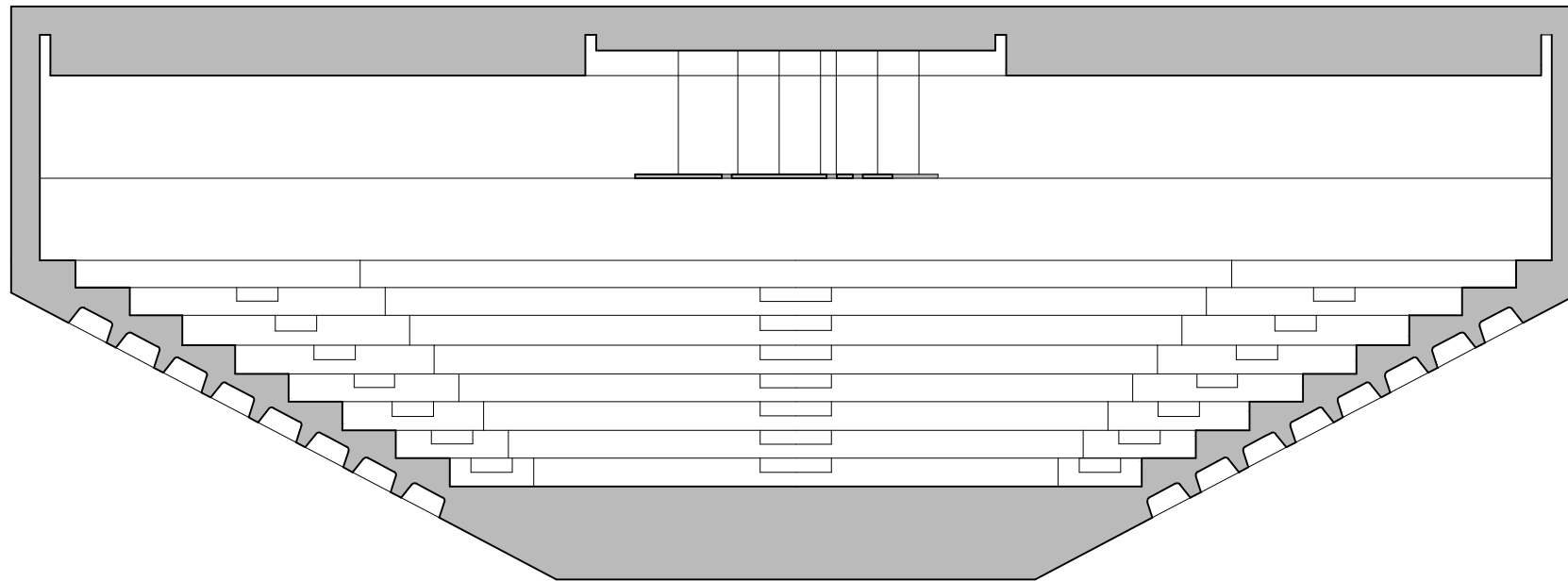
ELEMENTOS DE FIJACIÓN DE LAS NUBES ACÚSTICAS CON EL TECHO.



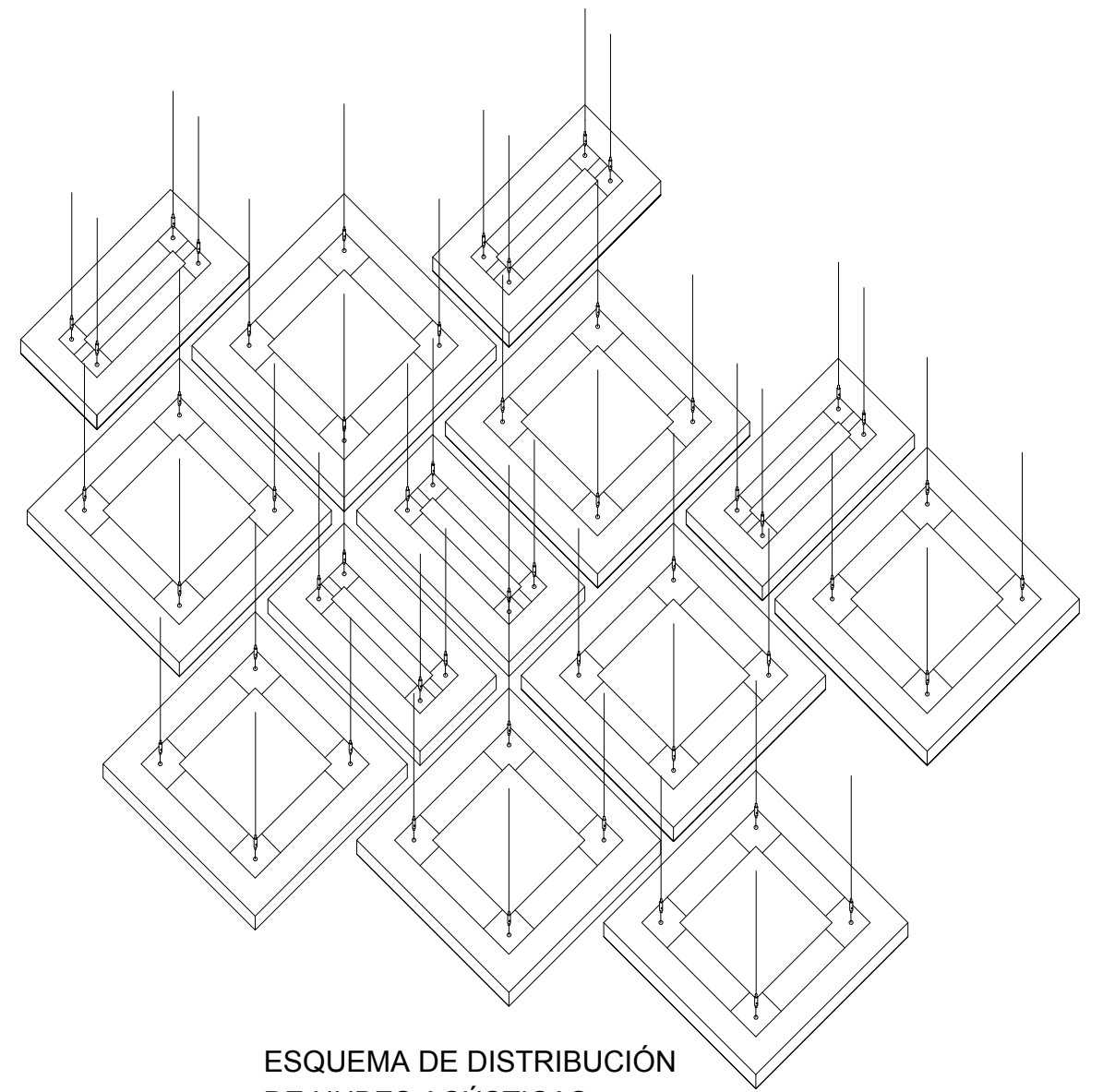
UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.



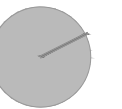
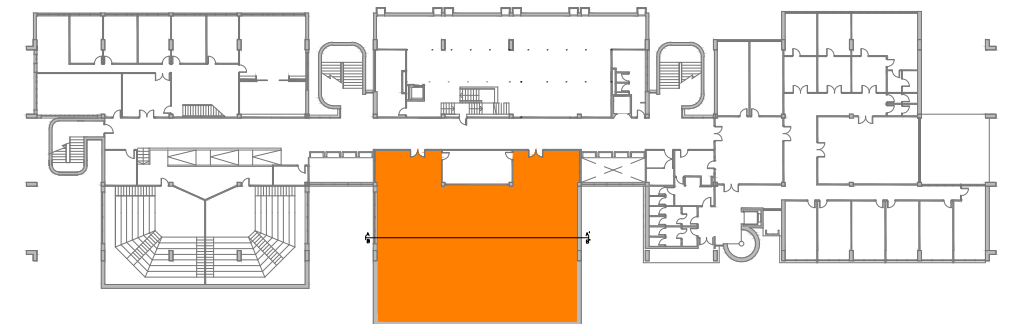
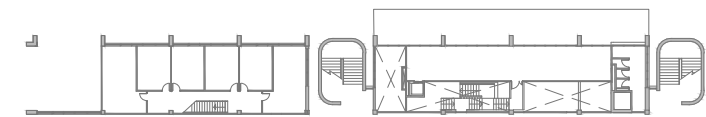
SECCIÓN AA'



SECCIÓN BB'



ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE NUBES ACÚSTICAS.



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

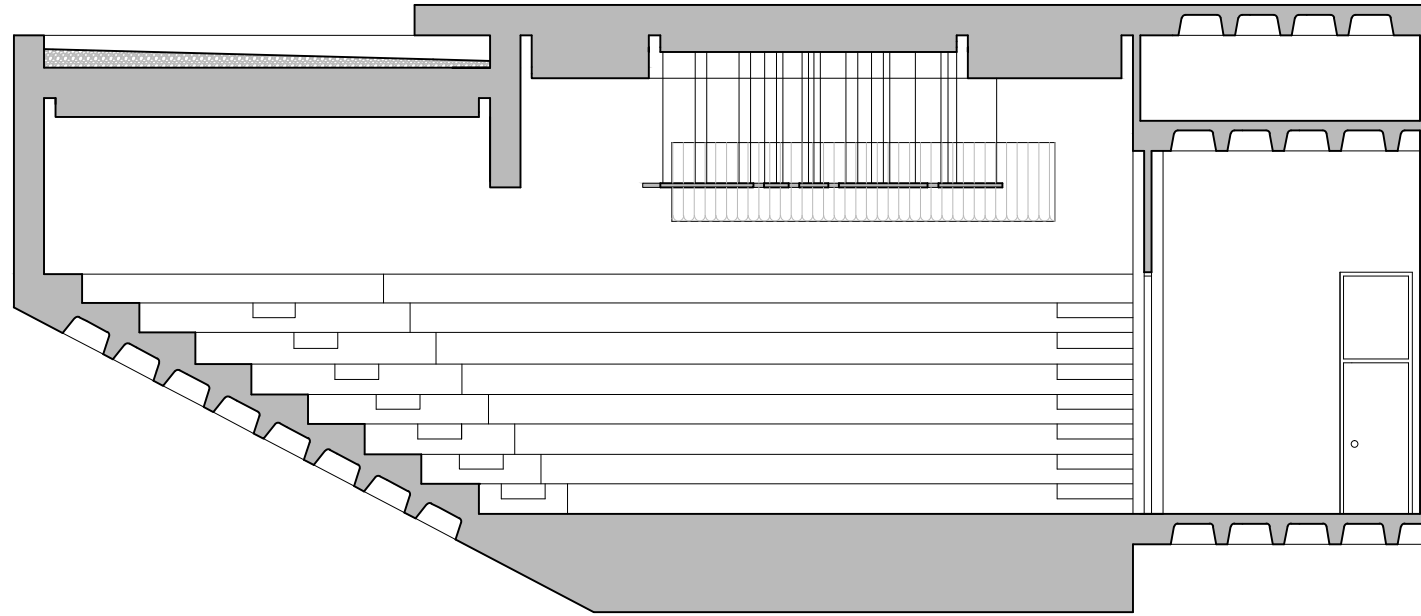
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

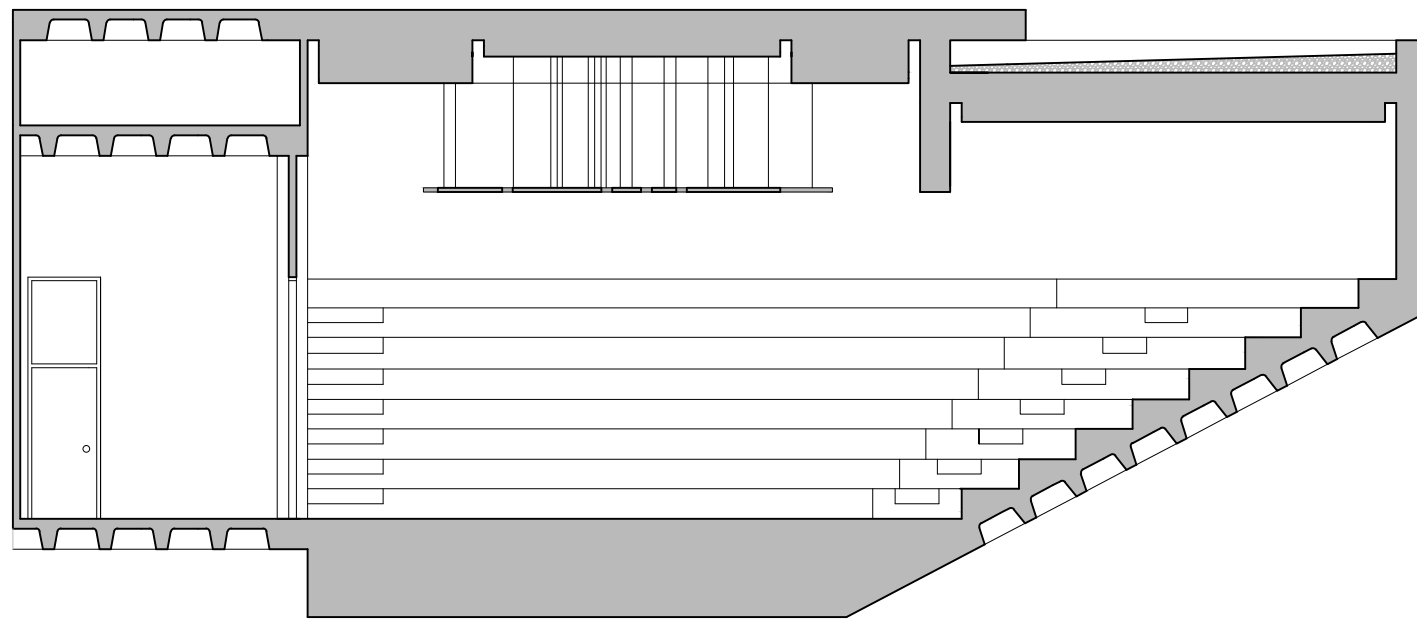
PLANO: Secciones Estado Reformado.

ESCALA: 1/100

A12



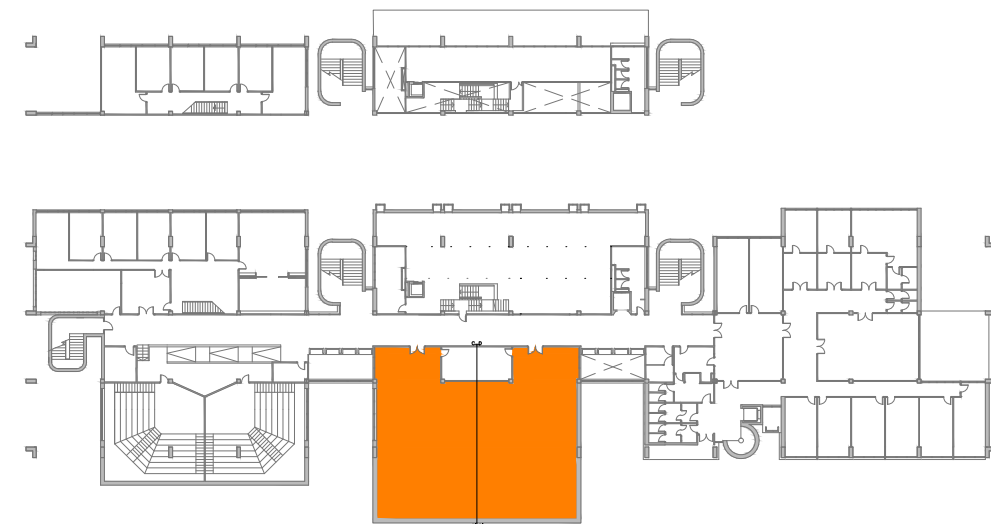
SECCIÓN CC'

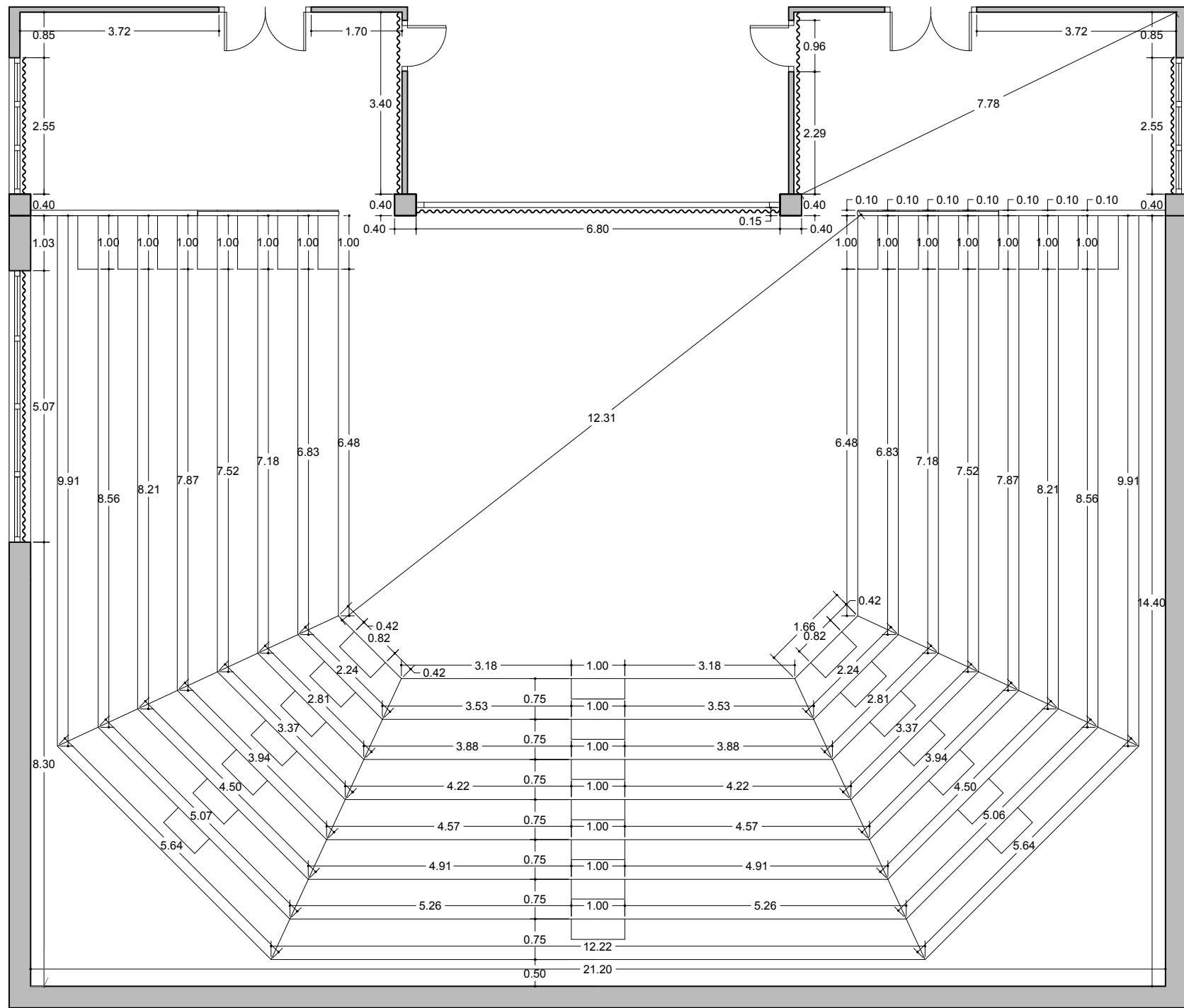


SECCIÓN DD'

SUPERFICIES AULA MAGNA. (m²).

ELEMENTOS HORIZONTALES.			
SUELO COTA +3.50 m.	136.39	CORTINAS ACÚSTICAS.	65.28
SUELO COTA +3.90 m.	20.70	PARED.	32.64
GRADA COTA +4.30 m.	22.37	CANTO DE FORJADO.	2.72
GRADA COTA +4.70 m.	24.30	PILARES 3 Y 4.	8.44
GRADA COTA +5.10 m.	26.22	ALZADO NE.	
GRADA COTA +5.50 m.	27.76	PARED.	13.28
GRADA COTA +5.90 m.	29.03	PUERTA 1.	3.19
GRADA COTA +6.28 m.	32.39	CORTINAS ACÚSTICAS.	32.94
GRADA COTA +6.67 m.	40.45	ALZADO SO.	
FALSO TECHO CONTINUO.	272.92	CORTINAS ACÚSTICAS.	13.28
FALSO TECHO REGISTRABLE.	24.90	PARED.	32.94
FORJADO BIDIRECCIONAL.	53.99	PUERTA 2.	3.19
VIGA DE CANTO.	8.48	ALZADO NO derecho.	
NUBES ACÚSTICAS.	30.24	PARED.	33.51
ELEMENTOS VERTICALES.			
ALZADO NE.		CANTO DE FORJADO.	2.72
PARED.	44.12	PUERTA 3.	4.65
VENTANA.	12.24	ALZADO NO izquierdo.	
PILAR 1.	2.88	PARED.	33.51
CORTINAS ACÚSTICAS.	24.48	CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO SO.		PUERTA 4.	4.65
PARED.	38.85	GRADA COTA +3.90 m.	10.32
VENTANA 2.	12.24	GRADA COTA +4.30 m.	11.36
VENTANA 3.	5.27	GRADA COTA +4.70 m.	12.37
PILAR 2.	2.88	GRADA COTA +5.10 m.	13.37
CORTINA ACÚSTICAS.	24.48	GRADA COTA +5.50 m.	14.30
CORTINAS ACÚSTICAS.	10.54	GRADA COTA +5.90 m.	15.30
ALZADO SE.		GRADA COTA +6.28 m.	16.31
PARED.	49.40	GRADA COTA +6.67 m.	17.33
ALZADO NO central.		ESCALERAS GRADAS.	15.00
PARED.	3.81	VIGA DE CANTO.	65.72
		PAREDES FALSO TECHO REGISTRABLE.	5.38



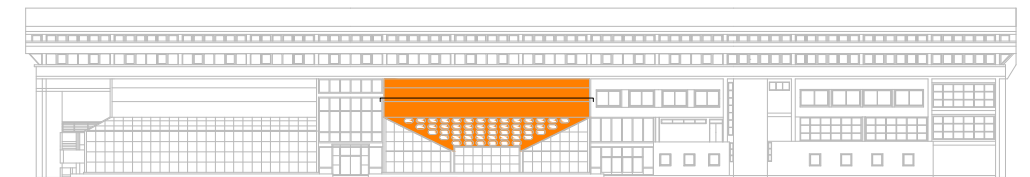
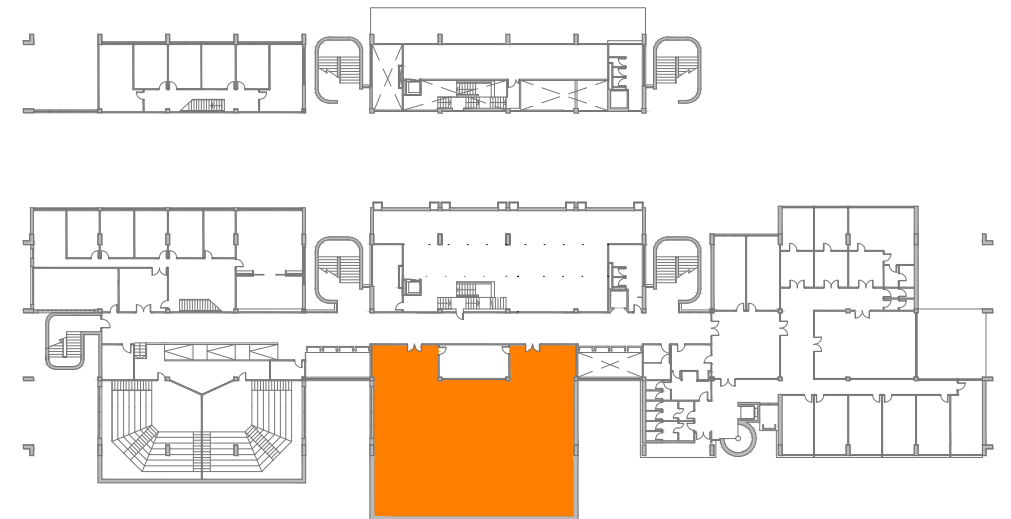


	SUPERFICIE CONSTRUÍDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



COTAS PLANTA.

ZONA CONFERENCIANTE.	⬆ +3.50m	GRADA 5.	⬆ +5.50m
GRADA 1.	⬆ +3.90m	GRADA 6.	⬆ +5.90m
GRADA 2.	⬆ +4.30m	GRADA 7.	⬆ +6.30m
GRADA 3.	⬆ +4.70m	GRADA 8.	⬆ +6.67m
GRADA 4.	⬆ +5.10m		



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

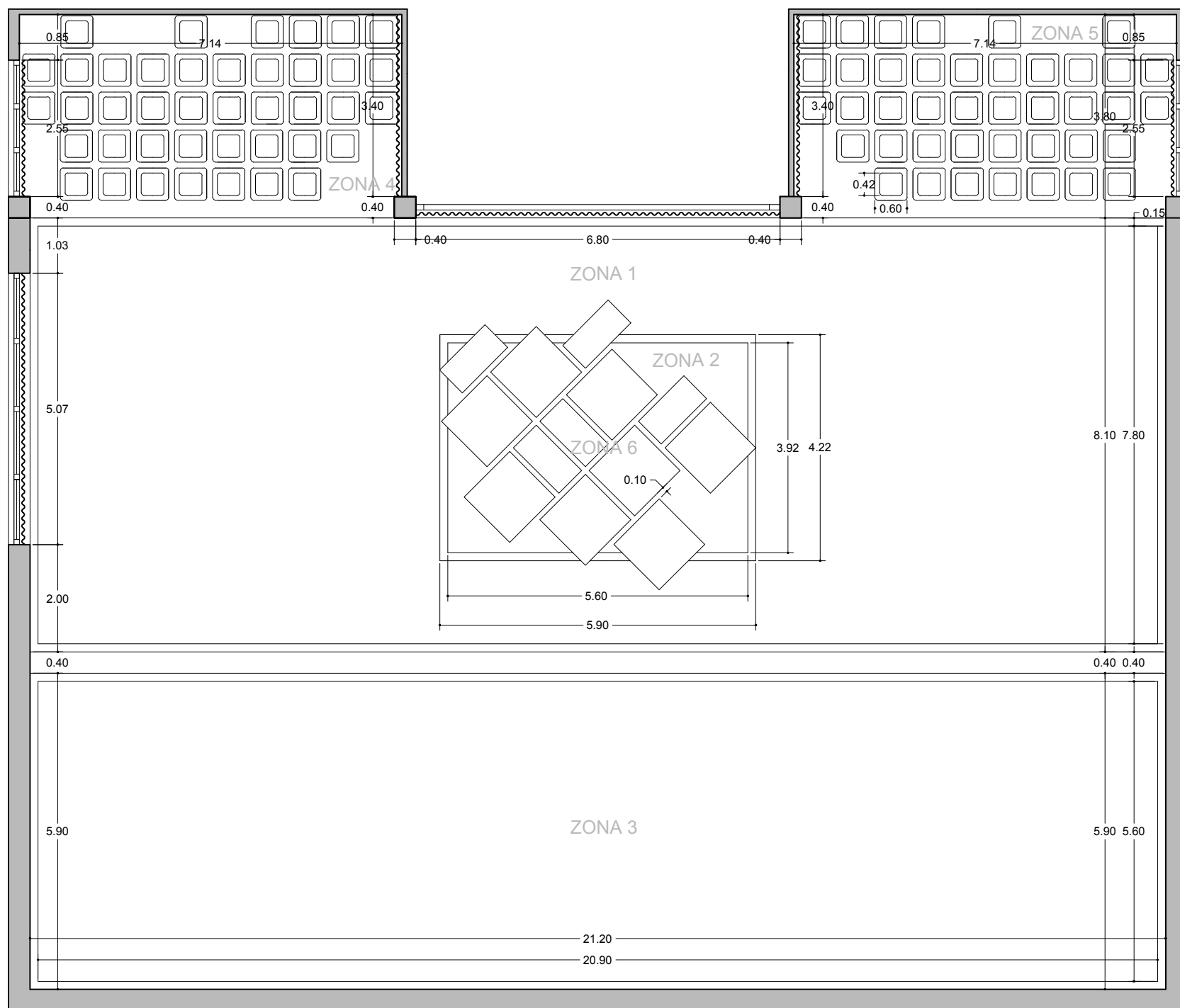
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Planta de Cotas.

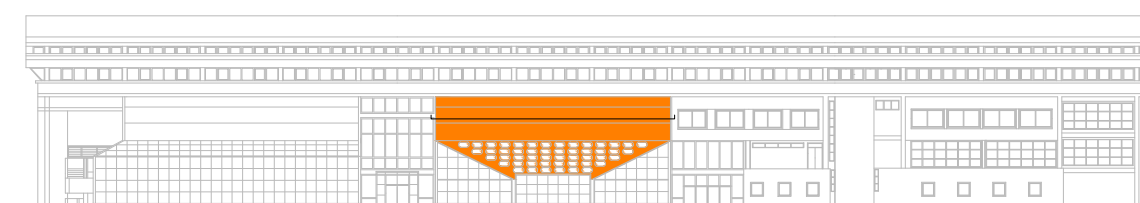
ESCALA: 1/100

A14



COTAS PLANTA TECHO.	
ZONA 1.	⊕ +9.26m
ZONA 2.	⊕ +9.61m
ZONA 3.	⊕ +9.21m
ZONA 4.	⊕ +8.30m
ZONA 5.	⊕ +8.30m
ZONA 6.	⊕ +7.80m

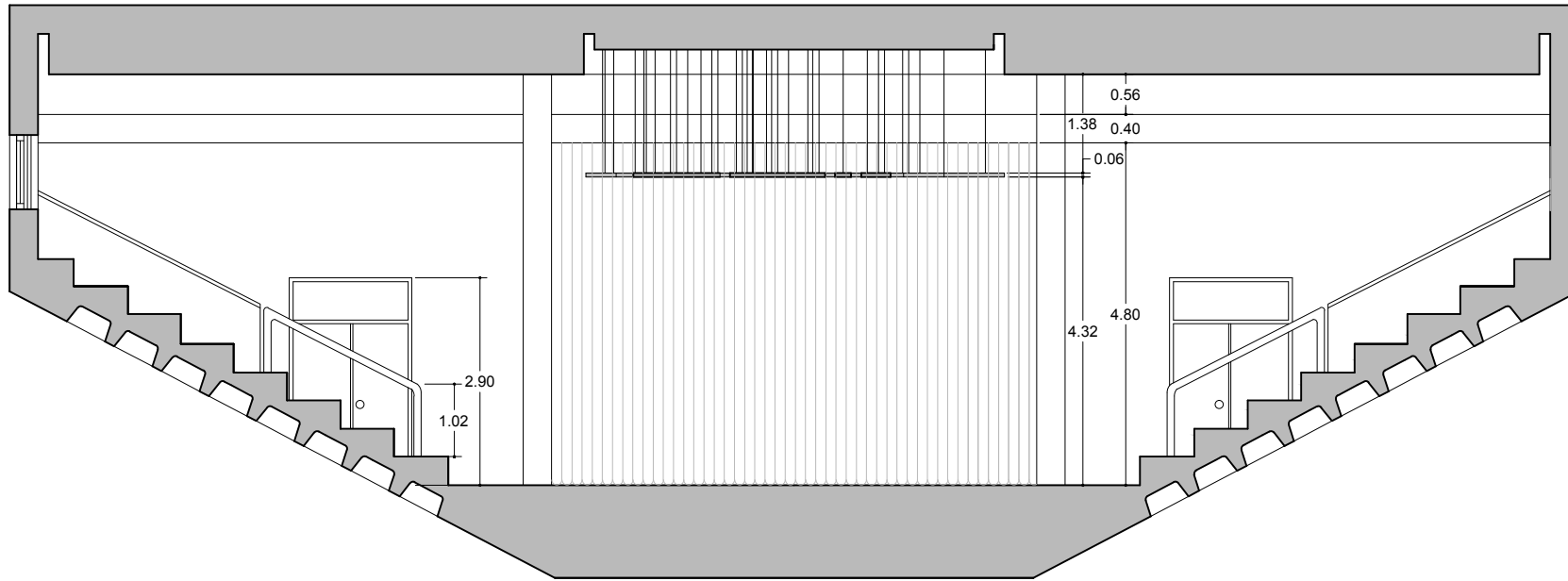
TIPOS DE TECHO.	
ZONA 1.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 2.	FALSO TECHO REGISTRABLE.
ZONA 3.	FALSO TECHO CONTINUO.
ZONA 4.	FORJADO BIDIRECCIONAL.
ZONA 5.	FORJADO BIDIRECCIONAL.
ZONA 6.	NUBES ACÚSTICAS.



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²).	SUPERFICIE ÚTIL (m ²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60

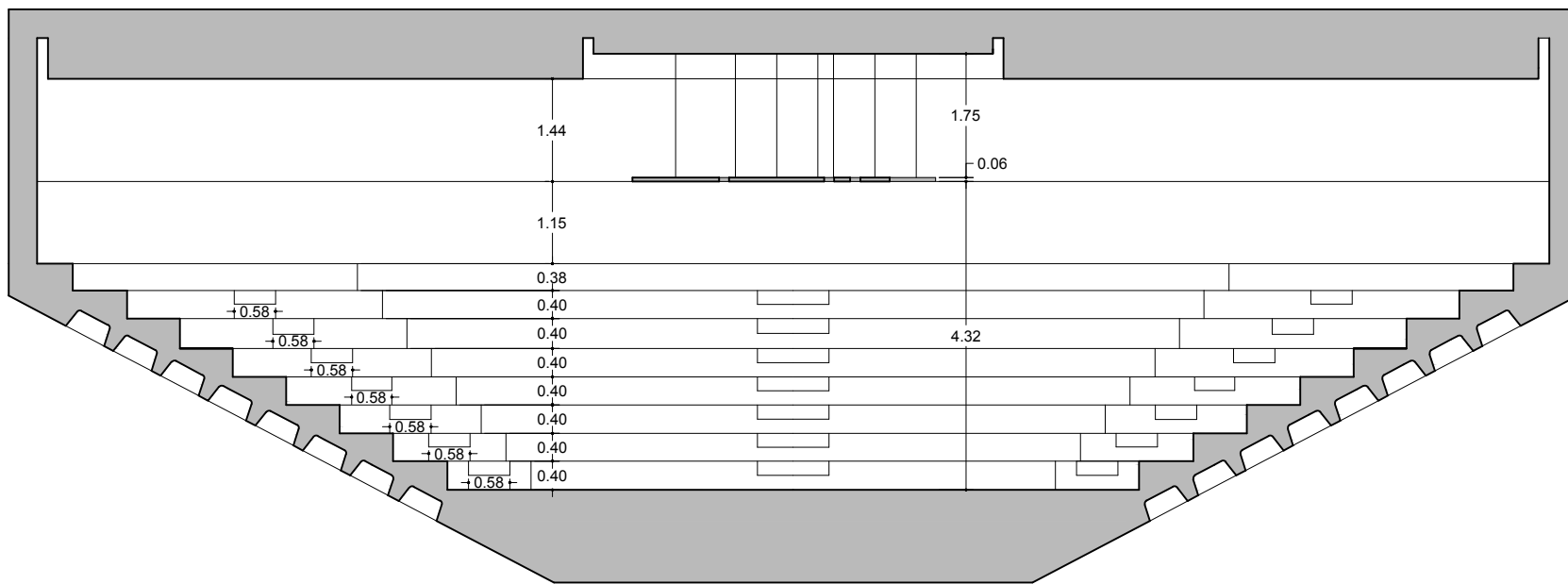




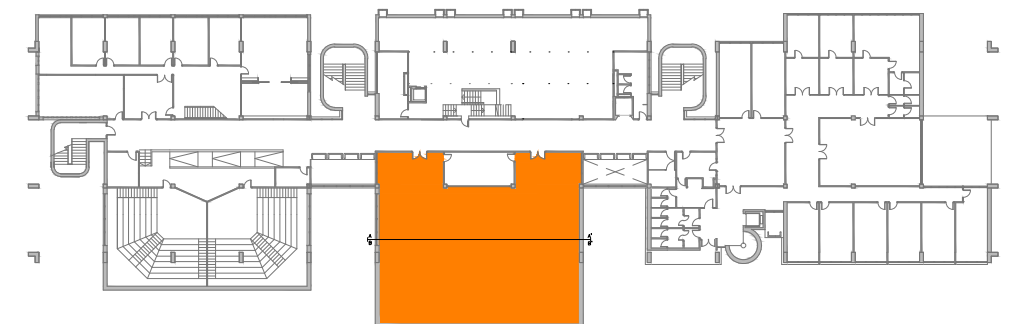
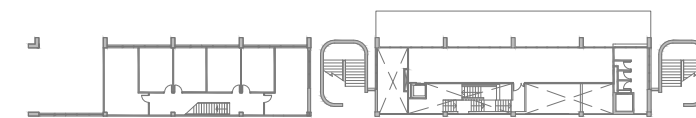
SECCIÓN AA'



FOTOGRAFÍAS DEL AULA MAGNA DE LA EUAT.



SECCIÓN BB'



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

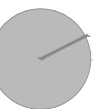
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

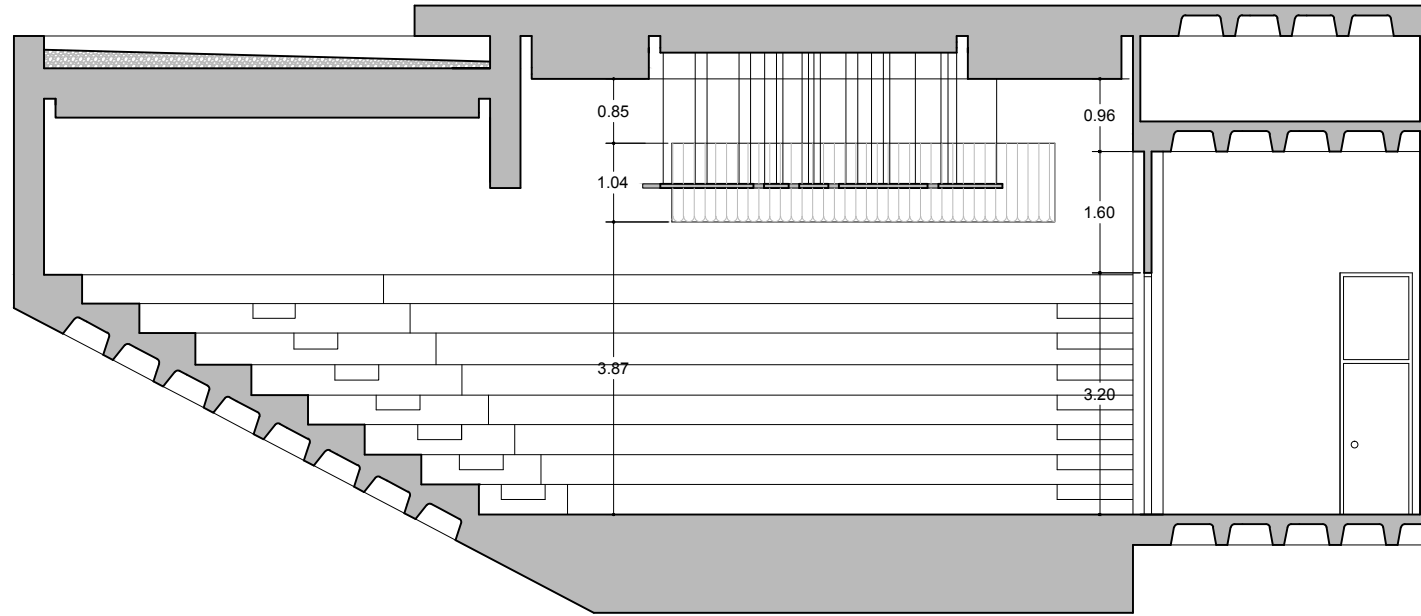
SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

PLANO: Secciones Acotadas

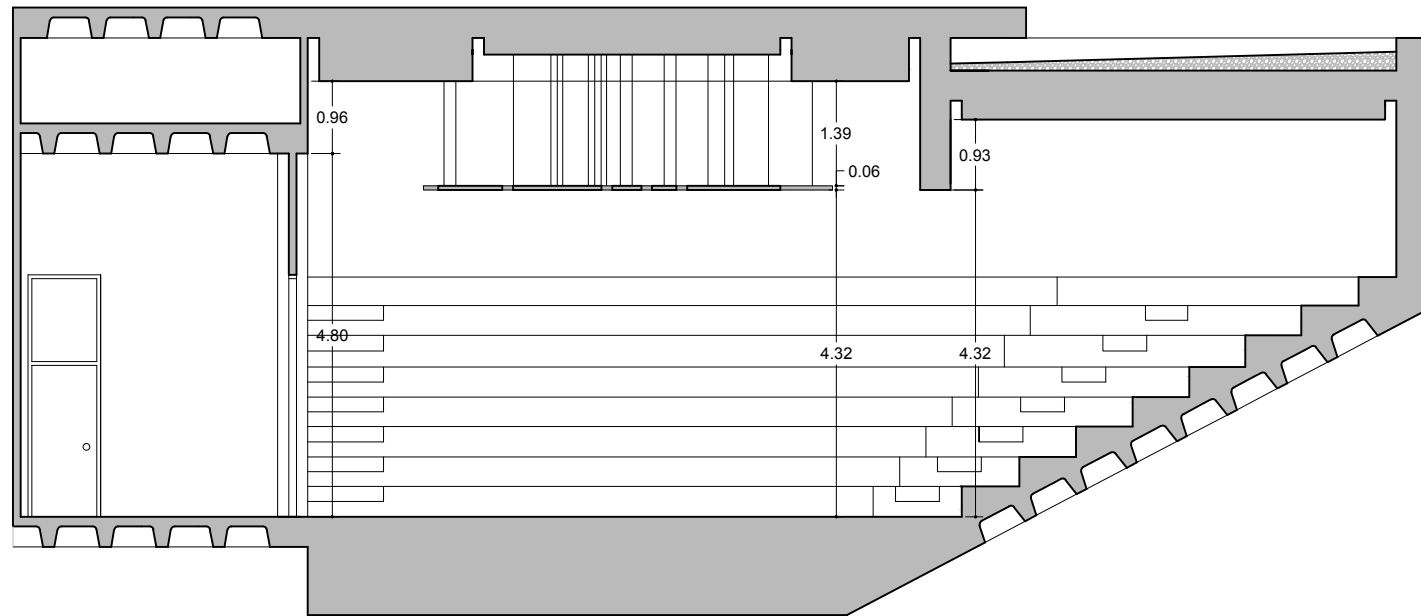
ESCALA: 1/100

A16





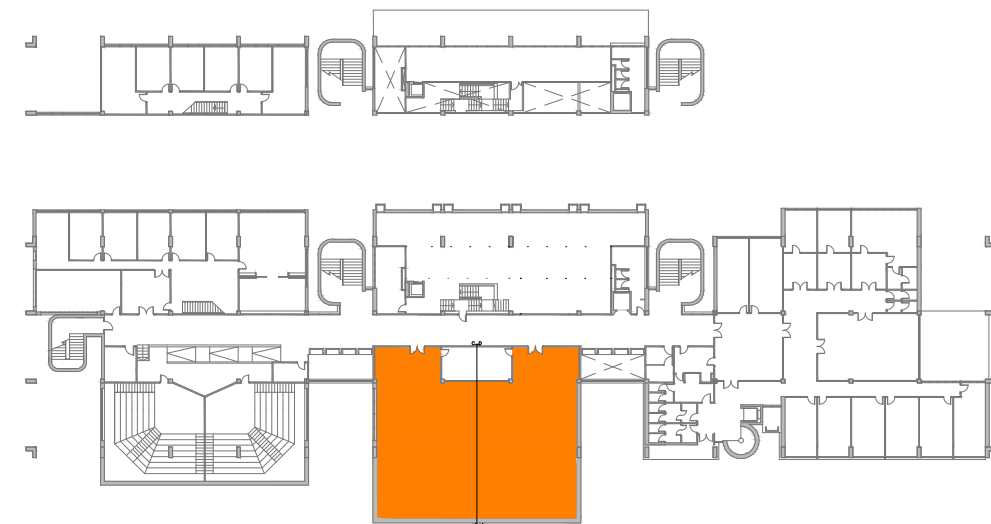
SECCIÓN CC'



SECCIÓN DD'

SUPERFICIES AULA MAGNA. (m²).

ELEMENTOS HORIZONTALES.			
SUELO COTA +3.50 m.	136.39	CORTINAS ACÚSTICAS.	65.28
SUELO COTA +3.90 m.	20.70	PARED.	32.64
GRADA COTA +4.30 m.	22.37	CANTO DE FORJADO.	2.72
GRADA COTA +4.70 m.	24.30	PILARES 3 Y 4.	8.44
GRADA COTA +5.10 m.	26.22	ALZADO NE.	
GRADA COTA +5.50 m.	27.76	PARED.	13.28
GRADA COTA +5.90 m.	29.03	PUERTA 1.	3.19
GRADA COTA +6.28 m.	32.39	CORTINAS ACÚSTICAS.	32.94
GRADA COTA +6.67 m.	40.45	ALZADO SO.	
FALSO TECHO CONTINUO.	272.92	CORTINAS ACÚSTICAS.	13.28
FALSO TECHO REGISTRABLE.	24.90	PARED.	32.94
FORJADO BIDIRECCIONAL.	53.99	PUERTA 2.	3.19
VIGA DE CANTO.	8.48	ALZADO NO derecho.	
NUBES ACÚSTICAS.	30.24	PARED.	33.51
ELEMENTOS VERTICALES.			
ALZADO NE.		CANTO DE FORJADO.	2.72
PARED.	44.12	PUERTA 3.	4.65
VENTANA.	12.24	ALZADO NO izquierdo.	
PILAR 1.	2.88	PARED.	33.51
CORTINAS ACÚSTICAS.	24.48	CANTO DE FORJADO.	2.72
ALZADO SO.		PUERTA 4.	4.65
PARED.	38.85	GRADA COTA +3.90 m.	10.32
VENTANA 2.	12.24	GRADA COTA +4.30 m.	11.36
VENTANA 3.	5.27	GRADA COTA +4.70 m.	12.37
PILAR 2.	2.88	GRADA COTA +5.10 m.	13.37
CORTINA ACÚSTICAS.	24.48	GRADA COTA +5.50 m.	14.30
CORTINAS ACÚSTICAS.	10.54	GRADA COTA +5.90 m.	15.30
ALZADO SE.		GRADA COTA +6.28 m.	16.31
PARED.	49.40	GRADA COTA +6.67 m.	17.33
ALZADO NO central.		ESCALERAS GRADAS.	15.00
PARED.	3.81	VIGA DE CANTO.	65.72
		PAREDES FALSO TECHO REGISTRABLE.	5.38



TFG

Estudio de Acondicionamiento Acústico del Aula Magna de la EU de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña.

AUTOR: Manuel Bujeiro Lariño.

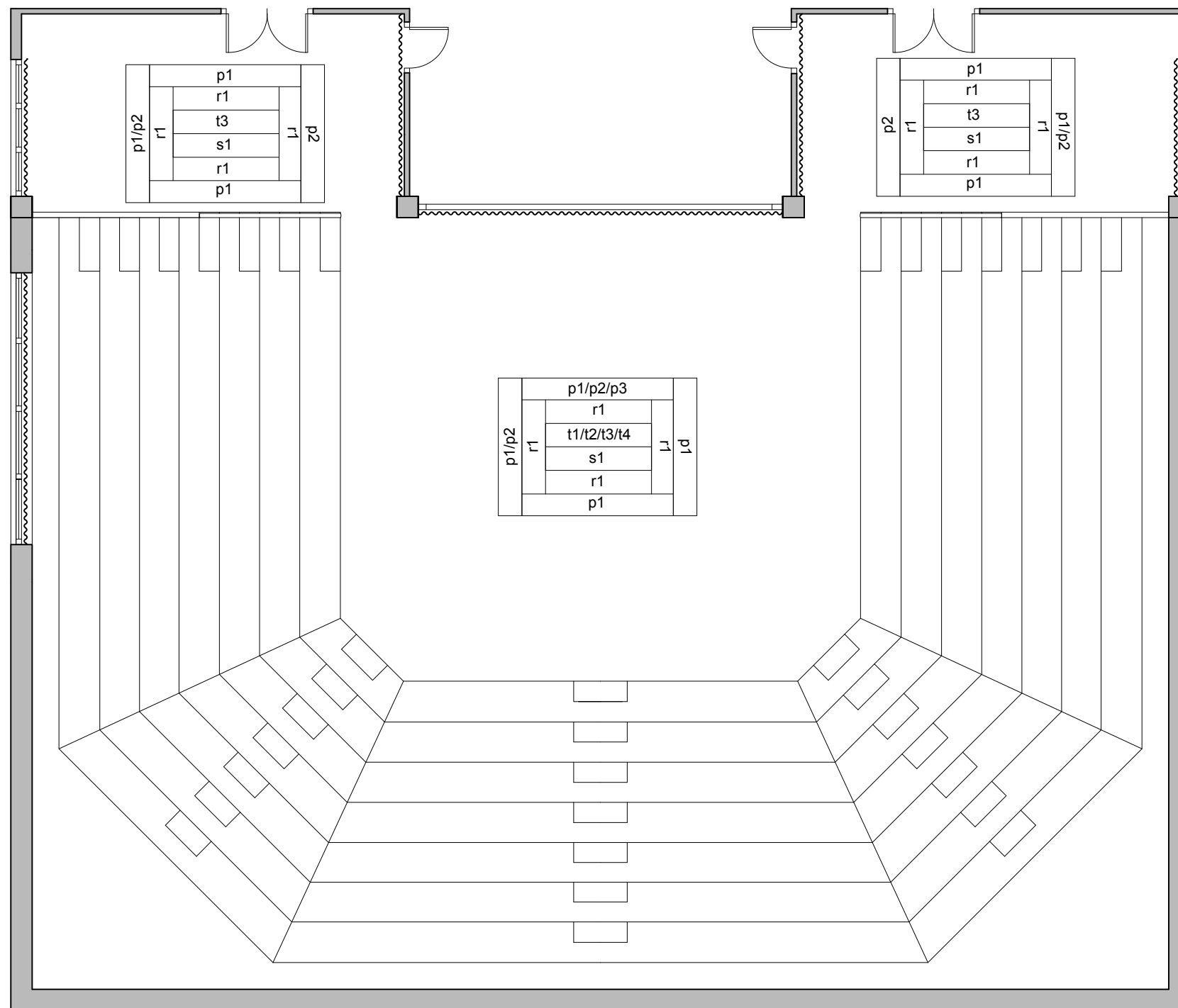
TUTOR: Pedro Fernando Nogueira López.

SITUACIÓN: Rúa da Fraga, A Coruña.

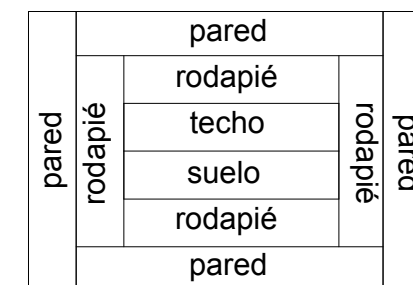
PLANO: Secciones Acotadas.

ESCALA: 1/100

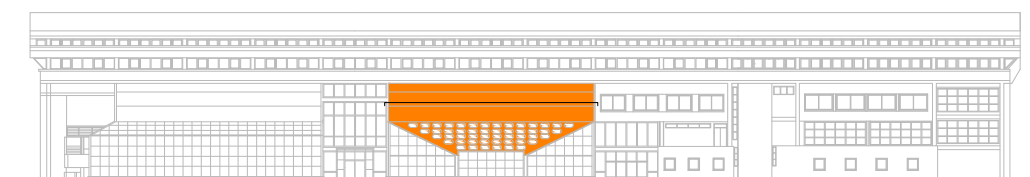
A17



- Sistema de acabados.**
- solado**
s1 Pavimento de linóleo, de 2,5 mm de espesor, con tratamiento antiestático, acabado satinado rojo, en forma de losetas, instalado sobre base soporte y fijado con adhesivo de contacto.
 - techo**
t1 Nube acústica suspendido Strato 2, contando como elemento principal la espuma absorbente AM microporosa con velo microporoso de acabado color Gris béton MR500. Reacción al fuego B-s2, d0. Ensayos de producto según UNE-EN ISO 354:2004 .
 - t2 Falso techo continuo liso suspendido , formado por placas de yeso laminado.
 - t3 Falso techo registrable aséptico, formado por placa rugosa de yeso laminado, con periferia vista.
 - t4 Hormigón visto
 - paramentos verticales**
p1 Pintura color blanco, acabado gotelé con gota fina, aplicada verticales interiores de mortero.
 - p2 Cortina "Morpacur Cavallo Plus", color 0059.
 - p3 Hormigón visto
 - rodapié**
r1 Rodapié flexible de PVC,color gris, fijado con adhesivo.
 - Carpintería exterior.**
Los ventanales son de aluminio y vidrio.
 - Carpintería interior.**
Puertas de paso ciegas, de tablero de fibras, con alma alveolar de papel kraft; precerco de pino país,con herrajes de colgar y de cierre.



	SUPERFICIE CONSTRUÍDA (m²).	SUPERFICIE ÚTIL (m²).
AULA MAGNA.	385.46	360.60



UBICACIÓN DEL AULA MAGNA CON RESPECTO A LA FACHADA PRINCIPAL DE LA EUAT.

TABLAS DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS OBTENIDOS CON “ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS”, EASE.





SPL Directo	S1M1
125 Hz	78,82
250 Hz	78,81
500 Hz	78,80
1000 Hz	78,78
2000 Hz	78,75
4000 Hz	78,62
8000 Hz	78,12

Tabla 41. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 78. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S1M2
125 Hz	75,65
250 Hz	75,64
500 Hz	75,62
1000 Hz	75,60
2000 Hz	75,55
4000 Hz	75,36
8000 Hz	74,64

Tabla 42. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 79. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S1M3
125 Hz	73,32
250 Hz	73,31
500 Hz	73,29
1000 Hz	73,26
2000 Hz	73,19
4000 Hz	72,95
8000 Hz	72,01

Tabla 43. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 80. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



SPL Directo	S1M4
125 Hz	76,31
250 Hz	76,3
500 Hz	76,29
1000 Hz	76,27
2000 Hz	76,22
4000 Hz	76,05
8000 Hz	75,38

Tabla 44. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S1M5
125 Hz	77,61
250 Hz	77,60
500 Hz	77,59
1000 Hz	77,57
2000 Hz	77,53
4000 Hz	77,38
8000 Hz	76,81

Tabla 45. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S1M6
125 Hz	78,42
250 Hz	78,41
500 Hz	78,40
1000 Hz	78,38
2000 Hz	78,34
4000 Hz	78,21
8000 Hz	77,68

Tabla 46. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 81. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 82. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

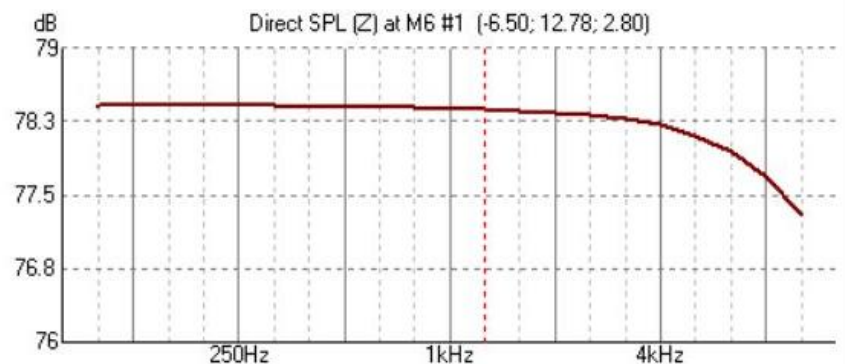


Figura 83. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



SPL Directo	S1M7
125 Hz	80,49
250 Hz	80,49
500 Hz	80,48
1000 Hz	80,46
2000 Hz	80,43
4000 Hz	80,33
8000 Hz	79,91

Tabla 47. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 84. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S1M8
125 Hz	83,65
250 Hz	83,65
500 Hz	83,64
1000 Hz	83,63
2000 Hz	83,61
4000 Hz	83,54
8000 Hz	83,25

Tabla 48. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

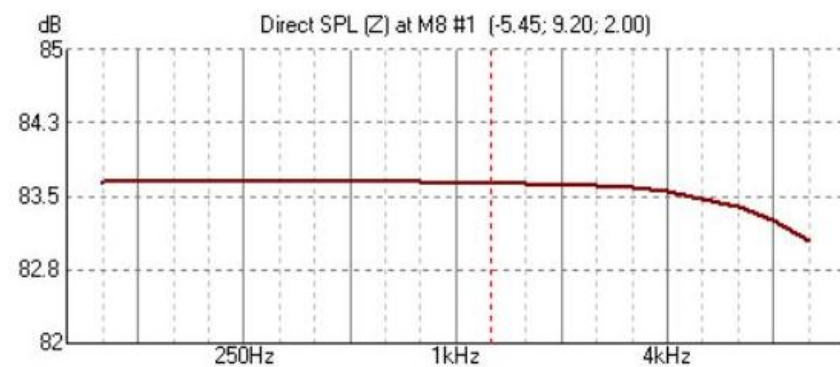


Figura 85. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Directo	S2M1
125 Hz	86,49
250 Hz	86,49
500 Hz	86,49
1000 Hz	86,48
2000 Hz	86,47
4000 Hz	86,41
8000 Hz	86,21

Tabla 49. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 86. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Directo	S2M2
125 Hz	83,92
250 Hz	83,92
500 Hz	83,91
1000 Hz	83,90
2000 Hz	83,88
4000 Hz	83,81
8000 Hz	83,53

Tabla 50. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 87. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Directo	S2M3
125 Hz	78,56
250 Hz	78,55
500 Hz	78,54
1000 Hz	78,52
2000 Hz	78,49
4000 Hz	78,35
8000 Hz	77,84

Tabla 51. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 88. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Directo	S2M4
125 Hz	76,31
250 Hz	76,30
500 Hz	76,29
1000 Hz	76,27
2000 Hz	76,22
4000 Hz	76,05
8000 Hz	75,38

Tabla 52. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 89. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Directo	S2M5
125 Hz	77,61
250 Hz	77,60
500 Hz	77,59
1000 Hz	77,57
2000 Hz	77,53
4000 Hz	77,38
8000 Hz	76,81

Tabla 53. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Directo	S2M6
125 Hz	76,17
250 Hz	76,16
500 Hz	76,14
1000 Hz	76,12
2000 Hz	76,07
4000 Hz	75,90
8000 Hz	75,22

Tabla 54. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Directo	S2M7
125 Hz	74,39
250 Hz	74,38
500 Hz	74,36
1000 Hz	74,33
2000 Hz	74,28
4000 Hz	74,06
8000 Hz	73,23

Tabla 55. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 90. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 91. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 92. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Directo	S2M8
125 Hz	77,98
250 Hz	77,98
500 Hz	77,96
1000 Hz	77,94
2000 Hz	77,91
4000 Hz	77,76
8000 Hz	77,21

Tabla 56. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 93. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M1
125 Hz	81,54
250 Hz	81,53
500 Hz	81,53
1000 Hz	81,51
2000 Hz	81,49
4000 Hz	81,39
8000 Hz	81,03

Tabla 57. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 94. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M2
125 Hz	78,66
250 Hz	78,65
500 Hz	78,64
1000 Hz	78,62
2000 Hz	78,58
4000 Hz	78,45
8000 Hz	77,94

Tabla 58. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 95. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



SPL Directo	S3M3
125 Hz	75,65
250 Hz	75,64
500 Hz	75,62
1000 Hz	75,6
2000 Hz	75,55
4000 Hz	75,36
8000 Hz	74,64

Tabla 59. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 96. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M4
125 Hz	78,89
250 Hz	78,88
500 Hz	78,87
1000 Hz	78,85
2000 Hz	78,82
4000 Hz	78,69
8000 Hz	78,19

Tabla 60. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 97. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M5
125 Hz	81,61
250 Hz	81,61
500 Hz	81,60
1000 Hz	81,59
2000 Hz	81,56
4000 Hz	81,47
8000 Hz	81,11

Tabla 61. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 98. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



SPL Directo	S3M6
125 Hz	78,90
250 Hz	78,89
500 Hz	78,88
1000 Hz	78,87
2000 Hz	78,83
4000 Hz	78,70
8000 Hz	78,21

Tabla 62. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 99. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M7
125 Hz	77,27
250 Hz	77,26
500 Hz	77,25
1000 Hz	77,23
2000 Hz	77,19
4000 Hz	77,03
8000 Hz	76,43

Tabla 63. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 100. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Directo	S3M8
125 Hz	82,67
250 Hz	82,67
500 Hz	82,66
1000 Hz	82,65
2000 Hz	82,63
4000 Hz	82,54
8000 Hz	82,22

Tabla 64. Cálculo del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 101. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



SPL Total	S1M1
125 Hz	95,13
250 Hz	95,13
500 Hz	95,11
1000 Hz	94,04
2000 Hz	94,48
4000 Hz	93,53
8000 Hz	91,04

Tabla 65. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 102. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S1M2
125 Hz	95,08
250 Hz	95,08
500 Hz	95,06
1000 Hz	93,97
2000 Hz	94,42
4000 Hz	93,45
8000 Hz	90,91

Tabla 66. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 103. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S1M3
125 Hz	95,06
250 Hz	95,05
500 Hz	95,03
1000 Hz	93,94
2000 Hz	94,40
4000 Hz	93,42
8000 Hz	90,87

Tabla 67. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

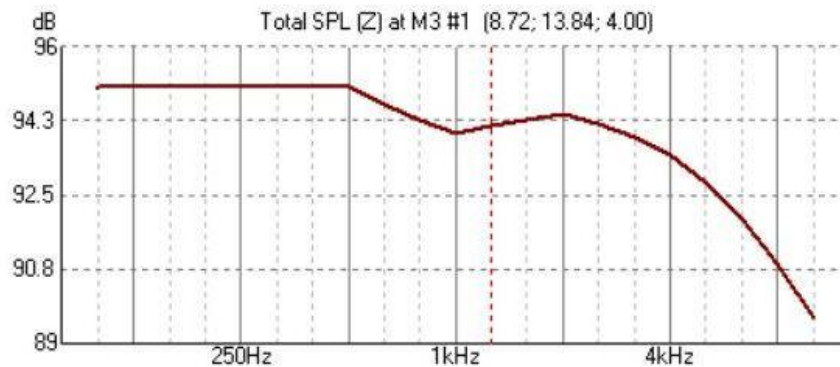


Figura 104. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



SPL Total	S1M4
125 Hz	95,09
250 Hz	95,08
500 Hz	95,06
1000 Hz	93,98
2000 Hz	94,43
4000 Hz	93,46
8000 Hz	90,93

Tabla 68. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

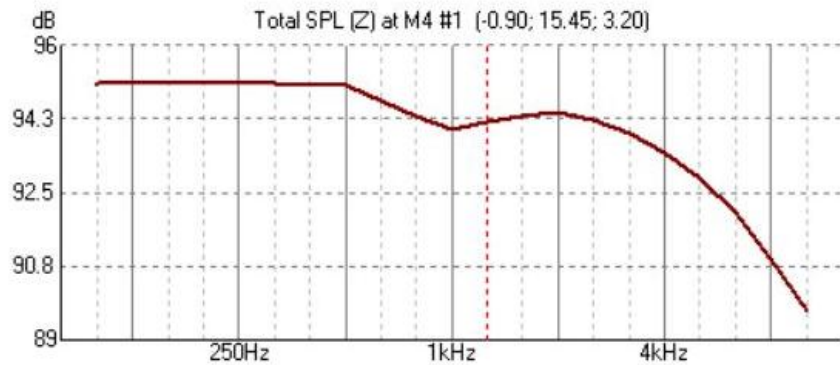


Figura 105. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S1M5
125 Hz	95,11
250 Hz	95,10
500 Hz	95,08
1000 Hz	94,00
2000 Hz	94,45
4000 Hz	93,49
8000 Hz	90,98

Tabla 69. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 106. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S1M6
125 Hz	95,12
250 Hz	95,12
500 Hz	95,10
1000 Hz	94,02
2000 Hz	94,47
4000 Hz	93,51
8000 Hz	91,02

Tabla 70. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 107. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



SPL Total	S1M7
125 Hz	95,18
250 Hz	95,18
500 Hz	95,16
1000 Hz	94,10
2000 Hz	94,54
4000 Hz	93,59
8000 Hz	91,15

Tabla 71. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

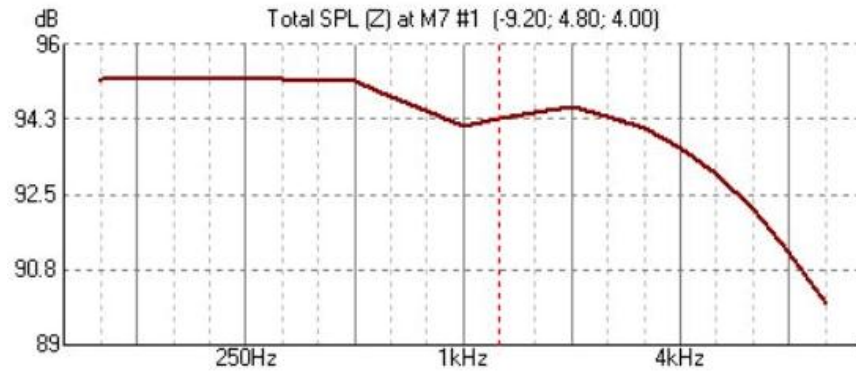


Figura 108. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S1M8
125 Hz	95,34
250 Hz	95,33
500 Hz	95,31
1000 Hz	94,29
2000 Hz	94,72
4000 Hz	93,81
8000 Hz	91,51

Tabla 72. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 109. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

SPL Total	S2M1
125 Hz	95,60
250 Hz	95,60
500 Hz	95,58
1000 Hz	94,63
2000 Hz	95,02
4000 Hz	94,18
8000 Hz	92,10

Tabla 73. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 110. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Total	S2M2
125 Hz	95,35
250 Hz	95,35
500 Hz	95,33
1000 Hz	94,32
2000 Hz	94,74
4000 Hz	93,84
8000 Hz	91,56

Tabla 74. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

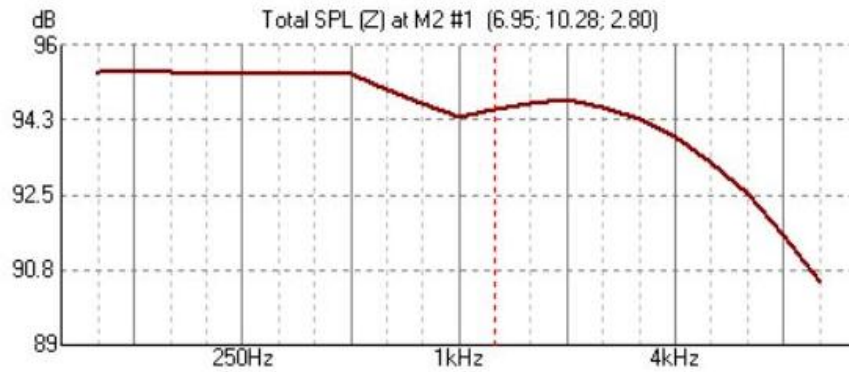


Figura 111. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Total	S2M3
125 Hz	95,13
250 Hz	95,12
500 Hz	95,10
1000 Hz	94,03
2000 Hz	94,48
4000 Hz	93,52
8000 Hz	91,02

Tabla 75. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

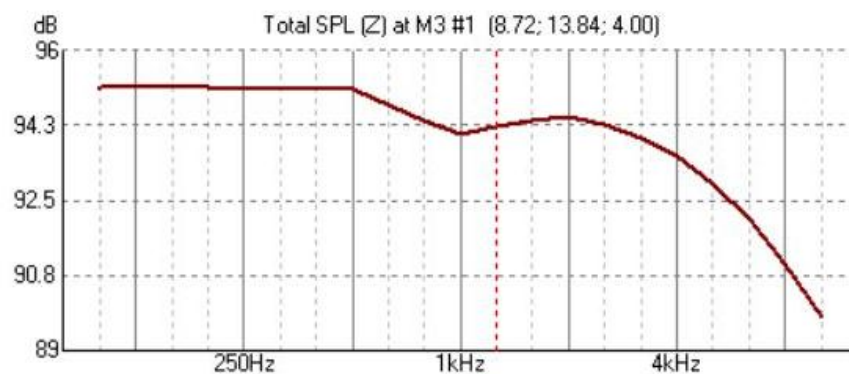


Figura 112. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Total	S2M4
125 Hz	95,12
250 Hz	95,12
500 Hz	95,10
1000 Hz	94,02
2000 Hz	94,47
4000 Hz	93,51
8000 Hz	91,01

Tabla 76. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 113. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Total	S2M5
125 Hz	95,26
250 Hz	95,26
500 Hz	95,24
1000 Hz	94,20
2000 Hz	94,63
4000 Hz	93,71
8000 Hz	91,35

Tabla 77. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 114. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Total	S2M6
125 Hz	95,09
250 Hz	95,08
500 Hz	95,06
1000 Hz	93,98
2000 Hz	94,43
4000 Hz	93,46
8000 Hz	90,93

Tabla 78. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

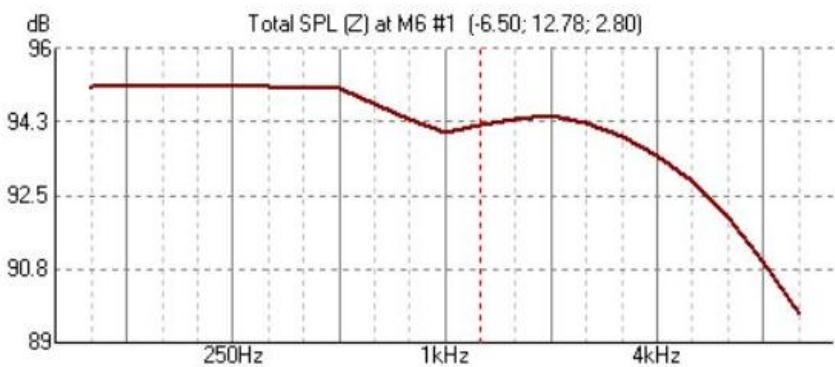


Figura 115. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Total	S2M7
125 Hz	95,07
250 Hz	95,06
500 Hz	95,04
1000 Hz	93,95
2000 Hz	94,41
4000 Hz	93,44
8000 Hz	90,89

Tabla 79. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



Figura 116. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



SPL Total	S2M8
125 Hz	95,12
250 Hz	95,11
500 Hz	95,09
1000 Hz	94,01
2000 Hz	94,46
4000 Hz	93,50
8000 Hz	91,00

Tabla 80. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

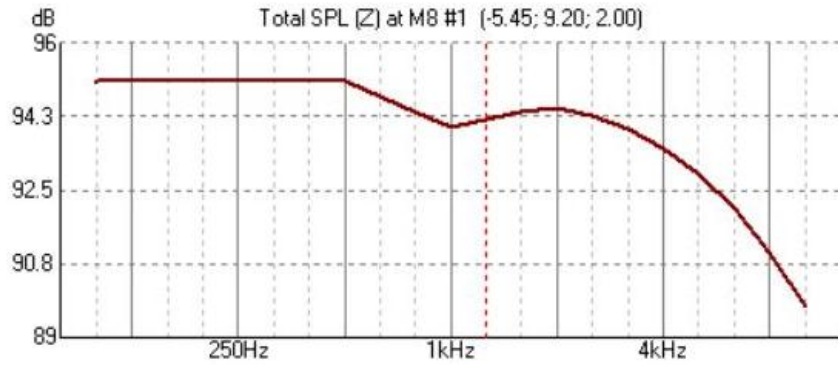


Figura 117. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M1
125 Hz	95,22
250 Hz	95,22
500 Hz	95,20
1000 Hz	94,15
2000 Hz	94,58
4000 Hz	93,65
8000 Hz	91,25

Tabla 81. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



Figura 118. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M2
125 Hz	95,13
250 Hz	95,12
500 Hz	95,10
1000 Hz	94,03
2000 Hz	94,48
4000 Hz	93,52
8000 Hz	91,03

Tabla 82. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

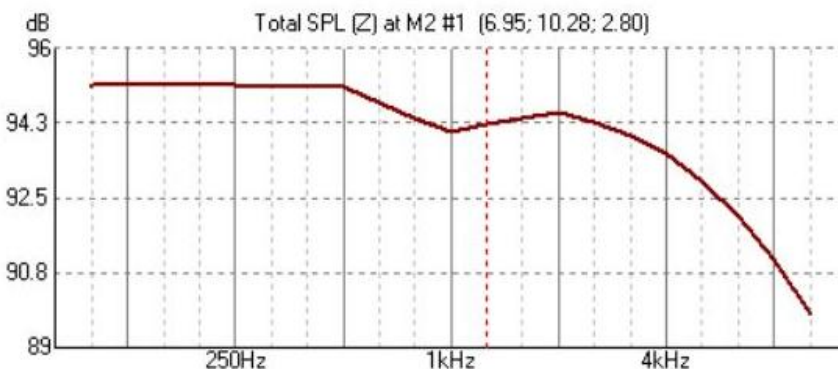


Figura 119. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



SPL Total	S3M3
125 Hz	95,08
250 Hz	95,08
500 Hz	95,06
1000 Hz	93,97
2000 Hz	94,42
4000 Hz	93,45
8000 Hz	90,91

Tabla 83. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

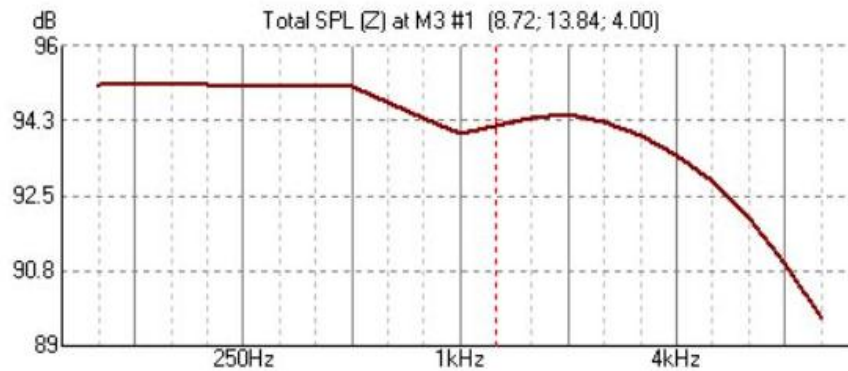


Figura 120. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M4
125 Hz	95,12
250 Hz	95,12
500 Hz	95,10
1000 Hz	94,02
2000 Hz	94,47
4000 Hz	93,51
8000 Hz	91,01

Tabla 84. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

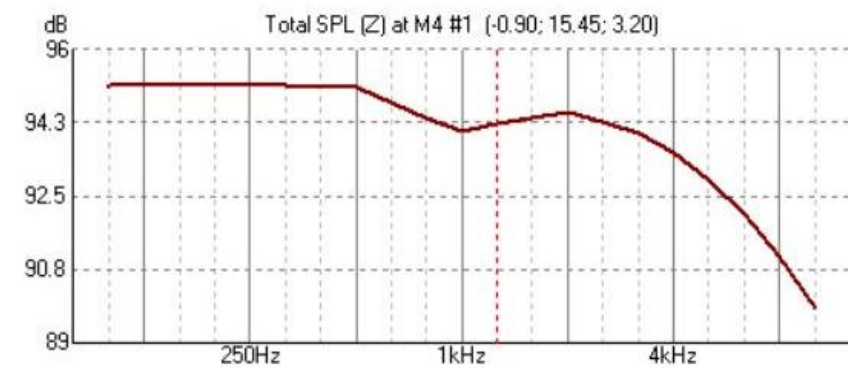


Figura 121. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M5
125 Hz	95,22
250 Hz	95,22
500 Hz	95,20
1000 Hz	94,15
2000 Hz	94,59
4000 Hz	93,66
8000 Hz	91,25

Tabla 85. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

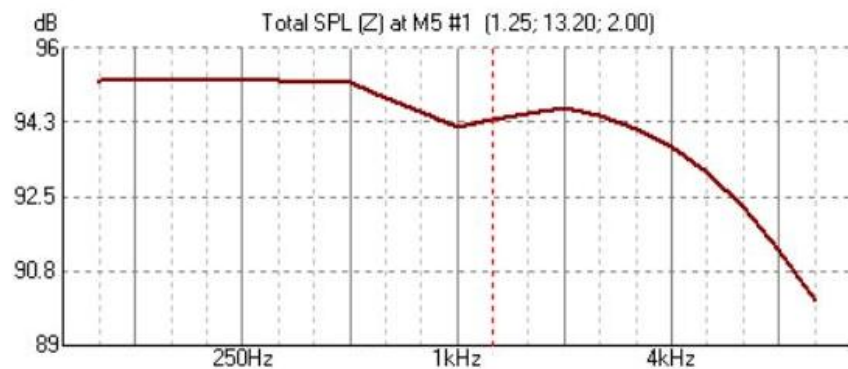


Figura 122. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



SPL Total	S3M6
125 Hz	95,14
250 Hz	95,13
500 Hz	95,11
1000 Hz	94,04
2000 Hz	94,49
4000 Hz	93,53
8000 Hz	91,04

Tabla 86. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

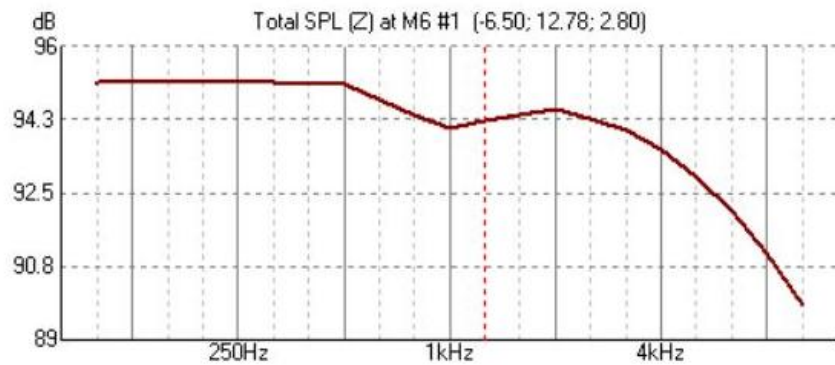


Figura 123. Representación del nivel de presión sonora directo con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M7
125 Hz	95,10
250 Hz	95,10
500 Hz	95,08
1000 Hz	94,00
2000 Hz	94,45
4000 Hz	93,48
8000 Hz	90,97

Tabla 87. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

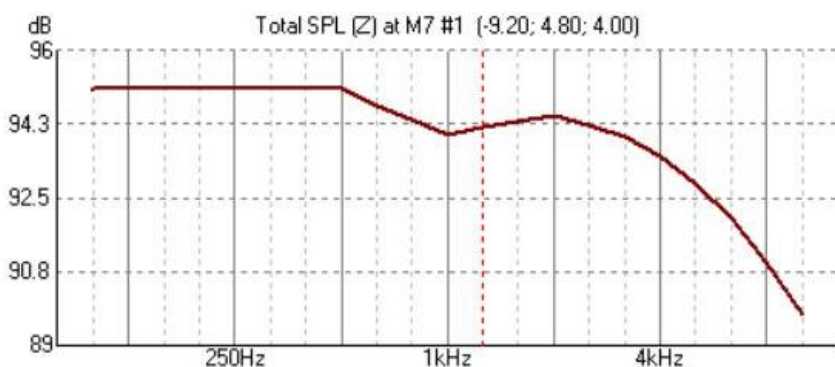


Figura 124. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

SPL Total	S3M8
125 Hz	95,28
250 Hz	95,27
500 Hz	95,25
1000 Hz	94,22
2000 Hz	94,65
4000 Hz	93,73
8000 Hz	91,37

Tabla 88. Cálculo del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

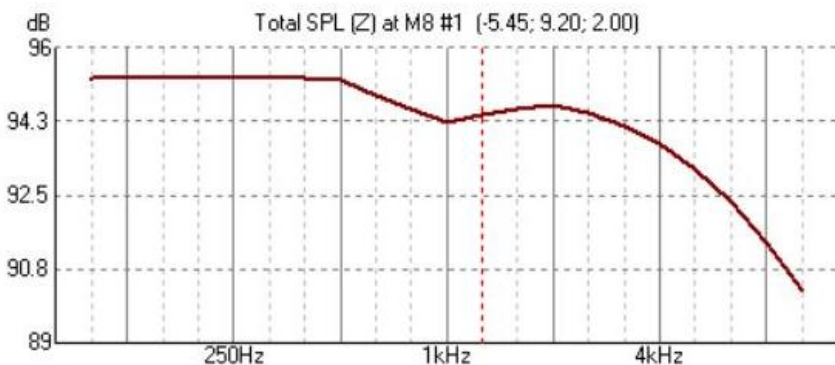


Figura 125. Representación del nivel de presión sonora total con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S1M1
125 Hz	-16,21
250 Hz	-16,22
500 Hz	-16,21
1000 Hz	-15,12
2000 Hz	-15,62
4000 Hz	-14,76
8000 Hz	-12,69

Tabla 89. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 126. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S1M2
125 Hz	-19,38
250 Hz	-19,39
500 Hz	-19,39
1000 Hz	-18,3
2000 Hz	-18,82
4000 Hz	-18,02
8000 Hz	-16,17

Tabla 90. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

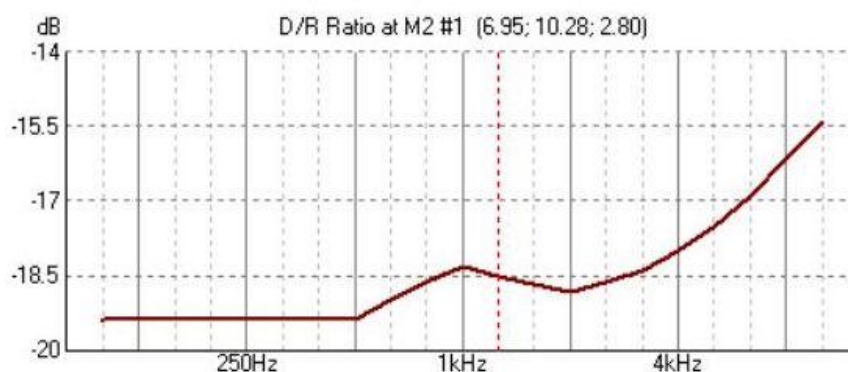


Figura 127. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S1M3
125 Hz	-21,71
250 Hz	-21,72
500 Hz	-21,72
1000 Hz	-20,64
2000 Hz	-21,18
4000 Hz	-20,43
8000 Hz	-18,80

Tabla 91. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

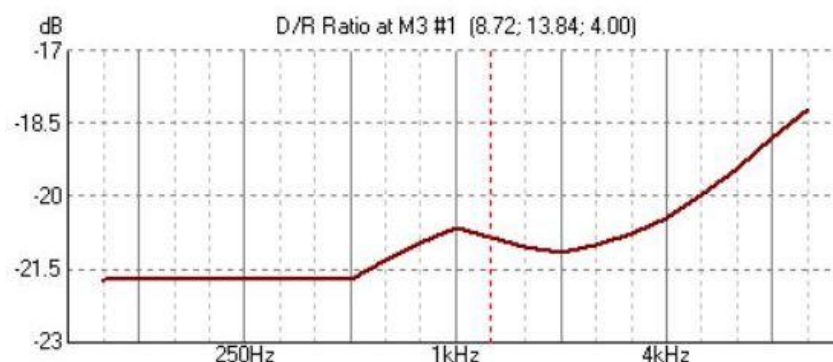


Figura 128. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S1M4
125 Hz	-18,72
250 Hz	-18,73
500 Hz	-18,72
1000 Hz	-17,63
2000 Hz	-18,15
4000 Hz	-17,33
8000 Hz	-15,43

Tabla 92. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 129. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S1M5
125 Hz	-17,42
250 Hz	-17,43
500 Hz	-17,42
1000 Hz	16,33
2000 Hz	16,84
4000 Hz	16,00
8000 Hz	14,00

Tabla 93. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

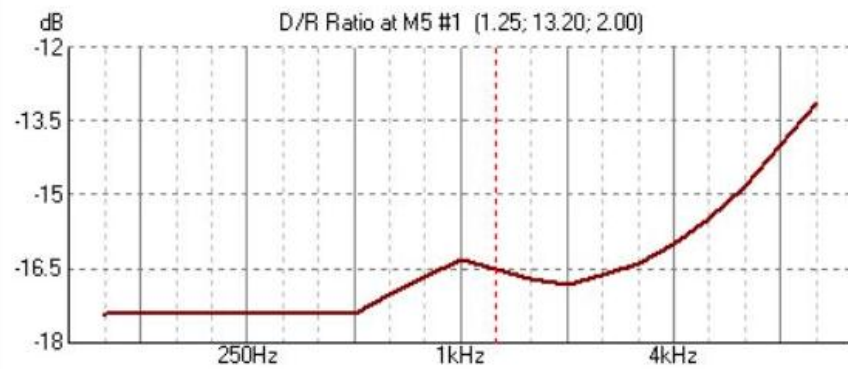


Figura 130. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S1M6
125 Hz	-16,61
250 Hz	-16,62
500 Hz	-16,61
1000 Hz	-15,52
2000 Hz	-16,03
4000 Hz	-15,17
8000 Hz	-13,13

Tabla 94. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

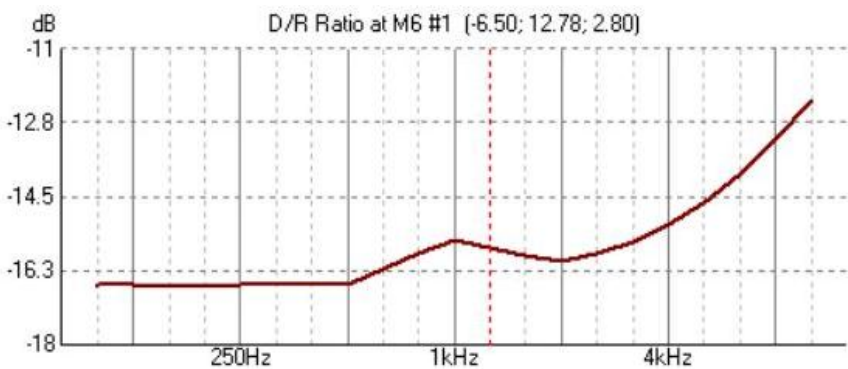


Figura 131. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S1M7
125 Hz	-14,54
250 Hz	-14,54
500 Hz	-14,53
1000 Hz	-13,44
2000 Hz	-13,94
4000 Hz	-13,05
8000 Hz	-10,90

Tabla 95. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

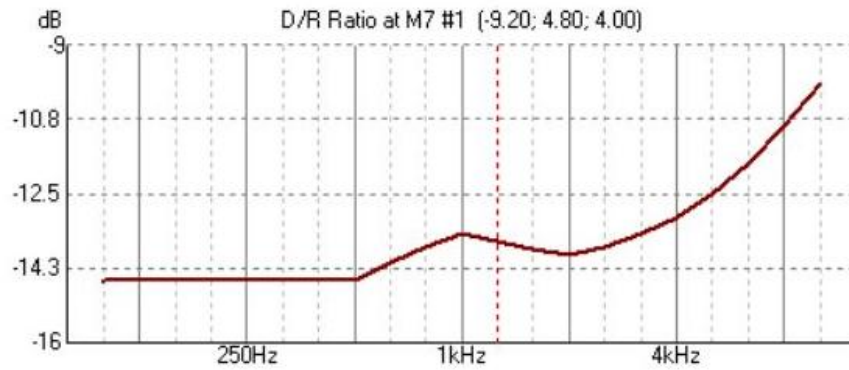


Figura 132. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S1M8
125 Hz	-11,38
250 Hz	-11,38
500 Hz	-11,37
1000 Hz	-10,27
2000 Hz	-10,76
4000 Hz	-9,84
8000 Hz	-7,56

Tabla 96. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.



Figura 133. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S1. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S2M1
125 Hz	-8,54
250 Hz	-8,54
500 Hz	-8,52
1000 Hz	-7,42
2000 Hz	-7,90
4000 Hz	-6,97
8000 Hz	-4,60

Tabla 97. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

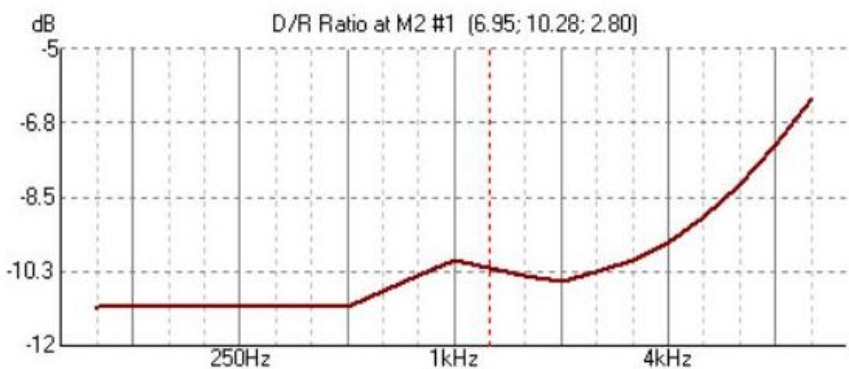


Figura 134. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S2M2
125 Hz	-11,11
250 Hz	-11,11
500 Hz	-11,10
1000 Hz	-10,00
2000 Hz	-10,49
4000 Hz	-9,57
8000 Hz	-7,28

Tabla 98. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

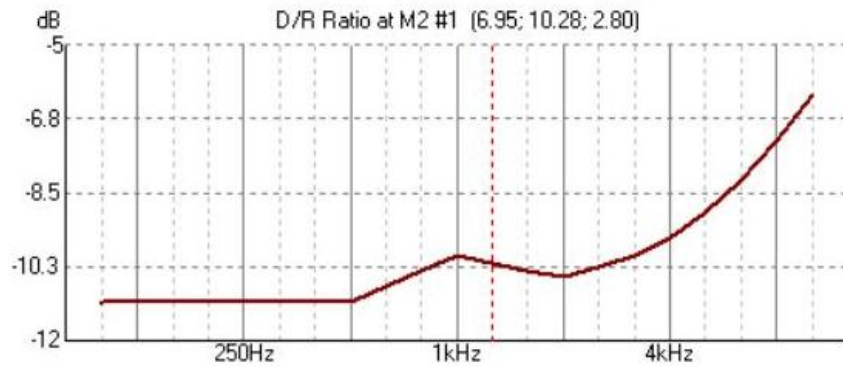


Figura 135. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S2M3
125 Hz	-16,47
250 Hz	-16,48
500 Hz	-16,47
1000 Hz	-15,38
2000 Hz	-15,88
4000 Hz	-15,03
8000 Hz	-12,97

Tabla 99. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

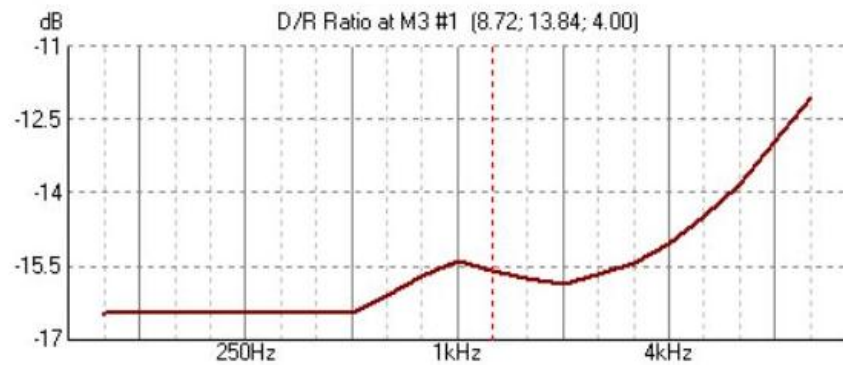


Figura 136. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S2M4
125 Hz	-16,67
250 Hz	-16,68
500 Hz	-16,67
1000 Hz	15,58
2000 Hz	16,08
4000 Hz	15,23
8000 Hz	13,19

Tabla 100. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

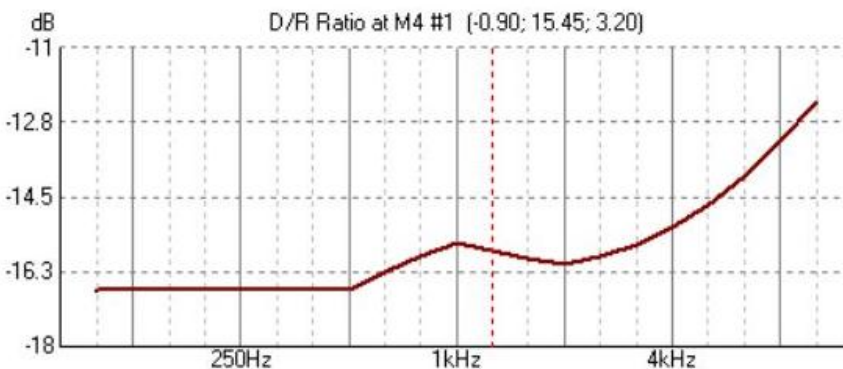


Figura 137. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S2M5
125 Hz	-12,58
250 Hz	-12,59
500 Hz	12,58
1000 Hz	11,48
2000 Hz	-11,97
4000 Hz	-11,06
8000 Hz	-8,82

Tabla 101. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S2M6
125 Hz	-18,86
250 Hz	-18,87
500 Hz	-18,87
1000 Hz	-17,78
2000 Hz	-18,3
4000 Hz	-17,48
8000 Hz	-15,59

Tabla 102. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S2M7
125 Hz	-20,64
250 Hz	-20,65
500 Hz	-20,65
1000 Hz	-19,57
2000 Hz	-20,09
4000 Hz	-19,32
8000 Hz	-17,58

Tabla 103. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE

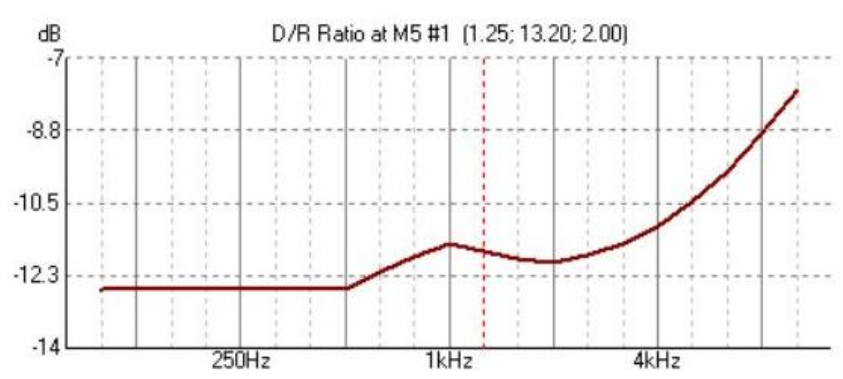


Figura 138. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

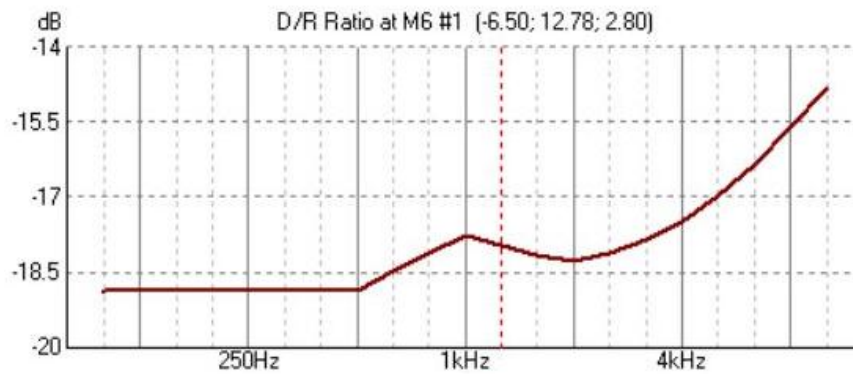


Figura 139. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

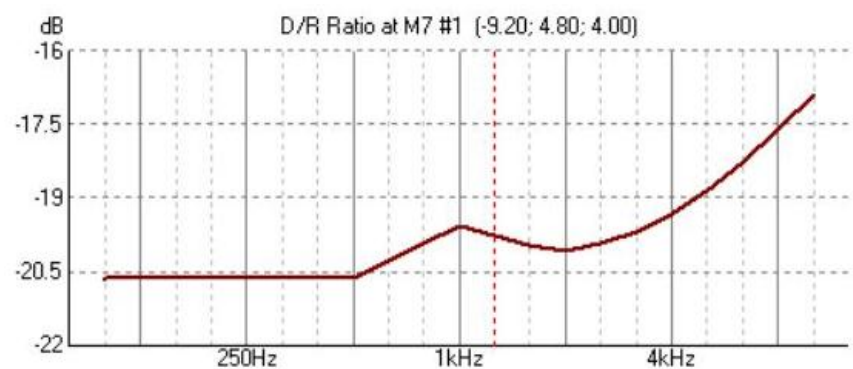


Figura 140. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S2M8
125 Hz	-17,05
250 Hz	-17,05
500 Hz	-17,05
1000 Hz	-15,96
2000 Hz	-16,46
4000 Hz	-15,62
8000 Hz	-13,6

Tabla 104. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

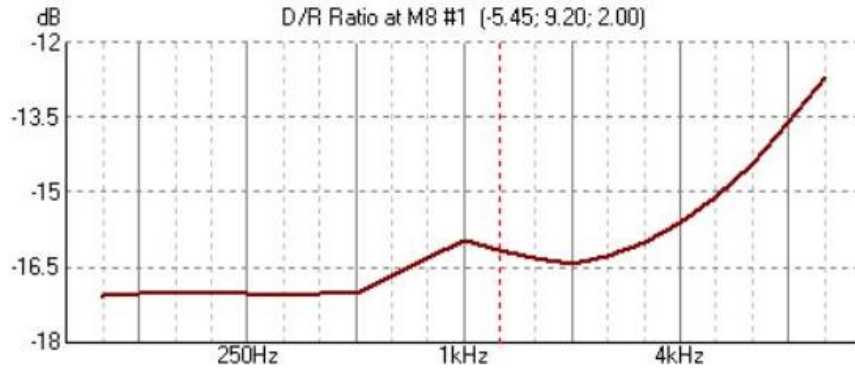


Figura 141. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S2. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M1
125 Hz	-13,49
250 Hz	-13,5
500 Hz	-13,48
1000 Hz	-12,39
2000 Hz	-12,88
4000 Hz	-11,99
8000 Hz	-9,78

Tabla 105. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

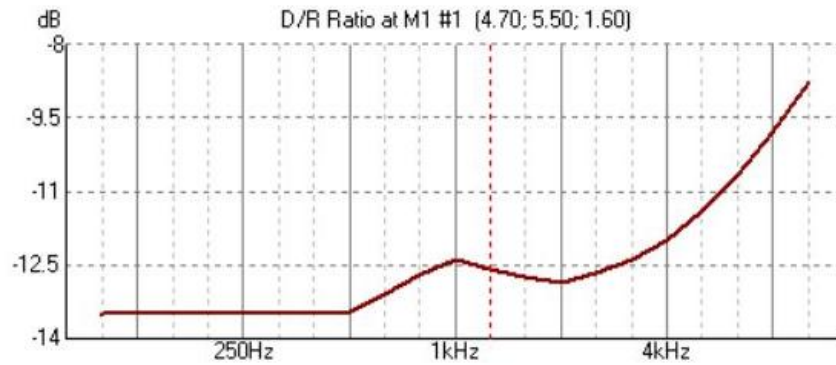


Figura 142. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M1 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M2
125 Hz	-16,37
250 Hz	-16,38
500 Hz	-16,37
1000 Hz	-15,28
2000 Hz	-15,79
4000 Hz	-14,93
8000 Hz	-12,87

Tabla 106. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

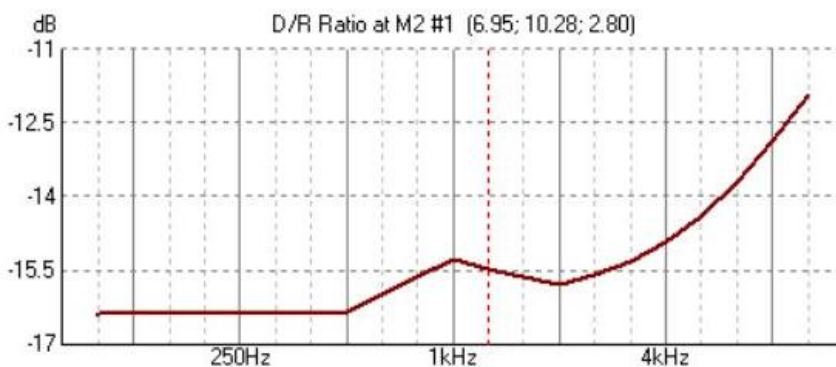


Figura 143. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M2 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S3M3
125 Hz	-19,38
250 Hz	-19,39
500 Hz	-19,39
1000 Hz	-18,3
2000 Hz	-18,82
4000 Hz	-18,02
8000 Hz	-16,17

Tabla 107. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

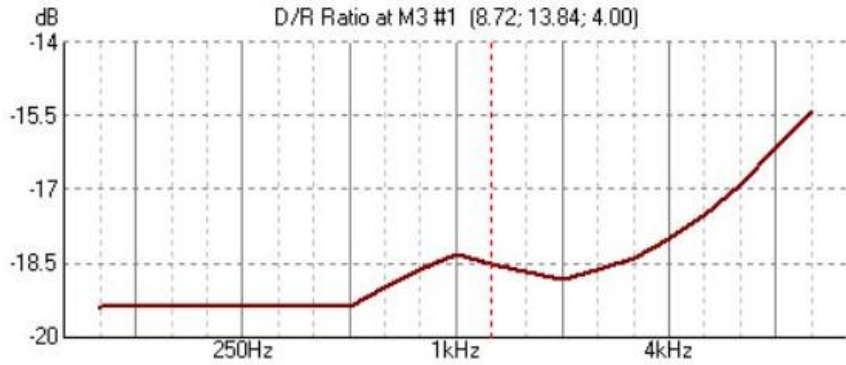


Figura 144. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M3 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M4
125 Hz	-16,14
250 Hz	-16,15
500 Hz	-16,14
1000 Hz	-15,05
2000 Hz	-15,55
4000 Hz	-14,69
8000 Hz	-12,62

Tabla 108. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

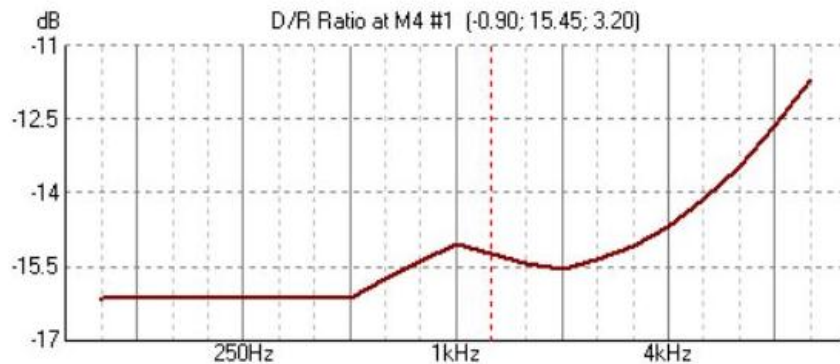


Figura 145. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M4 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M5
125 Hz	-13,42
250 Hz	-13,42
500 Hz	-13,41
1000 Hz	-12,31
2000 Hz	-12,81
4000 Hz	-11,91
8000 Hz	-9,7

Tabla 109. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

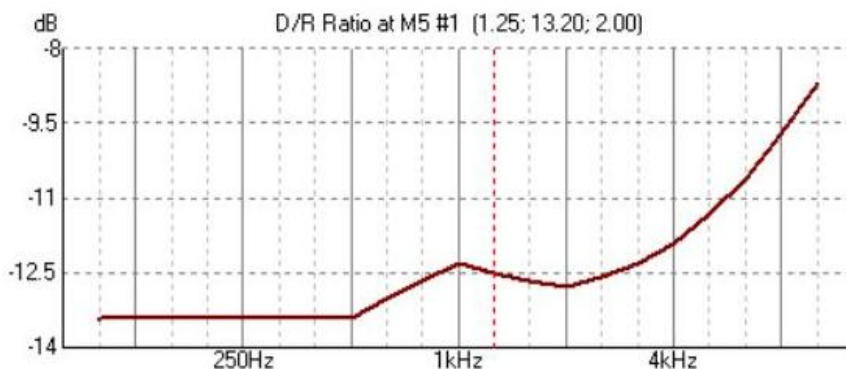


Figura 146. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M5 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



D/R Ratio	S3M6
125 Hz	-16,13
250 Hz	-16,14
500 Hz	-16,13
1000 Hz	-15,03
2000 Hz	-15,54
4000 Hz	-14,68
8000 Hz	-12,6

Tabla 110. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

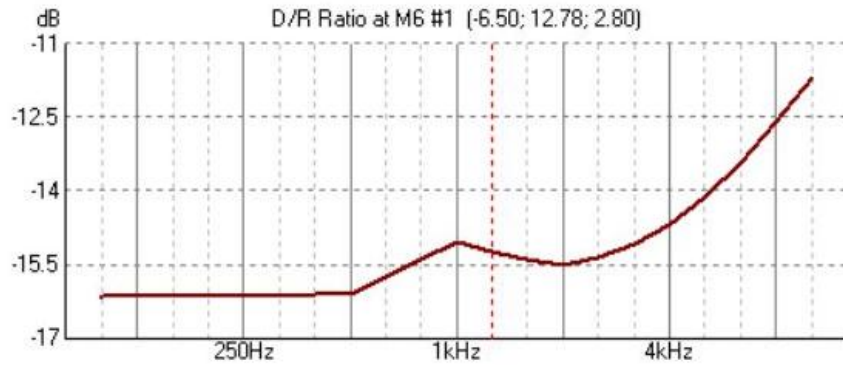


Figura 147. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M6 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M7
125 Hz	-17,76
250 Hz	-17,77
500 Hz	-17,76
1000 Hz	-16,67
2000 Hz	-17,18
4000 Hz	-16,35
8000 Hz	-14,38

Tabla 111. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

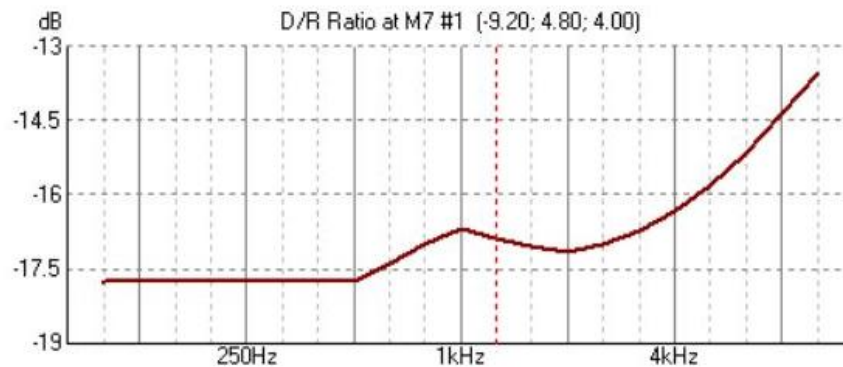


Figura 148. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M7 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

D/R Ratio	S3M8
125 Hz	-12,36
250 Hz	-12,36
500 Hz	-12,35
1000 Hz	-11,25
2000 Hz	-11,74
4000 Hz	-10,84
8000 Hz	-8,59

Tabla 112. Cálculo de la relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.

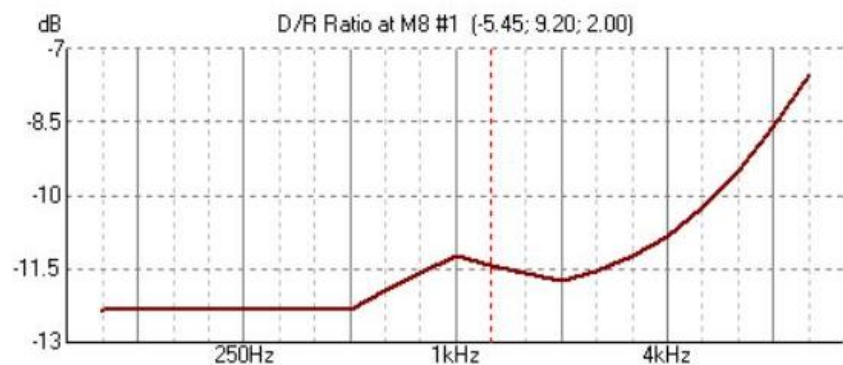


Figura 149. Relación entre campo directo y el reverberante con respecto al punto M8 con la fuente sonora S3. Fuente: EASE.



FICHAS COMERCIALES DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS.





NUBE STRATO.

Características de la nube Strato

Composición

Estructura	Sistema de railes, tirantes y cerrojos en acero.
Cuadro	acero electrogalvanizado.
Absorbente	espuma AM microporosa y velo microporoso.
Envoltura	Rejilla textil transonora Aerla, patentado por Texaa®. Ultrasensible a los roces y a las suciedades. Elección de colores dentro de una paleta de 23 colores.

Dimensiones 1196 x 1196 x 50 mm y 596 x 1196 x 50 mm.

Peso	módulo solo	estructura/módulo	total	total/m ²
1200 x 1200 mm	5.0 2.8	7.8 / panel	5.4 / m ²	
600 x 1200 mm	3.7 1.7	5.4 / panel	7.5 / m ²	

Eficacia acústica Absorción competitiva desde las frecuencias graves.
Optimización de la eficacia debido al posicionamiento en el volumen.
Prestaciones medidas en el laboratorio Texaa®.

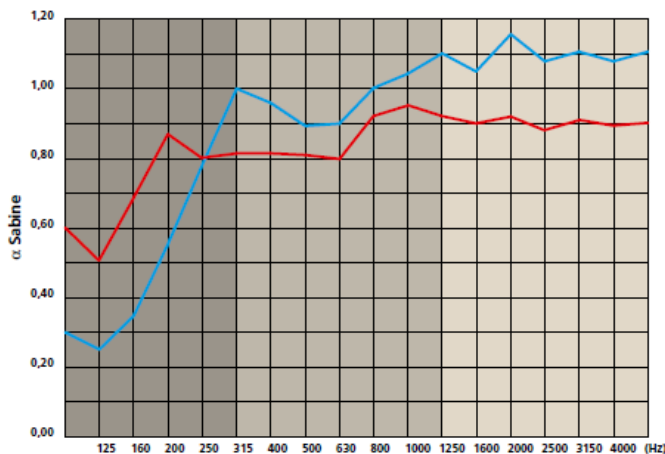
Seguridad contra incendio Clasificación M1 no goteante. Ninguna producción de gotas incandescentes
Higiene Ningún desprendimiento de fibras.

Solidez luz conservación ≥ 5 (escala de 1 a 8; norma ISO 105-B02).
Tratamiento hifro/oleo repelente (antimanchas) (antipolvo y suciedad)
Aspirador recomendado todos los uno a cinco años, según las condiciones de utilización.

Servicio a la clientela Vendedores técnicamente cualificados.

Plazo de fabricación 3 semanas.

Absorción acústica.



nube flotante
(plénium 300 mm abierto)

nube encastrada
(plénium 300 mm cerrado)

Frecuencias(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w	clase
nube flotante	0.26	0.77	0.88	1.04	1.15	1.08	1	A
nube encastrada	0.48	0.81	0.82	0.96	0.92	0.89	0.9	A

Informe de los ensayos disponibles en pedido (Norma NF EN 20354 / ISO 354).

La incorporación de las luminarias puede influenciar las características acústicas de los módulos.
Consúltenos.



	Common cover
	-
Definition	Aerla*
Structure	Innovative sound transparent knitted fabric
Colours in range	22
Physical properties	
Density EN ISO 845	0.320–0.340 kg/m ²
Thermal conductivity (EN 12667)	0.042 W/mK
Continuous resistance to heat	< 80 °C
Light reflectance (colour Nacre MR 640)	81 %
Ruggedness	
Mechanical properties	
- Tensile strength at break (ISO 1798)	-
- Elongation at break (ISO 1798)	-
- Resistance to compression (ISO 3386-1)	-
- Abrasion resistance (EN 530–number of rubs)	> 40,000
- Fraying	No
- Dimensional variation (under normal conditions of T and HR)	None
- Colour fastness (ISO 105-B02–scale to 1 at 8)	≥ 5
- Electrostatics properties (EN 1149-1)	7 10 ¹⁰ Ω
- Fluid repellent treatment AATCC118 (scale to 1 at 8)	Coeff ≥ 5
- Conditions of normal exposure	Relative humidity of up to 30 % and 75 % and temperature between 10 °C and 30 °C
- Conditions of exceptional exposure	Relative humidity of up to 20 % and 90 % and temperature between 10 °C and 30 °C
Safety and hygiene	
Fire safety rating class	No flaming droplets or particles
- France NF	M1 non dripping
- Europe EN	B-s1, d0
- Germany DIN	B1 (orientation test)
- United States ASTM	Class A
Upper calorific potential (EN ISO 1716)	19.851 MJ/kg
Upper calorific potential (EN ISO 1716)	6.55 MJ/m ²
Environment	
Development of micro-organisms	The materials used reduce the presence of house dust mites and micro-organisms
HQE® approach, standard NF P01-010	-
Emissions of VOC and formaldehyde (French labelling)	A+
In accordance with German protocol AgBB (May 2010)	-
Contributes to LEED certification	
- Environmental declaration	
- Product declaration	
- Emissions into the air	
- Acoustics	4 credits
Maintenance	
Aerla* dust and soiling repellent coating	Clean with a vacuum cleaner every one to five years, depending on local conditions*** Removable cover, machine washable at 30 °C dry flat**



* Sound transparent textile, exclusively patented by Texaa® ** Except for ceiling pads *** Refer to the maintenance sheets

Stereo			Abso
Constituents		Complete panel	Constituents
AN foam	Cloth		AP foam
Open cell foam	Micro-porous cloth	(Frame in steel + aluzinc)	Open cell foam
Grey	Black or grey (depending on colour chosen)	-	Light grey
6-8 kg/m ³	0.049-0.060 kg/m ²	-	8-10 kg/m ²
0.032-0.034 W/mK	-	-	0.032-0.034 W/mK
50 hrs at 150 °C	-	-	50 hrs at 150 °C
-	-	-	-
> 90 kPa	-	-	> 90 kPa
> 21 %	< 5 %	-	> 10%
> 4 kPa	-	-	> 5 kPa
-	-	-	-
-	-	-	-
±1 %	-	None	±1 %
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
Relative humidity of up to 30 % and 75 % and temperature between 10 °C and 30 °C			
Relative humidity of up to 20 % and 90 % and temperature between 10 °C and 30 °C			
-	-	No flaming droplets or particles	-
-	-	-	M1 non dripping
-	-	B-s2, d0	-
-	-	-	B1
-	-	Class A	-
19.915 MJ/kg	18.874 MJ/kg	19.81 MJ/kg	19.915 MJ/kg
6.27 MJ/m ²	0.94 MJ/m ²	13.77 MJ/m ²	-
The materials used reduce the presence of house dust mites and micro-organisms			
-	-	EPD available	-
A	-	A	A+
-	-	Passes	-
-	-	3 credits	-
Clean with a vacuum cleaner every one to five years, depending on local conditions*** Removable cover, machine washable at 30 °C dry flat**			

Precios.

Stereo single-sided panels Suspended separately by vertical cables <small>(includes 4 cables 1,000 mm long with adjustable hooks)</small>	Unit	299 x	299 x	299 x	599 x 599	599 x	599 x	599 x	1199 x 1199	1199 x	1199 x	diam.
		1199 x 55 mm	1799 x 55 mm S	2399 x 55 mm S	x 55 mm	1199 x 55 mm	1799x 55 mm S	2399 x 55 mm S	x 55 mm	1799 x 55 mm S	2399 x 55 mm S	
	One panel	196 €	296 €	323 €	201 €	220 €	349 €	411 €	317 €	464 €	557 €	611 €



CORTINA MORPACUR CAVALLO PLUS.

Propiedades

Material: 80% lana, 20% poliéster

Peso: 350 gr/m²

Absorción acústica: $\alpha_w = 0,75$

Reacción al fuego: No inflamable.

Precauciones:     

Aplicaciones en:

- Oficinas
- Hostelería
- Educación/Cultura/Museos.

Resumen ensayo de absorción acústica:

F (Hz)	T ₁	T ₂	α_s	α_{pi}	α_w
100	19,29	17,77	0,01	0,05	0,65 (H) Clase "C"
125	19,74	13,68	0,06		
160	14,49	8,88	0,11		
200	12,29	6,09	0,21		
250	10,79	4,38	0,35		
315	9,49	3,10	0,56		
400	7,85	2,50	0,70		
500	8,52	2,26	0,83		
630	8,31	2,12	0,90		
800	7,85	2,06	0,92		
1000	7,08	2,19	0,81		
1250	6,01	2,13	0,78		
1600	5,22	2,02	0,78		
2000	4,49	1,92	0,77		
2500	4,39	1,74	0,82		
3150	3,25	1,59	0,82		
4000	2,58	1,38	0,87		
5000	1,98	1,17	0,90		

F (Hz)	T ₁	T ₂	α_s	α_{pi}	α_w
100	19,29	13,37	0,06	0,10	0,80 (H) Clase "B"
125	19,74	11,26	0,10		
160	14,49	7,12	0,18		
200	12,29	4,91	0,31		
250	10,79	3,53	0,49		
315	9,49	2,63	0,71		
400	7,85	2,15	0,87		
500	8,52	2,06	0,94		
630	8,31	1,99	0,98		
800	7,85	2,03	0,94		
1000	7,08	2,00	0,92		
1250	6,01	1,83	0,98		
1600	5,22	1,68	1,04		
2000	4,49	1,62	1,01		
2500	4,39	1,48	1,08		
3150	3,25	1,39	1,06		
4000	2,58	1,23	1,09		
5000	1,98	1,05	1,15		

Según norma ISO 354, ISO 11654



