











A mis padres, mi hermano Fran,  
Alba, Manu, Bece e Isma por  
acompañarme en este camino.  
A mi tutor, D. Pedro Fernando  
Nogueira López y a D. Juan José  
Gómez Alfageme por dedicarme  
su tiempo y guiarme en este  
trabajo.





RESUMEN:

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

El proyecto combina el cálculo de acondicionamiento acústico aportado por el Código Técnico de la Edificación (CTE) con el cálculo mediante un software de simulación electroacústica, Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4).

Durante el proceso se ha querido resaltar la importancia de la acústica, muchas veces relegada a segundo plano. Por esto se quiere incidir en que es un parámetro importante para conseguir calidad en una sala.

Dado el peso de la simulación en este proyecto se presentan los resultados obtenidos para aportar una información completa que muestre el comportamiento acústico de la sala antes y después de realizar la intervención.

El proyecto se compone de dos tomos:

- TOMO I: Memoria, en la que se incluyen los conceptos acústicos necesarios y el Estudio de Caso.
- TOMO II: Planos y anexos, documentación necesaria para la comprensión de la memoria.

EDIFICACIÓN – ACÚSTICA  
ACONDICIONAMIENTO – PROTECCIÓN  
FRENTE AL RUIDO – EASE 4.4.

ABSTRACT:

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

The project combines the calculation of acoustic conditioning provided by the Código Técnico de la Edificación (CTE) with the calculation using simulation software electroacoustic, Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4).

During the process, we wanted to emphasize the importance of acoustics, often relegated to the background. By this is meant to influence which is an important quality for a room setting.

Given the importance of this project simulation results are presented to provide a complete information showing the acoustic behavior of the room before and after performing the procedure.

The project consists of two volumes:

- VOLUME I: Memory, in which the acoustic concepts needed for further case study are included.
- VOLUME II: Drawings and annexes, necessary documentation for the understanding of memory.

BUILDING - ACOUSTIC  
CONDITIONING - PROTECTION AGAINST  
NOISE - EASE 4.4





## ÍNDICE DE CONTENIDOS TOMO I:

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

1.1 CONTENIDO.....	7
1.2 OBJETIVOS.....	8

### Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS

2.1 PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN RECINTOS.....	13
2.1.1 Absorción.....	14
2.1.2 Atenuación.....	14
2.1.3 Difracción.....	14
2.1.4 Reflexión.....	14
2.1.5 Refracción.....	15
2.2 SONIDO DIRECTO Y REFLEJADO.....	15
2.2.1 Sonido directo.....	15
2.2.2 Sonido reflejado.....	15
2.3 TEORÍAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS ACÚSTICO DE SALAS.....	17
2.3.1 Teoría estadística.....	17
2.3.2 Teoría geométrica.....	17
2.3.3 Teoría ondulatoria.....	18
2.3.4 Psicoacústica.....	18
2.4 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	18
2.4.1 Absorción.....	19
2.4.2 La reverberación.....	19
2.4.2.1 Exigencias del DB-HR.....	22
2.4.2.2 Cálculo del Tiempo de Reverberación según DB-HR.....	22
2.5 PARÁMETROS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE SALAS.....	23
2.5.1 Nivel de presión sonora directo (SPLd).....	23
2.5.2 Nivel de presión sonora reverberante (SPLr).....	23
2.5.3 Nivel de presión sonora total (SPLt).....	24
2.5.4 Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio).....	25
2.5.5 Pérdida de articulación de consonantes (%Alcons).....	26

---



2.6 OTROS PARÁMETROS ACÚTICOS.....	26
2.6.1 Índice de transmisión de la palabra rápida (Rasti).....	26
2.6.2 Distancia crítica.....	26
2.6.3 Tiempo de llegada (Arrival time).....	27
2.6.4 Tiempo de retardo inicial del sonido (ITD Gap).....	27
2.6.5 Medidas de claridad (C).....	27
2.6.6 Niveles de presión (L).....	27
2.6.7 Índice de articulación (IA).....	28

### Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SALA.....	31
3.1.1 Situación.....	31
3.1.2 Características.....	31
3.1.3 Identificación y definición de materiales.....	32
3.1.4 Coeficiente de absorción de los materiales.....	34
3.2 APLICACIÓN CTE DB-HR.....	36
3.3 ENHANCED ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS (EASE).....	36
3.4 MODELADO ACÚSTICO CON EASE 4.4.....	37
3.4.1 Creación de un modelo acústico.....	37
3.4.2 Áreas de audiencia y posiciones de escucha.....	38
3.4.3 Fuentes sonoras.....	39
3.5 RESULTADOS.....	40
3.5.1 Tiempo de Reverberación (TR).....	40
3.5.2 Nivel de presión sonora directo (SPLd).....	41
3.5.3 Nivel de presión sonora total (SPLt).....	43
3.5.4 Relación campo directo - campo reverberante (D/R ratio).....	45
3.5.5 Pérdida de articulación de consonantes (%Alcons).....	47

### Capítulo IV: JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALÍTICAMENTE

4.1 Sensibilidad del altavoz (S).....	51
4.2 Nivel de presión sonora directo (SPLd).....	52
4.3 Nivel de presión sonora reverberante (SPLr).....	53
4.4 Nivel de presión sonora total (SPLt).....	53
4.5 Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio).....	54

---



## Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO

5.1 PROCESO DE MEDICIÓN.....	59
5.1.1 Metodología.....	59
5.1.2 Campo de aplicación de la UNE EN ISO 3382-2.....	59
5.1.3 Instrumentación.....	59
5.2 VALIDACIÓN.....	61

## Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA SALA ACONDICIONADA.....	65
6.1.1 Características.....	65
6.1.2 Identificación y definición de materiales.....	67
6.1.3 Coeficientes de absorción de los materiales.....	68
6.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN SEGÚN DB-HR.....	69
6.3 MODELADO ACÚSTICO CON EASE.....	69
6.4 RESULTADOS DE LA MEJORA CON EASE 4.4.....	70
6.4.1 Tiempo de Reverberación (TR).....	70
6.4.2 Nivel de presión sonora directo (SPLd).....	71
6.4.3 Nivel de presión sonora total (SPLt).....	71
6.4.4 Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio).....	73
6.4.5 Pérdida de articulación de consonantes (% Alcons).....	75

## Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA MEJORA

7.1 MEDICIÓN DE LA MEJORA ACÚSTICA.....	79
7.2 PRECIOS BÁSICOS, AUXILIARES Y UNITARIOS.....	81
7.3 PRECIOS DESCOMPUESTOS.....	82
7.3.1 Demolición de falso techo.....	82
7.3.2 Demolición de revestimiento de piedra.....	83
7.3.3 Falso techo acústico.....	84
7.3.4 Revestimiento acústico en paramento vertical.....	85
7.3.5 Estor acústico.....	86



---

7.2 PRESUPUESTO TOTAL.....	87
Capítulo VIII: CONCLUSIONES.....	91
8.1 VALORACIÓN GLOBAL DE LA SALA.....	91
Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA	
9.1 BIBLIOGRAFÍA DE AUTORES.....	95
9.2 FUENTES NORMATIVAS.....	96
9.3 PÁGINAS WEB.....	96

Índice de imágenes

---

Índice de tablas

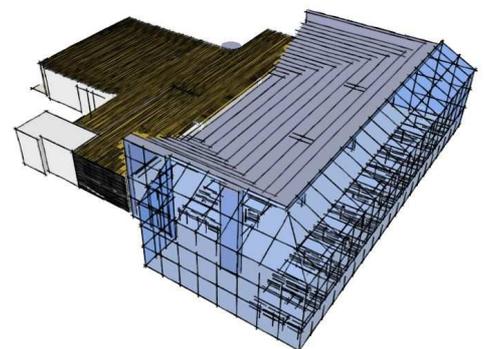
---

Índice de gráficas

---

Índice de ecuaciones

---







## Capítulo I: INTRODUCCIÓN.

### 1.1 CONTENIDO.

En el presente trabajo se desarrolla un estudio de acondicionamiento acústico del comedor y cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica.

La memoria de este trabajo se divide en los siguientes bloques:

- Conceptos generales.
- Estudio de acondicionamiento acústico:
  - o Aplicar la metodología del CTE DB-HR.
  - o Simulación en Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4) y realizar un estudio acústico.
- Justificación de los parámetros acústicos analíticamente.
- Explicación de la validación del modelo.
- Propuestas de mejora acústica.
- Comparativa entre el recinto original y el mejorado.
- Presupuesto de la propuesta de mejora.

#### 1. Conceptos generales:

En este apartado se explican los conceptos básicos de la acústica de salas necesarios para la comprensión de este proyecto.

#### 2. Estudio de acondicionamiento acústico:

- o Aplicar la metodología de acondicionamiento acústico del CTE DB-HR.
- o Simulación en EASE 4.4, estudio acústico:

Debido a que el CTE DB-HR no aporta demasiada información sobre el acondicionamiento acústico, se realiza la simulación del recinto seleccionado, comedor



cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, en el software informático EASE 4.4. En esta parte del proyecto se calculan los diferentes parámetros acústicos para conocer las características acústicas que posee dicho recinto.

Con estos parámetros y características de las sala se realiza un estudio acústico detallado para proponer una mejora acústica.

### 3. Justificación de los parámetros acústicos analíticamente:

Se procede al cálculo de los parámetros calculados en el apartado anterior mediante ecuaciones analíticas.

### 4. Explicación de la validación del modelo:

Tras la toma de medidas acústicas in situ, se comparan con las del modelo acústico para la posible validación del mismo.

### 5. Propuesta de mejora acústica:

En este apartado se realizará la mencionada propuesta de mejora acústica, mostrando los parámetros acústicos más significativos.

Se llevará a cabo la comparación de la sala original con la acondicionada utilizando los parámetros acústicos más significativos para conocer la eficacia de las propuestas de mejora y para saber si los resultados obtenidos son los esperados y satisfactorios.

### 6. Presupuesto de la propuesta de mejora:

Se realizará un presupuesto detallado de la propuesta de mejora acústica realizada.

## 1.2 OBJETIVOS.

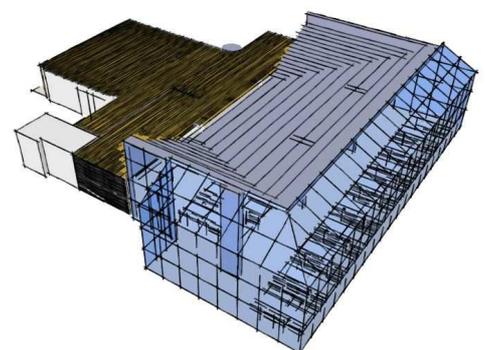
El objetivo principal es el estudio de la calidad acústica de un recinto para un uso concreto. En este caso se trata del comedor cafetería de la Escuela Universitaria de



Arquitectura Técnica. Para poder llevar a cabo este objetivo se plantean varios objetivos específicos:

- Conocer la normativa aplicable y los parámetros físicos que influyen en el acondicionamiento acústico de salas.
- Aplicación de la metodología de acondicionamiento del Documento Básico de Protección Frente al Ruido (CTE DB-HR).
- Aplicación de herramientas acústicas avanzadas y de apoyo. En concreto conocer el software informático de simulación acústica Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4.).
- Construir un modelo en EASE y simularlo.
- Conocer los conceptos necesarios para la posible validación del modelo.
- Estudio y análisis de medidas de mejora.
- Posibles líneas futuras orientadas a publicación y comunicación del estudio.





---

**CAPÍTULO II:  
CONCEPTOS GENERALES.**





## Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS.

Frances Daumal define la acústica arquitectónica como: Un conjunto de conocimientos configurándose un marco de disciplinas científico-técnico-artísticas que engloba las aplicaciones al diseño para la satisfacción del ser humano que habita los espacios. La acústica arquitectónica, sigue un proceso lógico, ha de empezar por unas intenciones generales y particulares, que inmediatamente han de ser a cada caso concreto (diseño preventivo). En contaremos espacios que no resulten satisfactorios desde el punto de vista acústico, no por eso hemos de dejar de contar con la ayuda de métodos para su corrección (Acondicionamiento acústico). (Tectónica 14, 2006).

Es importante conocer cómo se propaga la onda sonora en un recinto y como le afecta la variación de algunos factores como la estructura del lugar donde se va a realizar la actuación. En este capítulo se describen las características de la propagación del sonido en el interior de un recinto, las distintas teorías aplicadas en el análisis y los parámetros más importantes a la hora del estudio acústico de una sala.

### 2.1 PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN RECINTOS.

Cuando una fuente sonora situada en un recinto cerrado se activa, genera una onda que se propaga en todas las direcciones del espacio. Un oyente situado en cualquier punto del mismo recibe dos tipos de sonido: el denominado sonido directo, aquel que llega directamente desde la fuente, y el sonido indirecto o reflejado, originado por las diferentes reflexiones que sufre la onda al incidir sobre las superficies límite del recinto.

La naturaleza del sonido indirecto se explica muy bien a través del modelo de rayos (como lumínicos), suponiendo que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes, en cada impacto con los paramento perimetrales del recinto, los rayos son parcialmente absorbidos y reflejados y, después de un gran número de reflexiones el sonido se hace difuso. (Valero Granados, 2011).



Inicialmente el sonido emitido por una fuente se propaga hasta que choca con las paredes límite y otros objetos que obstaculizan su camino. Como consecuencia se producen los siguientes fenómenos:

### 2.1.1 Absorción:

“Consiste en la disminución de la energía sonora, debido a su disipación en forma de calor, al ser absorbida por el medio que atraviesa.” (Carrión Isbert, 1998).

### 2.1.2 Atenuación:

“Es la pérdida de energía de las ondas sonoras al propagarse. Se describe por la ley cuadrática inversa, según la cual la intensidad en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al foco emisor.” (Carrión Isbert, 1998).

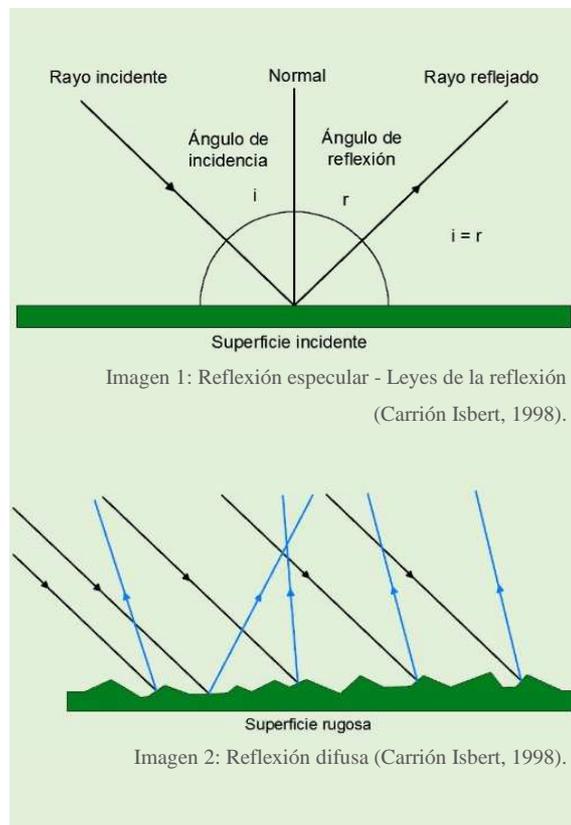
### 2.1.3 Difracción:

“Es la desviación que sufren las ondas sonoras cuando encuentran en su camino un obstáculo o una abertura de un tamaño comparable al de su longitud de onda.” (Carrión Isbert, 1998).

### 2.1.4 Reflexión:

Reflexión especular: “Cuando la onda sonora incide sobre una superficie, parte de su energía será nuevamente proyectada según las leyes de la reflexión”. (Carrión Isbert, 1998).

Reflexión difusa: “Se produce cuando la superficie que entra en contacto con la onda sonora, no es lisa, sino rugosa. Como consecuencia, habrá una gran cantidad de puntos de incidencia, que reflejarán el sonido en todas las direcciones, dispersándolo.” (Carrión Isbert, 1998).





### 2.1.5 Refracción:

“Es la desviación en la dirección de propagación que sufre una onda cuando pasa de un medio a otro diferente. A diferencia de lo que ocurre en el fenómeno de reflexión, el ángulo de refracción ya no es igual al de incidencia debido al cambio de la velocidad de propagación del sonido de un medio a otro.” (Carrión Isbert, 1998).

## 2.2 SONIDO DIRECTO Y SONIDO REFLEJADO.

Como consecuencia de estos fenómenos acústicos el sonido se ve reforzado por las múltiples reflexiones. Así, en cualquier punto del recinto tendremos que hablar de una energía sonora total, la cual podemos dividir en sonido directo y sonido reflejado. (Rodríguez Rodríguez, de la Puente Crespo y Díaz Sanchidrián, 2008).

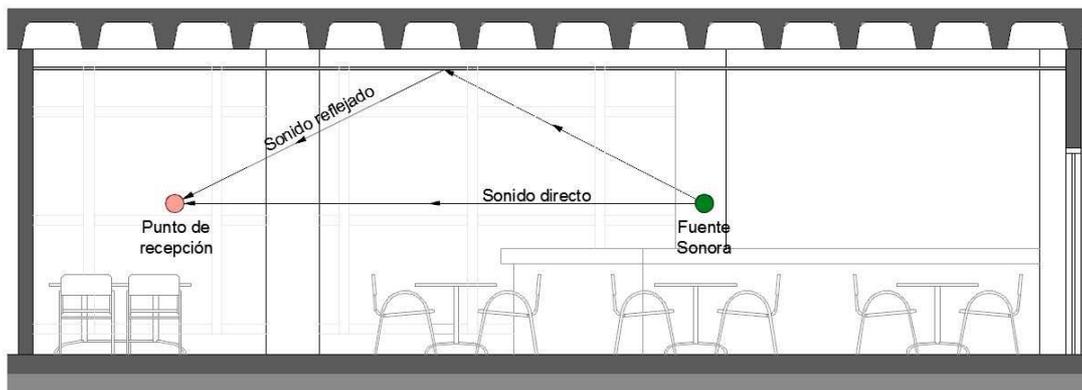


Imagen 3: Sonido directo y Sonido reflejado (Fuente propia).

### 2.2.1 Sonido directo.

Es el sonido emitido por la fuente, es decir, coincide con el sonido que se recibiría en un espacio libre. En un punto cualquiera del recinto la energía correspondiente al sonido directo depende de la distancia a la fuente sonora y de la directividad de la misma. El nivel de presión sonora en cada punto va disminuyendo a razón de 6 dB al duplicar la distancia a la fuente, para una fuente sonora omnidireccional. (Rodríguez Rodríguez, de la Puente Crespo y Díaz Sanchidrián, 2008).

### 2.2.2 Sonido reflejado.

Es el sonido procedente de los sucesivos choques con las superficies del recinto. La energía asociada a cada reflexión depende de la trayectoria seguida por el rayo sonoro

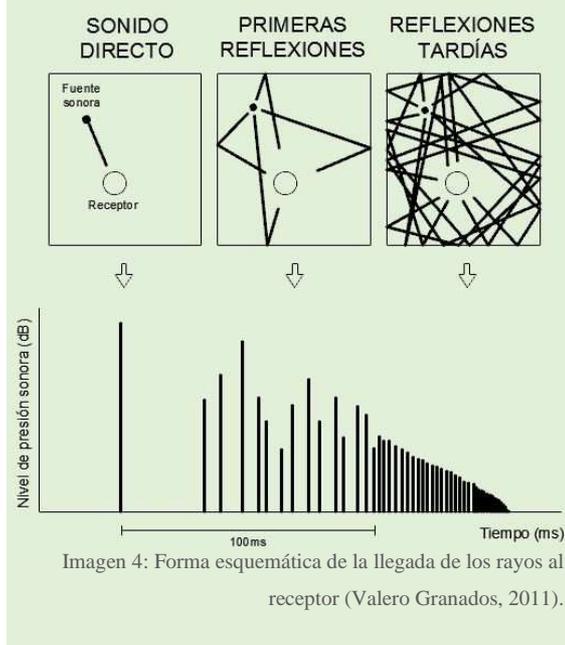
y del grado de absorción acústica de los materiales utilizados como revestimientos de las superficies implicadas. (Rodríguez Rodríguez, de la Puente Crespo y Díaz Sanchidrián, 2008).

Al analizar la evolución temporal del sonido reflejado en un punto del recinto, se observan básicamente dos zonas de características diferenciadas:

**Primeras reflexiones:** Una primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo. Se suele establecer un límite temporal para la zona de las primeras reflexiones de aproximadamente 100 ms desde la llegada del sonido directo, aunque este valor varía según la forma o el volumen del recinto. (Carrión Isbert, 1998).

**Campo reverberante o reflexiones tardías:** Una segunda zona formada por reflexiones tardías que constituyen la denominada cola reverberante. Su densidad es mayor que la de las primeras reflexiones, cuya llegada está más discretizada, aunque el oído las integra y las percibimos como un único sonido. Su nivel sonoro es menor que el de las primeras reflexiones. (Carrión Isbert, 1998).

La figura representa de forma esquemática la llegada de los diferentes rayos sonoros a un receptor junto con el ecograma asociado, con indicación del sonido directo, la zona de primeras reflexiones y la zona de reflexiones tardías (cola reverberante).



Estas últimas determinan cómo es la reverberación de la sala, es decir, cuánto tiempo perdura el sonido en ella. Por tanto, depende fundamentalmente de las características de absorción de las superficies. También influye la forma y el volumen del recinto. Su estudio se lleva a cabo mediante la teoría estadística.



## 2.3 TEORÍAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS ACÚSTICO DE SALAS.

### 2.3.1 Teoría estadística.

Esta teoría trata de analizar la reverberación de la sala, es decir, la mayor o menor persistencia del sonido percibido en un recinto después de que la fuente cese de emitir. Se mide por medio del tiempo de reverberación.

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

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

Debido a las suposiciones contempladas, los resultados de esta teoría son aproximados, aunque facilitan la comprensión y la caracterización del campo sonoro en el interior de un recinto. (Arнау, 1999).

### 2.3.2 Teoría geométrica.

La teoría geométrica no idealiza el campo sonoro con un modelo estadístico, en general, no será homogéneo en toda la sala. 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.

La hipótesis principal consiste en considerar los rayos sonoros como si de rayos de luz se tratase, 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.

El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexiones especulares constituye la base de la denominada acústica geométrica. Evidentemente, 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. La utilización de esta teoría, implica una serie de simplificaciones que limita su validez en determinados casos, siendo muy imprecisa en bajas frecuencias. Sin embargo, aporta buenos resultados en el estudio de las primeras reflexiones. (Arnau, 1999).

### 2.3.3 Teoría 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.

Esta teoría está basada en la naturaleza ondulatoria del sonido. Trata de caracterizar el campo sonoro existente en un recinto mediante la resolución de la ecuación de onda. Cada modo propio va asociado a una frecuencia y está caracterizado por un nivel de presión sonora que varía en función del punto considerado. (Arnau, 1999).

### 2.3.4 Psicoacústica.

La psicoacústica es una rama de la física que estudia la relación entre un estímulo de carácter físico y la respuesta de carácter psicológico que éste provoca en el ser humano. Para ello se centra en las propiedades físicas del sonido y su interpretación por parte del cerebro. (Arnau, 1999).

## 2.4 ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

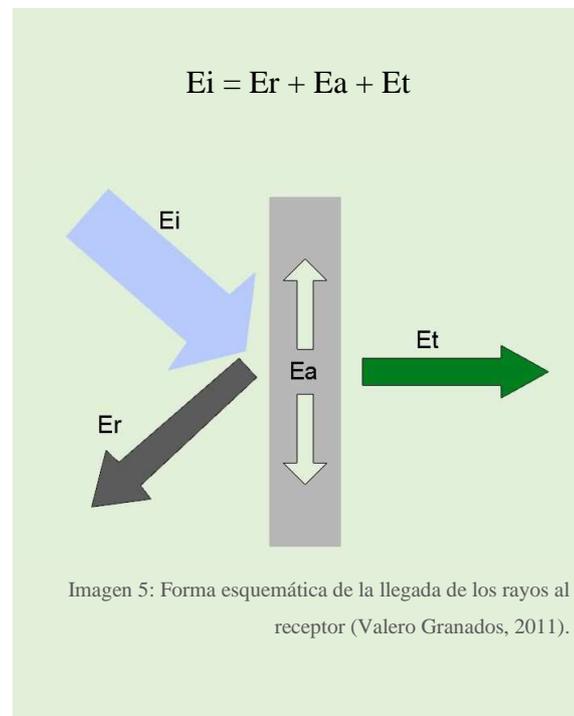
El acondicionamiento acústico de un local consiste en controlar la energía sonora reflejada en las paredes del mismo para reducir la reverberación, mejorar las cualidades de escucha, y en general, disminuir el nivel sonoro medio global del local.

Esto se consigue tratando las superficies interiores del recinto con materiales que permitan una difusión adecuada de la energía acústica en el interior del mismo. (Valero Granados, 2011).

#### 2.4.1 Absorción.

La absorción es la transformación de la energía sonora en cualquier otra forma de energía, generalmente calorífica, al pasar a través de un medio o al incidir sobre una superficie. Cuando una onda sonora incide sobre una superficie, la energía ( $E_i$ ) que tiene da lugar a tres componentes:

- Energía reflejada ( $E_r$ ): parte de la energía que debido a las propiedades del acabado de la superficie incidente rebota hacia el mismo lado.
- Energía absorbida ( $E_a$ ): parte de la energía que se pierde, sobre todo en forma de energía calorífica.
- Energía transmitida ( $E_t$ ): parte de la energía que debido a la vibración de la onda incidente se propaga al local colindante.



En relación con estas tres componentes, podemos decir que aislar consiste en aplicar medidas para disminuir la energía transmitida entre locales, mientras que acondicionar consiste en aplicar materiales absorbentes para actuar sobre la componente del sonido reflejado, y así adaptar las características de los locales para su uso (cafeterías, restaurantes, salas de reuniones, auditorios, etc.). (Valero Granados, 2011).

#### 2.4.2 La reverberación.

La reverberación es un fenómeno derivado de la propagación del sonido dentro de un espacio cerrado, y se puede medir a partir de la disminución temporal de la energía en



el recinto una vez que se ha extinguido la energía de la fuente original. Esta disminución temporal de la energía es provocada por las ondas reflejadas por las diferentes superficies, por lo que en general depende del volumen de la sala y de los coeficientes de absorción de las superficies.

Cuando una fuente sonora emite energía acústica en un recinto, normalmente, las ondas sonoras progresan libremente, pero después de cierto tiempo estas ondas empiezan a reflejarse superponiéndose con las ondas incidentes. Este proceso ocurre continuamente por lo que la energía en un recinto iría incrementándose si no fuese por la absorción de los materiales de las superficies del mismo, los objetos situados en su interior y la absorción del aire. Por consiguiente si la fuente sonora deja de emitir, la energía acústica almacenada en el recinto no desaparece inmediatamente si no que necesita un tiempo para que sea absorbida. Esta permanencia del sonido producido por las reflexiones de las ondas es el fenómeno que se conoce como 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, contando desde el instante en la fuente deja de emitir. Cuanto mayor es el volumen del recinto, mayores son sus tiempos de reverberación, debido a que las ondas sonoras recorren caminos más largos y tardan más tiempo en reflejarse hasta una posición determinada del recinto.

En determinados casos, el tiempo de reverberación puede ser muy largo, produciendo dificultad de entendimiento por la superposición de sílabas, originando un enmascaramiento y generando una audición confusa. En las situaciones en las que el tiempo de reverberación es corto, la audición resulta seca e incolora, la sala se denomina como “muy sorda”. Como la reverberación supone una prolongación en el tiempo de la energía acústica, en algunas ocasiones esto resultará beneficioso, como sucede con los sonidos musicales, en cambio en otras ocasiones, como sucede con el habla, se pierde inteligibilidad.

Hay que tener en cuenta también el aforo. Si un recinto está diseñado acústicamente sin tener en cuenta la ocupación de las personas, sucederá que al llenarse



aumenta notablemente la absorción, disminuyendo la reverberación, por lo que el recinto cambiará sus condiciones de audición. (Valero Granados, 2011).

Para el cálculo de la reverberación es habitual usar ecuaciones basadas en la teoría estadística, siendo la fórmula de W. Sabine la más empleada:

$$Tr = \frac{0,16 V}{A} \text{ (seg)} \quad (1)$$

V: Volumen del recinto (m<sup>3</sup>).

A: Absorción acústica total del recinto (m<sup>2</sup>).

Otra de las fórmulas empleadas para el cálculo del tiempo de reverberación basa en la teoría estadística es la de Norris-Eyring:

$$Tr = \frac{-0,16 V}{St \ln(1-\alpha_m)} \text{ (seg)} \quad (2)$$

V: Volumen del recinto (m<sup>3</sup>).

St: Superficie total de paramentos (m<sup>2</sup>).

$\alpha_m$ : Absorción media (Hz).

Estas fórmulas indican que el tiempo de reverberación es el mismo en todo el recinto, siendo independiente la posición de la fuente emisora dentro de él, y las soluciones absorbente no dependen de su ubicación, si no de la superficie de aplicación de las mismas.

Para el cálculo de la absorción acústica total de un recinto se realiza una expresión que contempla tres sumandos (la absorción acústica debida a los paramentos, la absorción acústica equivalente proporcionada por los muebles y la absorción del aire):

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot Si + \sum_{j=1}^n A_{o,m,j} + 4 \cdot mm \cdot V \quad (3)$$

$\alpha_{m,i}$ : Coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento para 500, 1000 y 2000 Hz.

Si: Área del paramento cuyo coeficiente de absorción es  $\alpha_i$  (m<sup>2</sup>).

$A_{o,m,j}$ : Área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo (m<sup>2</sup>).

El último factor expresa la absorción acústica inducida por el aire del recinto, se utiliza para grandes recintos y es despreciable para volúmenes inferiores a 250 m<sup>2</sup>.



### 2.4.2.1 Exigencias DB-HR.

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

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

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

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

De este modo, los objetivos perseguidos por el DB-HR mediante el empleo de materiales absorbente son:

- Disminuir los niveles de ruido en las zonas comunes de los edificios para que no afecten a los recintos habitables contiguos.
- Disminuir los niveles de ruido en comedores y restaurantes.
- Disminuir los niveles de ruido y mejorar la inteligibilidad de la palabra en aulas y salas de conferencia.

### 2.4.2.2 Cálculo del tiempo de reverberación según DB-HR.

Para calcular el tiempo de reverberación y la absorción acústica (A), el DB-HR indica que debe utilizarse la fórmula de Sabine, en la que hay que conocer los coeficientes de absorción de revestimientos y muebles, que deben proceder de ensayos de laboratorio o mediante tablas incluidas en Documentos Reconocidos del CTE.



El DB-HR establece que para satisfacer los valores límite de tiempos de reverberación indicados anteriormente en aulas y salas de conferencia de volumen hasta 350 m<sup>3</sup>, restaurantes y comedores, se utiliza el método de cálculo de tiempo de reverberación a partir de la absorción acústica (A) y el volumen del recinto.

El Código Técnico de la Edificación, en su sección DB-HR establece una ficha justificativa para realizar el cálculo de los valores límite del Tiempo de Reverberación. (TOMO II - ANEXO 1).

## 2.5 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL DISEÑO ACÚSTICO DE SALAS.

En este apartado se van a incluir aquellos parámetros acústicos que han sido medidos y calculados durante este trabajo.

### 2.5.1 Nivel de presión sonora directo (SPLd):

Es el sonido que va desde la fuente al observador, siendo el mismo que tenemos bajo las condiciones de campo libre. El sonido directo es un indicativo del sistema acústico, ya que si tienes una buena cobertura de sonido directo, tienes un buen sistema. Una buena cobertura se describe como plana y que varíe menos de 3dB.

La ecuación utilizada para el cálculo del Nivel de presión sonora directo (Direct SPL) es la siguiente:

$$SPLd = S + 10\log Pe - 20\log r + D \text{ (dB)} \quad (4)$$

S: Sensibilidad del altavoz (dB).

Pe: Potencia eléctrica aplicada (W).

r: Radio (m)

D: Pérdida por directividad (dB)

### 2.5.2 Nivel de presión sonora reverberante (SPLr):

Es la cantidad de sonido percibida por el observador que llega a él a través de las reflexiones en los paramentos del recinto.



La ecuación utilizada para el cálculo del Nivel de presión sonora reverberante (SPLr) es la siguiente:

$$SPLr = S + 10 \log Pe - 10 \log(Q_{ax} \cdot R) + 17 \text{ (dB)} \quad (5)$$

S: Sensibilidad del altavoz (dB).

Pe: Potencia eléctrica aplicada (W).

Qax: Factor de directividad axial (=1 para fuentes omnidireccionales).

Para el cálculo del nivel de presión sonora reverberante es necesaria la constante de sala (R), calculada a través de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{St \cdot \alpha_m}{1 - \alpha_m} \quad (6)$$

St: Superficie total de paramentos (m<sup>2</sup>).

$\alpha_m$ : Coeficiente de absorción media (Hz).

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha \cdot A}{St} \quad (7)$$

$\alpha$ : Coeficiente de absorción de cada material (Hz).

A: Superficie de cada paramento (m<sup>2</sup>).

St: Superficie total de paramentos (m<sup>2</sup>).

El término 17 dB corresponde con una radiación esférica del altavoz. Si la radiación del altavoz fuese hemisférica, dicho término debería ser sustituido por 14 dB. Ambas expresiones son aproximaciones estadísticas para el caso en que radie una única fuente omnidireccional en un recinto regular, con superficies absorbentes internas parecidas y un solo volumen constitutivo. En otros casos más complicados no queda más remedio que utilizar programas de predicción y simulación tipo EASE.

### 2.5.3 Nivel de presión sonora total (SPLt):

El sonido Total muestra el sumatorio de la energía directa y la reverberante en dB.



La ecuación para el cálculo del Nivel de presión sonora total (SPLt) es la siguiente:

$$SPLt = 10 \log[ 10^{(SPLd/10)} + 10^{(SPLr/10)} ] (dB) \quad (8)$$

Spld: Nivel de presión sonora directo (dB).

Splr: Nivel de presión sonora reverberante (dB).

El oído humano responde a estímulos sonoros de forma logarítmica, estos estímulos se representan en decibelios (dB), en un rango de 0 a 135dB.

Valores:

- 1dB: mínimo cambio perceptible.
- 3dB: cambio claramente percibido.
- 6dB: sonoridad doble.

#### 2.5.4 Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio):

Este concepto muestra la relación logarítmica entre el sonido directo y el sonido reverberante en dB. El resultado de esta relación nos muestra el sonido que prevalece, pudiendo ser:

- 0dB: Esto significa que el sonido directo es igual a reverberante.
- < 0dB: Esto significa que el sonido reverberante es mayor que el directo.
- > 0dB: Esto significa que el sonido directo es mayor que el reverberante.

Para la correcta audición en una sala nos interesa alcanzar valores superiores a 0dB para conseguir mayor cantidad de sonido directo.

La ecuación utilizada para el cálculo de la relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio) es la siguiente:

$$D/Rratio = \log \left[ \frac{10^{(Spld)}}{10^{(Splr)}} \right] (dB) \quad (9)$$

Spld: Nivel de presión sonora directo (dB).

Splr: Nivel de presión sonora reverberante (dB).



### 2.5.5 Pérdida de articulación de consonantes (Alcons):

Es el porcentaje medio de la pérdida de la articulación de las consonantes de un oyente. Cuanto más cerca está el oyente de la fuente la inteligibilidad será mayor. Lo mismo ocurre cuanto menor sea el tiempo de reverberación.

Valores:

- 0 – 3: Excelente.
- 3 – 7: Bien.
- 7 – 11: Aceptable.
- 11 – 15: Pobre.
- >12: Inaceptable.

## 2.6 OTROS PARÁMETROS ACÚSTICOS.

### 2.6.1 Índice de transmisión de la palabra rápida (Rasti):

Surge como simplificación del parámetro STI (índice de inteligibilidad de la palabra). Se calcula reduciendo el número de frecuencias moduladoras y portadoras. Permite cuantificar la inteligibilidad de la palabra entre 0 y 1.

Valores:

- 0,75 – 1,00: Excelente.
- 0,60 – 0,75: Bien.
- 0,45 – 0,60: Adecuado.
- 0,30 – 0,45: Pobre.
- 0,00 – 0,30: Inaceptable.

### 2.6.2 Distancia crítica:

Muestra la relación entre sonido directo y el reverberante en términos de distancia. La distancia crítica es la distancia a la que el sonido directo y el reverberante son iguales. Esto se representaría con un 1. Una representación con un número mayor que uno indica que el nivel de sonido reverberante en ese punto es mayor que el sonido directo proveniente de la fuente. Valores menores a 1 indican lo contrario.

---



### 2.6.3 Tiempo de llegada (Arrival Time):

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.

### 2.6.4 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. Importante a la hora de determinar la posición apropiada para los altavoces, así como para calcular retardos en sistemas distribuidos. Se aconseja siempre valores inferiores a 20 ms.

### 2.6.5 Medidas de claridad (C7, C50, C80 y Csplit):

C7: La claridad relaciona la cantidad de energía sonora inmediata que se produce dentro de los primeros 7ms, para la Voz, respecto a la energía sonora tardía que se produce después de transcurridos los 7ms.

C50: La claridad relaciona la cantidad de energía sonora inmediata que se produce dentro de los primeros 50ms, para la Voz, respecto a la energía sonora tardía que se produce después de transcurridos los 50ms.

C80: La claridad relaciona la cantidad de energía sonora inmediata que se produce dentro de los primeros 80ms, para la Música, respecto a la energía sonora tardía que se produce después de transcurridos los 80ms.

### 2.6.6 Niveles de presión (L7, L50, L80 y Lsplit):

Los niveles de presión (L) representan los valores del nivel sonoro de una cierta fuente fluctuante que resultan superados durante un porcentaje del tiempo total de la medida. En general, los más utilizados son los siguientes:

L7: Nivel sonoro total superado durante el 7ms de tiempo.

L50: Nivel sonoro total superado durante el 50ms de tiempo.

L80: Nivel sonoro total superado durante el 80ms de tiempo.

Lsplit: Nivel sonoro superado durante un tiempo intermedio establecido en 35ms.

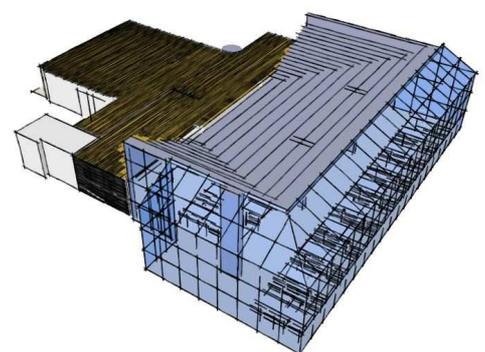


### 2.6.7 Índice de articulación (IA):

Este parámetro se basa en que la inteligibilidad de la palabra es proporcional a la diferencia media, en dB, entre el nivel enmascarante de ruido y el nivel eficaz de periodo largo en 12dB de la señal de la palabra, tomados a las frecuencias centrales de 20 bandas de frecuencia relativamente estrechas. Dicha proporcionalidad se mantiene siempre que el valor de la diferencia se encuentre entre 0 y 30dB. Las 20 bandas mencionadas anteriormente fueron escogidas ya que contribuían por igual al entendimiento de la palabra. El método exige que se determine la relación señal-ruido en cada una de las bandas. Dicho método tiene en cuenta el crecimiento no lineal del enmascaramiento y los efectos de la dispersión del enmascaramiento que se producen cuando se emplean niveles intensos de ruido o de palabra.

Valores:

- $0,3 < IA < 05$ : Aceptable.
- $0,5 < IA < 0,7$ : Bueno.
- $0,7 < IA < 1$ : Excelente.







## Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO.

En el siguiente capítulo se estudia la acústica de una sala concreta, el comedor-cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, para conocer sus cualidades acústicas y así realizar un estudio de mejora de los parámetros de inteligibilidad de la palabra.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SALA.

#### 3.1.1 Situación.

El comedor cafetería de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad de A Coruña, se encuentra en la planta baja del edificio situado en rúa da Fraga nº 27, en el campus universitario de A Zapateira. (Ver TOMO II - PLANOS: 01S-02S).



Imagen 6: Exterior EUAT (Fuente propia).



Imagen 7: Exterior EUAT (Fuente propia).

#### 3.1.2 Características.

Tiene una superficie útil de  $528,30\text{m}^2$  y presenta un volumen de  $2001,72\text{m}^3$ . El suelo se encuentra a la misma cota, mientras que el techo presenta irregularidades en altura.

Las características geométricas de la sala para su mayor comprensión están representadas en el TOMO II - PLANOS: Arquitectura - Estado Actual. A continuación se muestra una pequeña lista resumen:

- 03A: Planta.
- 04A: Planta techo.
- 05A-06A: Secciones.
- 07A: Planta de cotas.
- 08A: Planta de techo cotas.
- 09A-10A: Secciones acotadas.



A continuación para más información se incluyen unas imágenes para mayor detalle de la zona a analizar.



Imagen 8: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).



Imagen 9: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).



Imagen 10: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).

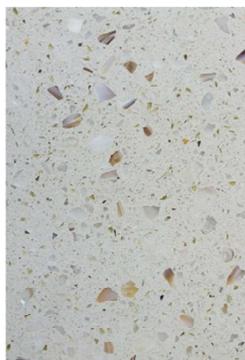


Imagen 11: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).

Para más información en el TOMO II - PLANOS, ver: 12A Imágenes de la sala.

### 3.1.3 Identificación y definición de los materiales.

La sala está compuesta por diversos materiales cuyas características principales se muestran a continuación:



Terrazo:

Baldosa hecha de trozos de mármol mezclado con mortero y posteriormente pulimentada, que se utiliza como pavimento. Se fabrica con dos capas de Mortero de Cemento: la cara vista, con trozos de piedra de diferente granulometría, y el cuerpo, fabricado con cemento y Arena.

Este material se encuentra como pavimento de todo el recinto a analizar.

Imagen 12: Terrazo (Fuente propia).



**Panel de madera:**

Tablero aglomerado con acabado haya liso de 12,5 mm de espesor y 6Kg/m<sup>2</sup> de densidad.

Este material se utiliza en el falso techo, tanto en la parte horizontal como en la escalonada. También se han considerado las puertas de madera.

Imagen 13: Panel de madera (Fuente propia).

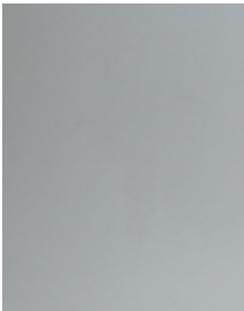


**Piedra:**

Aplacado irregular compuesto por placas de piedra, tipo Santiago, rejuntados con junta de mortero gris de un centímetro.

Este material se encuentra en alguno de los paramentos verticales del recinto a analizar.

Imagen 14: Aplacado de piedra (Fuente propia).



**Enfoscado de mortero:**

Revestimiento continuo, ejecutado con mortero de cemento usado como base para la aplicación de pintura. En este caso pintura blanca.

Este material se encuentra en alguno de los paramentos verticales del recinto a analizar.

Imagen 15: Enfoscado de mortero pintado (Fuente propia).



**Hormigón visto:**

El edificio tiene una estructura construida con hormigón armado, hormigón reforzado con barra de acero, cuyo acabado es visto.

En la zona a acondicionar, encontramos pilares con estas características.

Imagen 16: Hormigón visto (Fuente propia).



**Hormigón pintado:**

Algunos de los pilares que se encuentran en el recinto a acondicionar han sufrido pequeñas modificaciones, siendo estos pintados como los paramentos verticales.

Imagen 17: Hormigón pintado (Fuente propia).



Vidrio:

Acristalamiento simple de 5mm de espesor.

Para el cálculo acústico se simplifican los acristalamientos tomando toda su superficie como vidrio.

Imagen 18: Carpinterías (Fuente propia).



Acristalamiento doble:

Doble acristalamiento 5-6-5mm.

Para el cálculo acústico se simplifican los acristalamientos tomando toda su superficie como vidrio.

Imagen 19: Carpinterías (Fuente propia).



Espejo:

Superficie lisa y brillante hecha de una placa de vidrio recubierta en su parte posterior de mercurio, acero u otro metal, que refleja los objetos.

Este material se encuentra como paramento vertical en la zona tras la barra de la cafetería.

Imagen 20: Espejo (Fuente propia).

Para más información en el TOMO II - PLANOS, ver: 11A ACABADOS.

### 3.1.4 Coeficientes de absorción de los materiales.

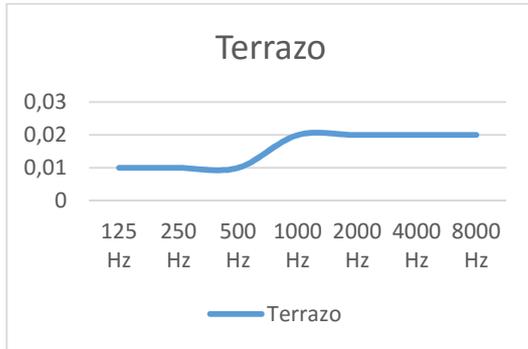
A la hora de calcular los parámetros acústicos de una sala la característica principal de los materiales que necesitamos conocer es el coeficiente de absorción. A continuación se muestran los coeficientes de absorción que conforman el recinto:

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

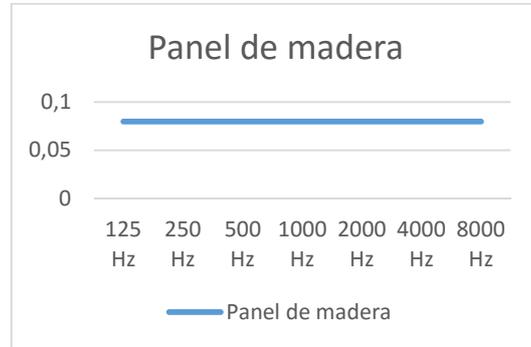
Tabla 2: Coeficientes de absorción (Catálogo de elementos constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA).



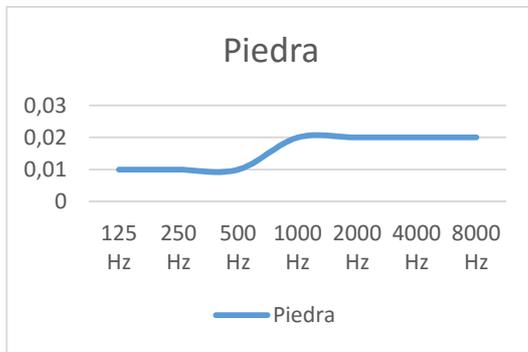
Las siguientes gráficas nos dan información sobre la absorción acústica de dichos materiales en bandas de octava:



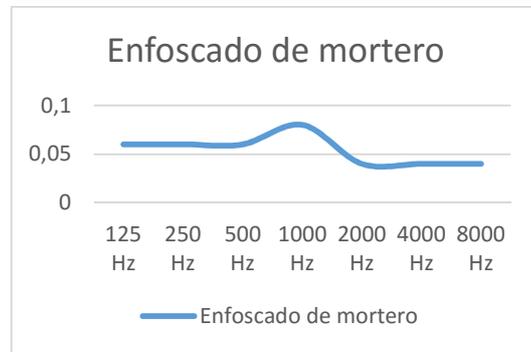
Gráfica 1: Coeficiente de absorción Terrazo.



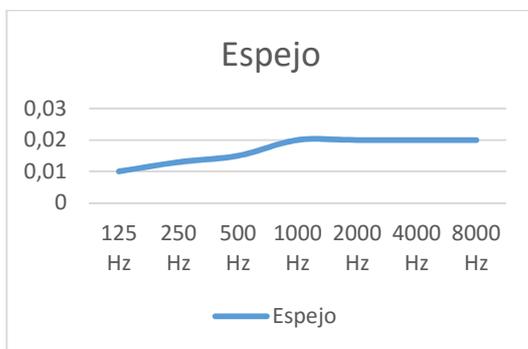
Gráfica 2: Coeficiente de absorción panel de madera.



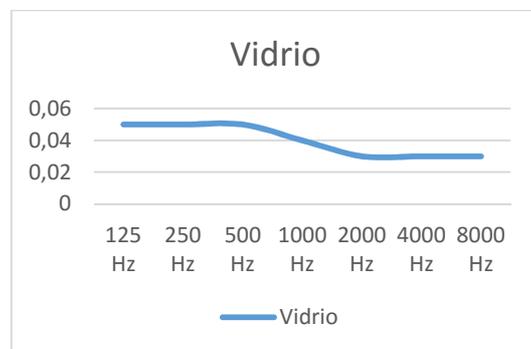
Gráfica 3: Coeficiente de absorción Piedra.



Gráfica 4: Coeficiente de absorción Enfoscado de mortero.



Gráfica 5: Coeficiente de absorción Espejo.



Gráfica 6: Coeficiente de absorción Vidrio.



Gráfica 7: Coeficiente de absorción Hormigón visto.



Gráfica 8: Coeficiente de absorción Hormigón pintado.



### 3.2 APLICACIÓN DEL CTE DB-HR.

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

En nuestro caso se trata de un comedor-cafetería por lo que el valor límite de tiempo de reverberación establecido por el CTE DB-HR para el recinto es de 0,9s.

Se ha realizado el cálculo del tiempo de reverberación mediante la ficha justificativa del CTE DB-HR, dicho cálculo se muestra en el TOMO II - Anexo 2, y el resultado obtenido es de 2,60s. Este resultado no cumple el valor límite por lo que la acústica de la sala es mala.

Utilizando el Código Técnico de la Edificación no se puede aportar más información sobre el comportamiento acústico de salas por lo que hemos utilizado herramientas tecnológicas avanzadas y de apoyo.

### 3.3 ENHANCE ACOUSTIC SIMULATOR FOR ENGINEERS (EASE).

La herramienta EASE (*Enhanced Acoustic Simulator for Engineers*) está compuesta por un conjunto de programas o módulos individuales que están interconectados entre sí. El software EASE ofrece a los diseñadores y consultores de sistemas un valioso conjunto de herramientas para todos los aspectos de la práctica profesional, a partir de un modelo detallado y realista, permite realizar una simulación de la acústica de un lugar. Ayuda a los diseñadores en el aprendizaje y el crecimiento, mostrando gráficamente predicciones exactas de la acústica en el mundo real. Los modelos EASE son una forma ideal para explorar las opciones y evaluar lo que funciona y lo que no funciona antes de que el lugar virtual se convierta en realidad. (EASE.afmg.eu).

Los beneficios de la simulación EASE:

- Convencer a los clientes con los cálculos realizados por el software de simulación de electro-acústico estándar de la industria.
- Asegúrese de cumplir con los requisitos para los niveles de presión sonora (SLP).
- Tomar conciencia de los obstáculos que permanecen ocultos sin simulación.
- Analizar y resolver los problemas acústicos antes de que surjan.



- Ahorra tiempo y dinero evitando múltiples iteraciones in situ.

### 3.4 MODELO ACÚSTICO CON EASE 4.4.

Una vez realizada la medición del recinto se procede a la creación de un modelo acústico a través del software informático EASE 4.4.

Para la realización de dicho modelo es necesario:

- Introducir la geometría de la sala en el software EASE 4.4.
- Asignar materiales a las superficies.
- Definir áreas de audiencia y posiciones de escucha.
- Introducir las fuentes sonoras.

Una vez se tiene el modelo del recinto hay que validarlo. Es decir, confirmar que la sala virtual representa a la sala real con ciertos márgenes de variación.

#### 3.4.1 Creación de un modelo acústico.

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

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

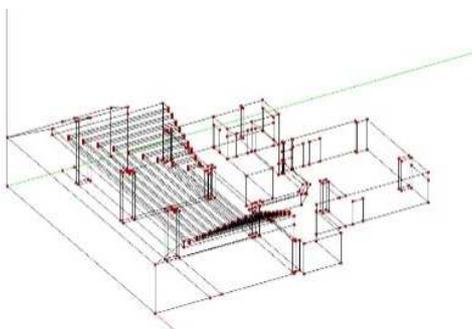


Imagen 21: Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

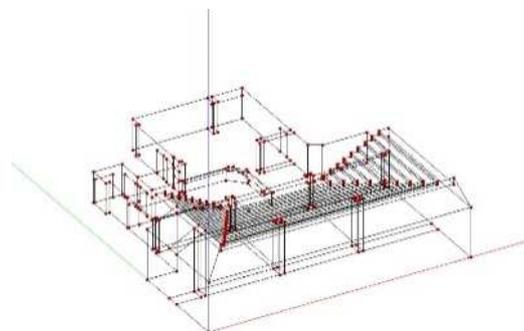


Imagen 22: Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

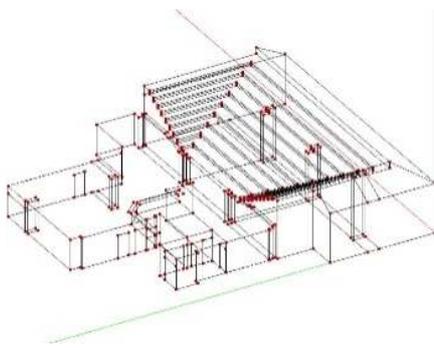


Imagen 23: Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

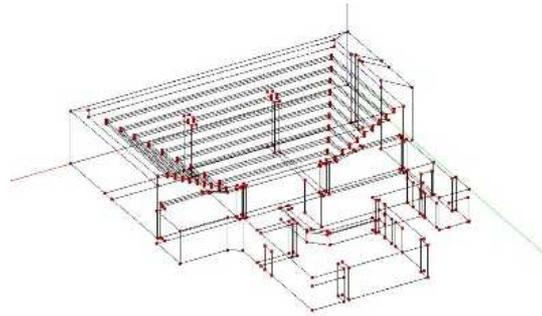


Imagen 24: Modelo acústico EASE 4.4 (Fuente: EASE 4.4).

### 3.4.2 Áreas de audiencia y posiciones de escucha.

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

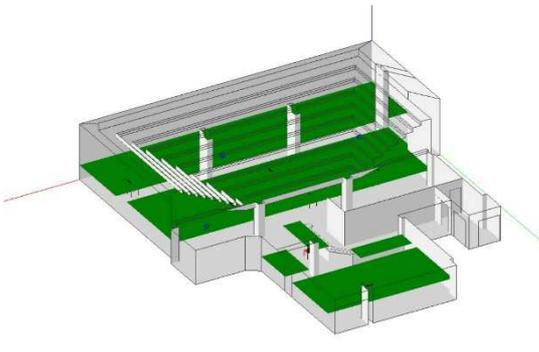


Imagen 25: Situación áreas de audiencia, (Fuente: EASE 4.4).

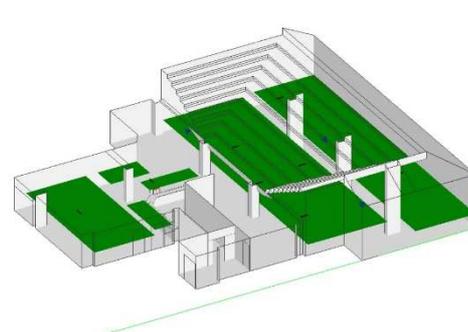


Imagen 26: Situación áreas de audiencia, (Fuente: EASE 4.4).

A Continuación se muestran las posiciones de los micrófonos con los que hemos realizado los cálculos analíticos, posiciones que serían utilizadas para la posible validación del modelo.

Micrófono	X (m)	Y (m)	Z (m)
M1	6,27	11,15	1,20
M2	7,70	1,90	1,20
M3	12,93	7,50	1,20
M4	11,67	11,57	1,20
M5	17,73	10,40	1,20
M6	21,83	3,90	1,20
M7	15,71	18,31	1,80
M8	14,81	25,01	1,20

Tabla 3: Posiciones de los micrófonos (Fuente: EASE 4.4).



### 3.4.3 Fuentes sonoras.

Para emular la situación de medida, se sitúan tres altavoces con una directividad omnidireccional (Sphere) distribuidos por el recinto. Las simulaciones se realizan con cada una de estas fuentes:

Loudspeaker	Speaker Model	X (m)	Y (m)	Z (m)
F1	SPHERE	20,83	12,34	1,50
F2	SPHERE	14,73	4,60	1,50
F3	SPHERE	5,00	6,60	1,50

Tabla 4: Posiciones de las fuentes omnidireccionales (Fuente: EASE 4.4).

Las fuentes seleccionadas emiten 96,78 dB de Presión sonora (SPL) a 1m.

Más información sobre las posiciones de escucha y fuentes sonoras: TOMO II - PLANOS, ver: 24E Posiciones de fuentes y micrófonos para EASE 4.4.



### 3.5 RESULTADOS.

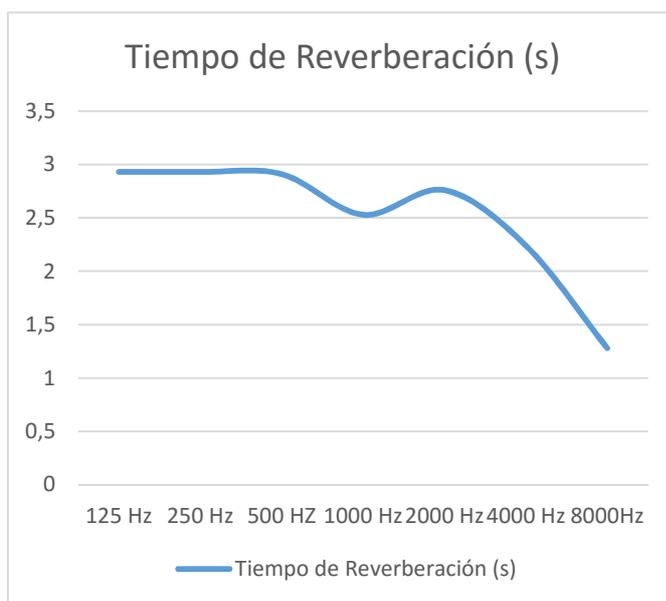
A continuación mostraremos los resultados obtenidos con el software informático EASE 4.4 de los parámetros acústicos más importantes.

#### 3.5.1 Tiempo de reverberación.

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

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

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



Gráfica 9: Tiempo de reverberación, (Fuente: EASE 4.4).

El cálculo del tiempo de reverberación mediante la ficha justificativa del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HR), comprobado mediante la herramienta del ministerio, reflejado en el TOMO II - Anexo 2 es el siguiente:

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

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

### 3.5.2 Nivel de presión sonora directo (SPLd).

Muestra la cantidad de sonido directo que llega a la sala sin ningún tipo de reflexiones. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

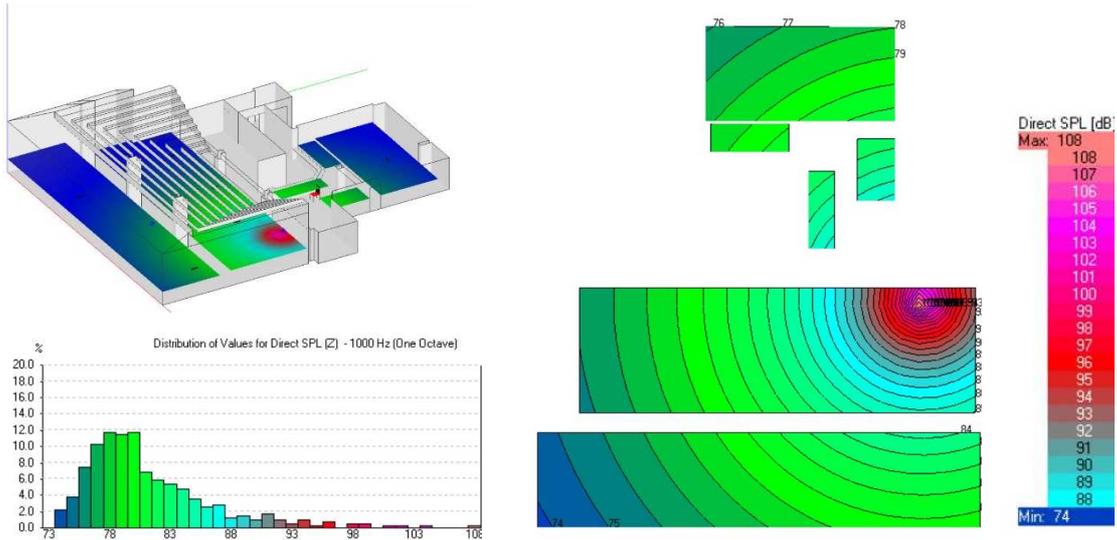


Imagen 27: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente2:

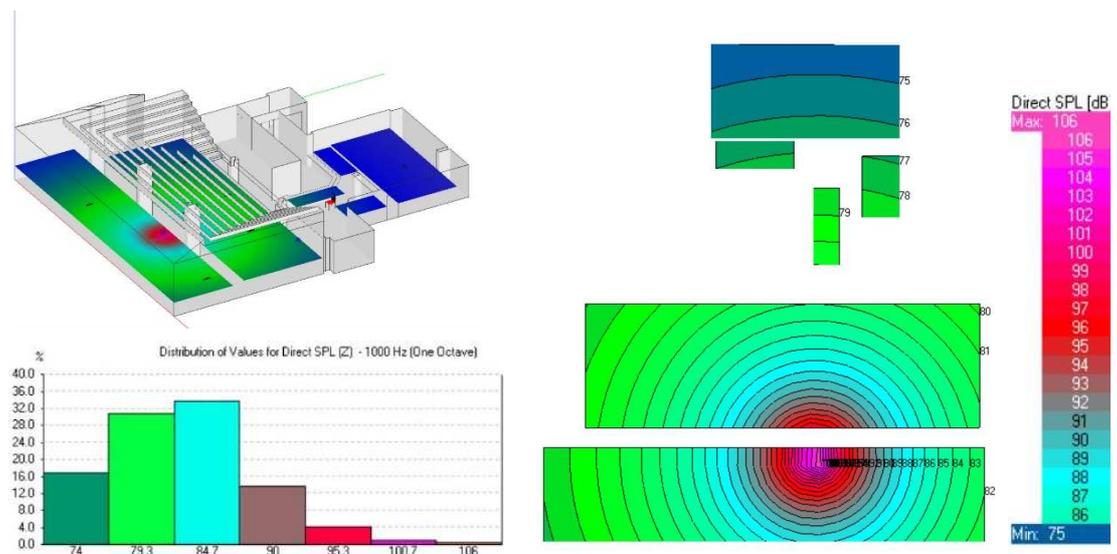


Imagen 28: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).



Fuente 3:

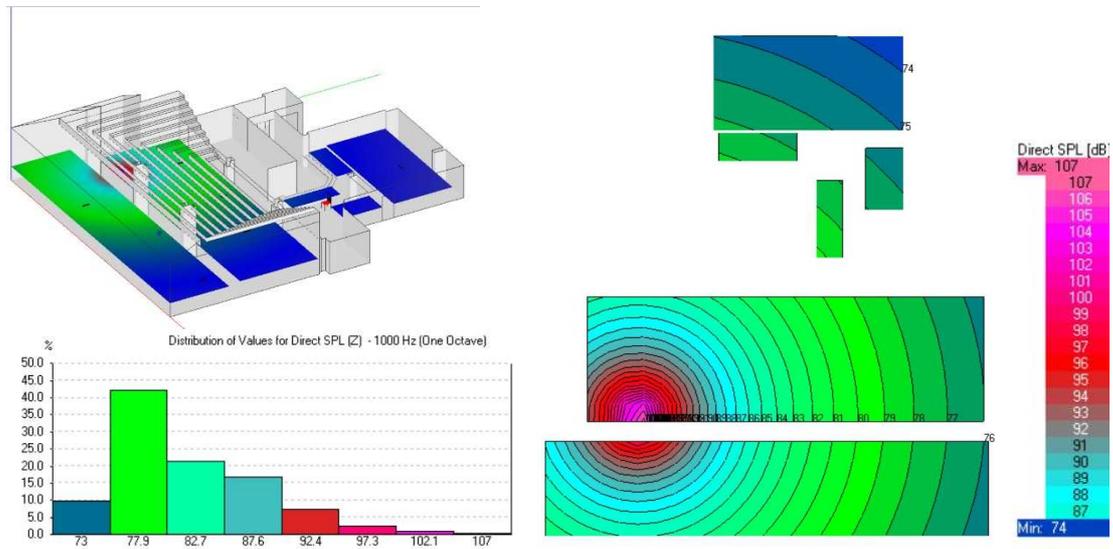


Imagen 29: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4)

En las imágenes anteriores se puede apreciar como los niveles más altos se encuentran en las zonas más próximas a la fuente, esto es debido a la simulación basada en la norma, UNE-EN ISO 3382-2 Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos, utilizando tres posiciones de fuente. El valor de este campo depende de la posición del punto en el que se encuentra el oyente y no de las características físicas de la sala.

El estudio de este parámetro se debe a que conociendo el valor de éste respecto al valor del campo reverberante se puede estimar la inteligibilidad. Para ver el comportamiento de la sala se ha simulado el campo sonoro directo a 1000 Hz (Frecuencias medias).

### 3.5.3 Nivel de presión sonora total (SPLt).

El campo sonoro total es el resultante de la suma del campo sonoro directo y el reverberante. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

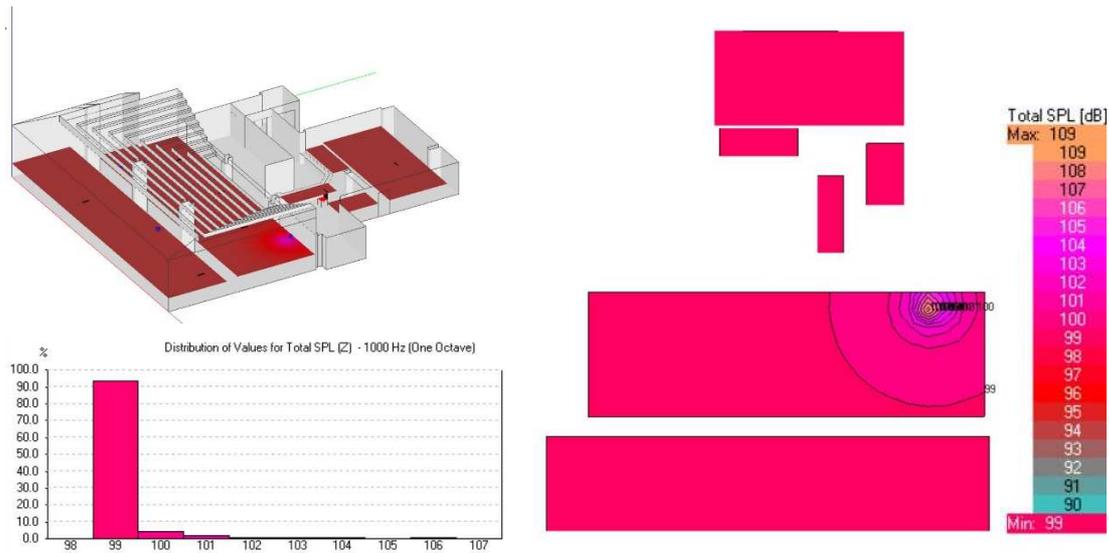


Imagen 30: Nivel de Presión sonora Total Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

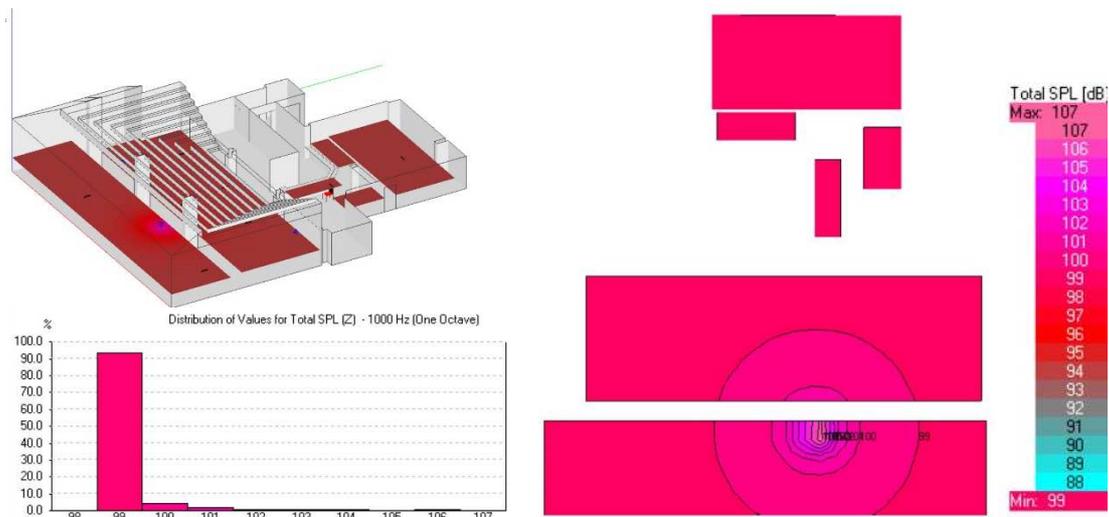


Imagen 31: Nivel de Presión sonora Total Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).



Fuente 3:

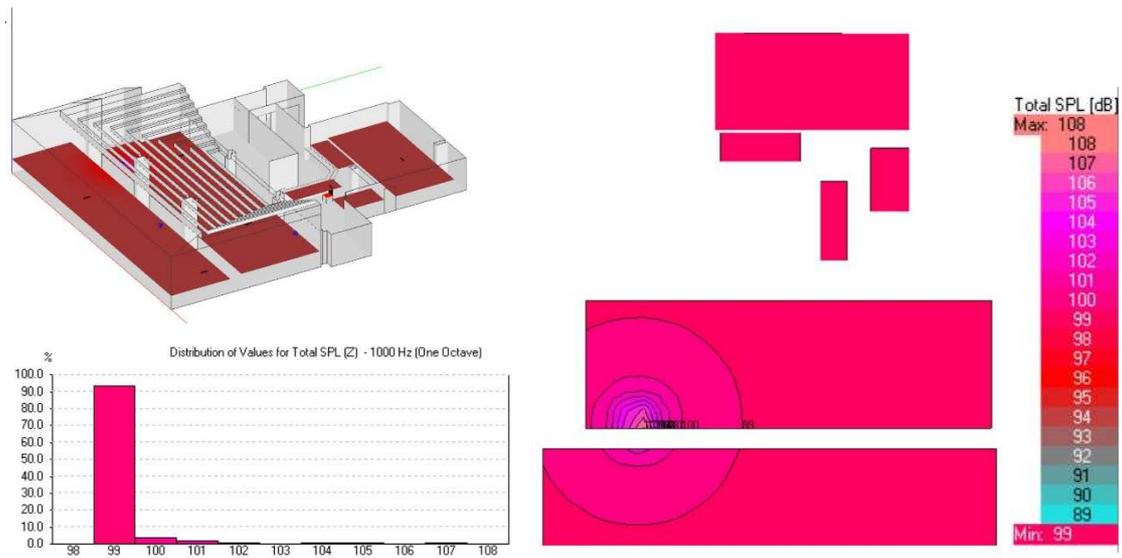


Imagen 32: Nivel de Presión sonora Total Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

El valor de este parámetro será mayor que el del campo sonoro directo. El campo reverberante es el debido a las múltiples reflexiones que se superponen entre sí dando lugar a un nivel de presión sonora prácticamente constante en todos los puntos del recinto.

### 3.5.4 Relación campo directo-campo reverberante (D/R ratio).

Este parámetro aporta información sobre la relación entre el campo directo y el reverberante en la sala. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

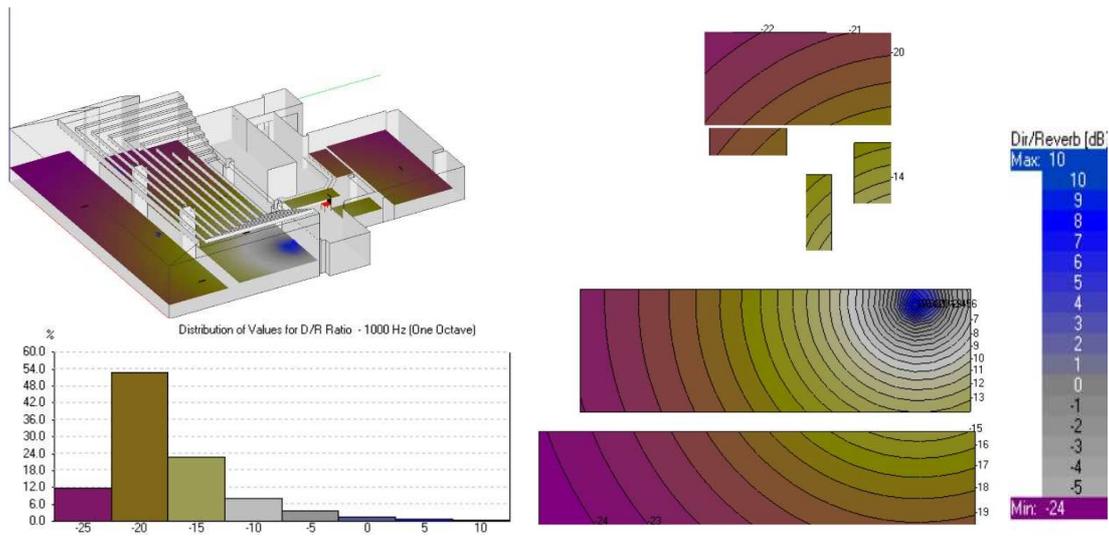


Imagen 33: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

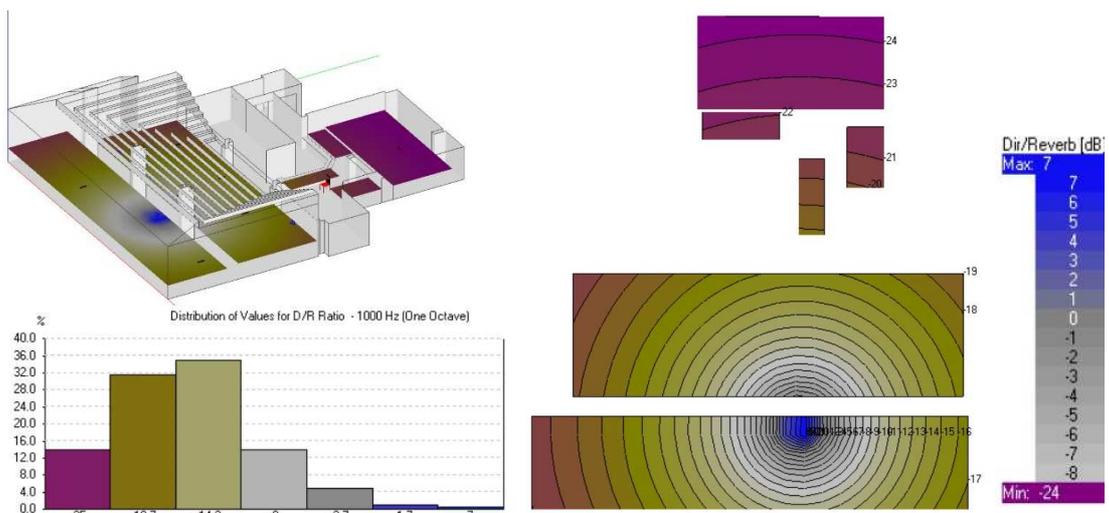


Imagen 34: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).



Fuente 3:

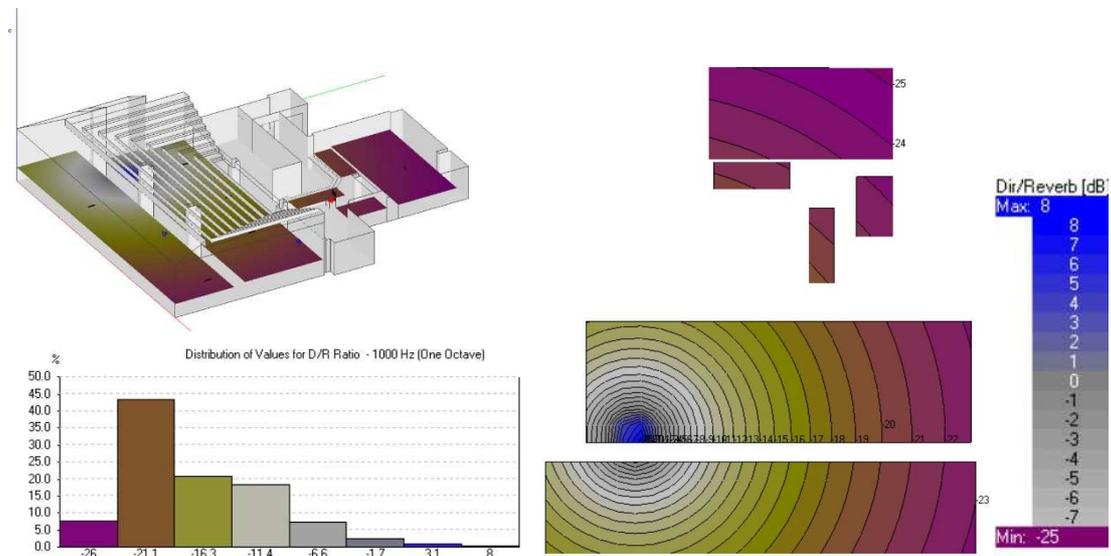


Imagen 35: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Cuanto mayor sea el valor del campo reverberante menor será la inteligibilidad por tanto es conveniente que este valor no sea demasiado grande. Tampoco es conveniente que el nivel reverberante sea nulo (sonido seco).

Los datos negativos muestran que el campo reverberante es mayor que el campo directo, mientras que los valores positivos mostrarían lo opuesto.

### 3.5.5 Pérdida de articulación de consonantes (% Alcons).

Este concepto muestra las pérdidas de articulación de consonantes del oyente. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

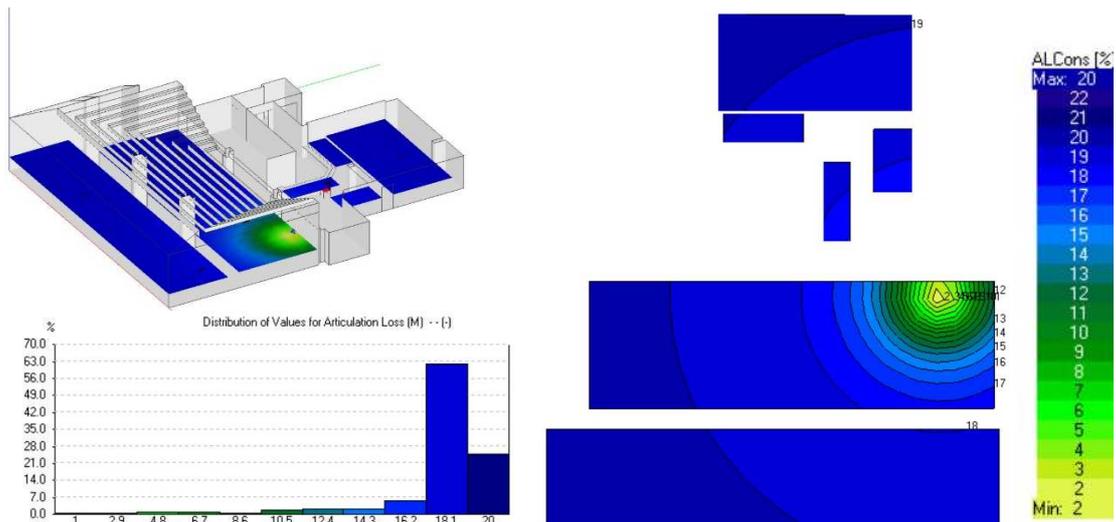


Imagen 36: % Alcons Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

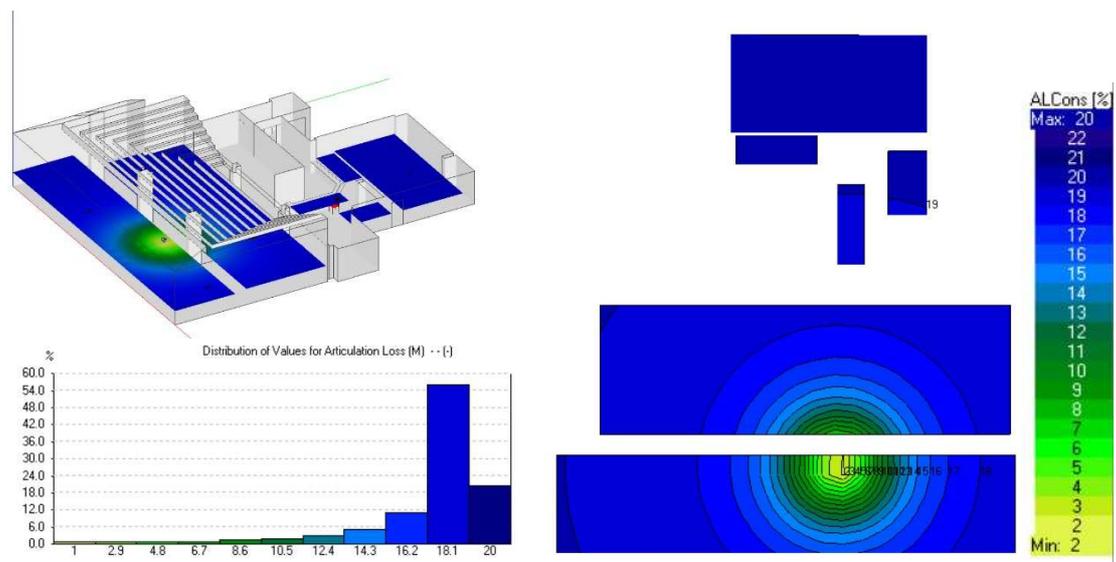


Imagen 37: % Alcons Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).



Fuente 3:

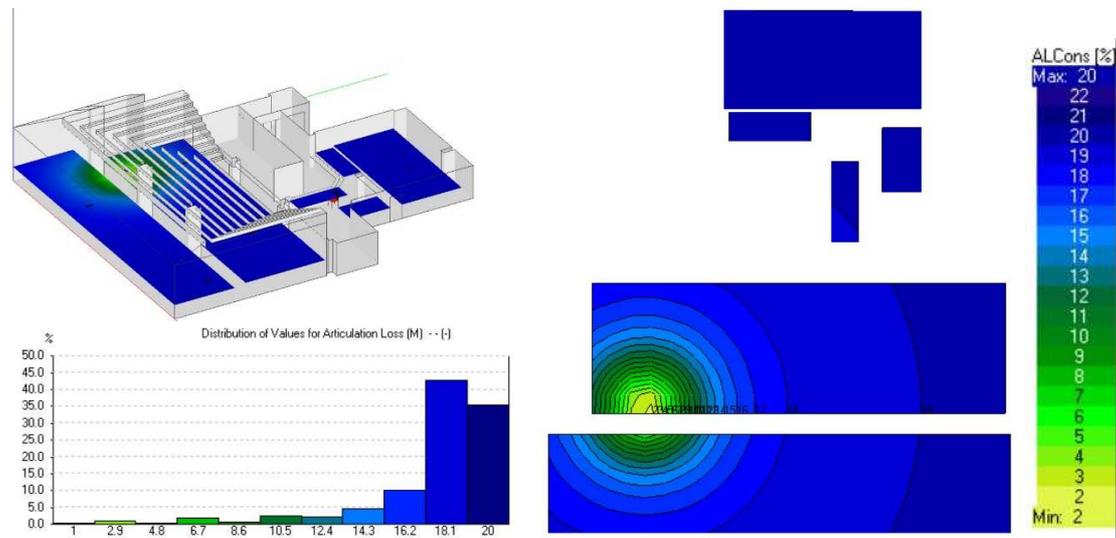
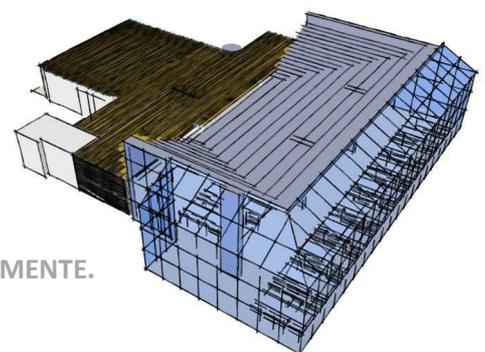


Imagen 38: % Alcons Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Los valores obtenidos para este parámetro se encuentran entre el 2-20%, siendo más predominantes los valores mayores al 13%, por lo que se puede decir que el índice de pérdida de consonantes es elevado, considerando la inteligibilidad de la palabra es pobre (11-15%) o inaceptable (>12%), dependiendo de la zona del recinto.



---

**CAPÍTULO IV:**  
**JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS ANALÍTICAMENTE.**





## Capítulo IV:

### JUSTIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS ACÚSTICOS ANALÍTICAMENTE.

Tras el cálculo de los parámetros acústicos mediante el software informático EASE 4.4 se procede a la justificación de los mismos de forma analítica. Para esto comprobaremos para cada posición de fuente (F), los resultados obtenidos en cada micrófono (M).

#### 1. Sensibilidad del altavoz (S).

En primer lugar procedemos a calcular la sensibilidad del altavoz (S), partiendo de la fórmula del nivel de presión sonora (SPLd), partiendo de los datos obtenidos de la fuente seleccionada.

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

Sensibilidad del altavoz:

Frequ.	Ele. Power	SPL (1m)
100 Hz	4.762	96.78
125 Hz	4.762	96.78
160 Hz	4.762	96.78
200 Hz	4.762	96.78
250 Hz	4.762	96.78
315 Hz	4.762	96.78
400 Hz	4.762	96.78
500 Hz	4.762	96.78
630 Hz	4.762	96.78
800 Hz	4.762	96.78
1000 Hz	4.762	96.78
1250 Hz	4.762	96.78
1600 Hz	4.762	96.78
2000 Hz	4.762	96.78
2500 Hz	4.762	96.78
3150 Hz	4.762	96.78
4000 Hz	4.762	96.78
5000 Hz	4.762	96.78
6300 Hz	4.762	96.78
8000 Hz	4.762	96.78
10000 Hz	4.762	96.78

Altavoz SPHERE:

Datos:

$$\begin{aligned} SPLd (1W, 1m \text{ eje}) &= 96,78 \text{ dB.} \\ Pe &= 4,762 \text{ W.} \\ r &= 1 \text{ m.} \\ D &= 0. \end{aligned}$$

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

$$S = 96,78 - 10\log 4,762 + 20\log 1 + 0 \text{ (dB)}$$

$$S = 90 \text{ dB}$$

Tabla 6: Propiedades del altavoz ESPHERE, (Fuente: EASE 4.4).



## 2. Nivel de presión sonora directo (SPLd).

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

SPLd – F1	Micrófono	S (dB)	Pe (W)	r (m)	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLd (dB) EASE
	M1	90	4,762	14,71	73,43	73,41
M2	90	4,762	16,78	72,28	72,20	
M3	90	4,762	9,27	77,44	77,39	
M4	90	4,762	9,20	77,50	77,46	
M5	90	4,762	3,67	85,49	85,47	
M6	90	4,762	8,50	78,19	78,14	
M7	90	4,762	7,86	78,87	78,83	
M8	90	4,762	14,03	73,84	73,77	

Tabla 7: SPLd Fuente 1, (Fuente: EASE 4.4).

SPLd – F2	Micrófono	S (dB)	Pe (W)	r (m)	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLd (dB) EASE
	M1	90	4,762	10,70	76,19	76,14
M2	90	4,762	7,54	79,23	79,20	
M3	90	4,762	3,43	86,07	86,06	
M4	90	4,762	7,62	79,14	79,10	
M5	90	4,762	6,54	80,47	80,44	
M6	90	4,762	7,14	79,71	79,67	
M7	90	4,762	13,74	74,02	73,95	
M8	90	4,762	20,41	70,58	70,48	

Tabla 8: SPLd Fuente 2, (Fuente: EASE 4.4).

SPLd – F3	Micrófono	S (dB)	Pe (W)	r (m)	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLd (dB) EASE
	M1	90	4,762	4,73	83,28	83,25
M2	90	4,762	5,43	82,08	82,06	
M3	90	4,762	7,99	78,73	78,69	
M4	90	4,762	8,32	78,38	78,33	
M5	90	4,762	13,29	74,31	74,24	
M6	90	4,762	17,05	72,15	72,06	
M7	90	4,762	15,87	72,77	72,69	
M8	90	4,762	20,86	70,39	70,29	

Tabla 9: SPLd Fuente 3, (Fuente: EASE 4.4).



### 3. Nivel de presión sonora reverberante (SPLr).

El software informático EASE 4.4 no calcula valores de nivel de presión sonora reverberante, calcula directamente el nivel de presión sonora total. Para la comprobación analítica, se procede a calcular el nivel de presión sonora reverberante para a continuación calcular el nivel de presión sonora total y la relación entre campo directo - campo reverberante.

$$SPLr = S + 10\log Pe - 10\log(Qax \cdot R) + 17 \text{ (dB)}$$

SPLr – F1 F2 F3	Micrófono	S (dB)	Pe (W)	Qax	R	SPLr (dB) ANALÍTICO
	M1	90	4,762	1	95,10	94,00
M2	90	4,762	1	95,10	94,00	
M3	90	4,762	1	95,10	94,00	
M4	90	4,762	1	95,10	94,00	
M5	90	4,762	1	95,10	94,00	
M6	90	4,762	1	95,10	94,00	
M7	90	4,762	1	95,10	94,00	
M8	90	4,762	1	95,10	94,00	

Tabla 10: SPLr Fuentes 1, 2 y 3, (Fuente: propia).

### 4. Nivel de presión sonora total (SPLt).

$$SPLt = 10 \log[ 10^{(SPLd/10)} + 10^{(SPLr/10)} ] \text{ (dB)}$$

SPLt – F1	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	94,03	93,94
M2	82,08	94,00	94,03	93,93	
M3	78,73	94,00	94,09	94,00	
M4	78,38	94,00	94,09	94,00	
M5	74,31	94,00	94,57	94,48	
M6	72,15	94,00	94,11	94,01	
M7	72,77	94,00	94,13	94,03	
M8	70,39	94,00	94,04	93,94	

Tabla 11: SPLt Fuente 1, (Fuente: EASE 4.4).



SPLt – F2	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	94,07	93,97
M2	82,08	94,00	94,14	94,04	
M3	78,73	94,00	94,65	94,56	
M4	78,38	94,00	94,14	94,04	
M5	74,31	94,00	94,18	94,09	
M6	72,15	94,00	94,15	94,06	
M7	72,77	94,00	94,04	93,94	
M8	70,39	94,00	94,02	93,92	

Tabla 12: SPLt Fuente 2, (Fuente: EASE 4.4).

SPLt – F3	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) ANALÍTICO	SPLt (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	94,35	94,26
M2	82,08	94,00	94,27	94,17	
M3	78,73	94,00	94,12	94,03	
M4	78,38	94,00	94,11	94,02	
M5	74,31	94,00	94,04	93,95	
M6	72,15	94,00	94,02	93,93	
M7	72,77	94,00	94,03	93,93	
M8	70,39	94,00	94,02	93,92	

Tabla 13: SPLt Fuente 3, (Fuente: EASE 4.4).

### 5. Ratio Campo directo – Campo reverberante (D/R ratio).

$$D/R \text{ ratio} = \log \left[ \frac{10^{(SPLd)}}{10^{(SPLr)}} \right] \text{ (dB)}$$

D/R ratio – F1	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	-20,57	-20,49
M2	82,08	94,00	-21,71	-21,70	
M3	78,73	94,00	-16,56	-16,51	
M4	78,38	94,00	-16,49	-16,44	
M5	74,31	94,00	-8,51	-8,43	
M6	72,15	94,00	-15,80	-15,76	
M7	72,77	94,00	-15,12	-15,07	
M8	70,39	94,00	-20,16		

Tabla 14: D/R ratio Fuente 1, (Fuente: EASE 4.4).



D/R ratio – F2	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	-17,80	-17,76
M2	82,08	94,00	-14,76	-14,70	
M3	78,73	94,00	-7,92	-7,84	
M4	78,38	94,00	-14,86	-14,80	
M5	74,31	94,00	-13,53	-13,46	
M6	72,15	94,00	-14,29	-14,23	
M7	72,77	94,00	-19,98	-19,95	
M8	70,39	94,00	-23,41	-23,42	

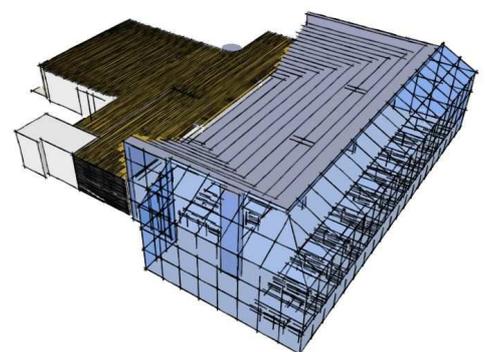
Tabla 15: D/R ratio Fuente 2, (Fuente: EASE 4.4).

D/R ratio – F3	Micrófono	SPLd (dB) ANALÍTICO	SPLr (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) ANALÍTICO	D/R ratio (dB) EASE
	M1	83,28	94,00	-10,71	-10,65
M2	82,08	94,00	-11,91	-11,84	
M3	78,73	94,00	-15,27	-15,21	
M4	78,38	94,00	-15,62	-15,57	
M5	74,31	94,00	-19,69	-19,66	
M6	72,15	94,00	-21,85	-21,84	
M7	72,77	94,00	-21,23	-21,21	
M8	70,39	94,00	-23,60	-23,61	

Tabla 16: D/R ratio Fuente 3, (Fuente: EASE 4.4).

Los resultados de los parámetros acústicos calculados con el software informático EASE 4.4 que se han utilizado para la validación de los cálculos analíticos se muestran en el TOMO II - Anexo 3, para cada posición Fuente-Micro en bandas de octava.









## Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO.

En este capítulo se desarrolla cual sería el proceso de validación del modelo creado con el software informático EASE 4.4. La validación del modelo real se deja como líneas futuras para continuar con el aprendizaje, dicho proceso se realizará en colaboración con el Máster Universitario de Ingeniería Acústica de Edificación y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

### 5.1 PROCESO DE MEDICIÓN.

#### 5.1.1 Metodología.

La metodología utilizada es en base a lo especificado en la norma UNE-EN ISO 3382-2: 2008. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios.

Los valores obtenidos a partir de las medidas realizadas por un lado van a servir para valorar acústicamente el recinto y por otro lado van a permitir realizar una validación del modelo virtual de la sala.

El número de personas puede influir mucho en el proceso de medición del tiempo de reverberación, debería realizarse en un recinto sin personas, por lo que para este proceso se permite hasta dos personas presentes.

#### 5.1.2 Campo de aplicación de la UNE EN ISO 3382-2.

Esta normativa muestra los métodos de medida del tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Esta normativa está orientada a la medida del tiempo de reverberación de un recinto grande ( $>300\text{m}^3$ ). Por lo que se adapta perfectamente al recinto a analizar, cuyo volumen es de  $2001,72\text{m}^3$ .

#### 5.1.3 Instrumentación.

El equipamiento utilizado para la realización de las medidas cumple con lo especificado en la norma UNE-EN ISO 3382. El equipo de medición debe cumplir los requisitos de un sonómetro de tipo 1, de acuerdo con la Norma IEC 61672-1. Los filtros



de octava o de un tercio de octava deben cumplir con lo establecido en la Norma IEC 61260.

El instrumental necesario es el siguiente:

Fuente acústica:

La fuente debería ser lo más omnidireccional posible. 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.

Micrófono 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.
- A un registrador de señal para un análisis posterior.

Micrófono y filtro:

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.

Equipo de conformación del registro de decrecimiento del nivel:

El equipo para conformar (y mostrar y/o evaluar) el registro de decrecimiento debe utilizar alguno de los siguientes

elementos:

- a) promediado exponencial, con una curva continua como salida.
- b) promediado exponencial, con puntos de muestreo discretos sucesivos, a partir del promedio continuo como salida.
- c) promediado lineal, con promedios lineales discretos sucesivos como salida.

Sobresaturación:

No se debe admitir ninguna sobresaturación en ninguna fase del equipo de medición. Cuando se utilizan fuentes acústicas impulsivas, se deben utilizar dispositivos indicadores de niveles de pico para detectar las sobresaturaciones.

A continuación se muestra un esquema básico del instrumental necesario para realizar las mediciones.

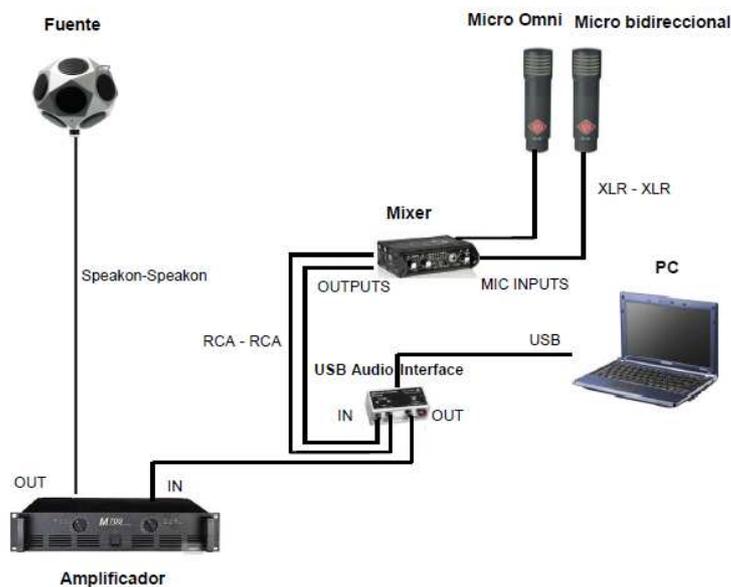


Imagen 39: Instrumental necesario para realizar la validación, (Fuente: EASE 4.4).

## 5.2 VALIDACIÓN.

Para poder contar con un modelo acústico fiable, se deben contrastar los resultados aportados por el software con los valores medidos in situ.

Una vez que se tiene la geometría en EASE, con los materiales asignados, creada la audiencia y las posiciones de fuentes y oyentes situados en la misma ubicación que cuando se realizaron las medidas, se deberá seguir el siguiente proceso para realizar la validación del modelo:

- Simular.
- Comparar los parámetros simulados con los medidos.



- Modificar los materiales hasta que se tengan valores del orden de los medidos.

Se ajusta en primer lugar el tiempo de reverberación. Si bien no es una magnitud suficiente para considerar la adecuación perfecta de la acústica de una sala, la obtención de éste en fases previas al ajuste concreto del campo sonoro, permite comprobar si el recinto se adecúa a nuestras necesidades.

Para realizar estos cálculos se utilizarían: las 3 fuentes utilizadas para el cálculo con el software informático EASE 4.4, así como los 8 puntos de medida (oyentes). Una vez obtenidos los resultados in situ se comparan con los obtenidos en el modelo para cada posición fuente-micro.

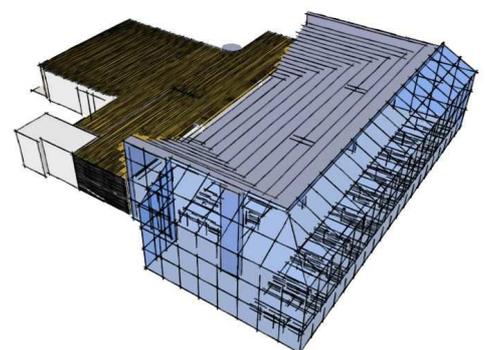
Para ajustar el tiempo de reverberación se modifican los materiales asignadas a cada superficie y su coeficiente de absorción.

Una vez ajustado el tiempo de reverberación, se comprueba que el resto de parámetros sean del orden de los valores medidos in situ. Debemos confirmar que la sala virtual representa correctamente a la sala real con ciertos márgenes de variación.



---

**CAPÍTULO VI:  
ESTUDIO DE MEJORA.**







## Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA.

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

Se ha decidido actuar como parte principal de la mejora sobre el falso techo plano del recinto y sobre el paramento recubierto por piedra; además se ha propuesto la instalación de estores acústicos en la ventana orientada al noroeste.

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE LA SALA ACONDICIONADA.

#### 6.1.1 Características.

Se ha optado por sustituir el falso techo plano de panel de madera y el revestimiento de piedra del recinto original, debido a que al tratarse de un comedor cafetería consideramos que el terrazo utilizado como pavimento es muy adecuado y que cualquier modificación que pudiésemos hacer en la zona de galería afectaría a la estética del edificio. Por lo que la instalación de paneles acústicos tanto en falso techo como en revestimientos verticales es la mejor opción por su simplicidad técnica y su eficacia en cuanto a la acústica de la sala.

Para cumplir con el tiempo máximo de reverberación fijado por el CTE DB-HR para comedores y restaurantes se ha complementado la medida anterior con la instalación de estores acústicos en la ventana orientada al noroeste.

Con las soluciones adoptadas tanto la superficie del recinto como el volumen no varían conservando los valores del original. Lo mismo pasa con la geometría, puesto que no se ha modificado con la solución aportada.

Volumen del recinto acondicionado:	528,30 m <sup>2</sup>
Superficie útil del recinto acondicionado:	2001,72 m <sup>3</sup>



Las características geométricas de la sala acondicionada para su mayor comprensión están representadas en el TOMO II - PLANOS: Arquitectura - Estado acondicionado, a continuación se muestra una pequeña lista resumen:

- 13R: Planta.
- 14R: Planta techo.
- 15R: Secciones.
- 16R: Secciones.
- 17R: Planta de cotas.
- 18R: Planta de techo cotas.
- 19R: Secciones acotadas.
- 20R: Secciones acotadas.

A continuación para más información se incluyen unas imágenes para mayor detalle de la zona a analizar. Se ha realizado un boceto 3D destacando las zonas modificadas: Falso techo plano, revestimiento en pared e instalación de estor acústico.



Imagen 40: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).



Imagen 41: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).



Imagen 42: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).



Imagen 43: Imagen comedor-cafetería EUAT (Fuente propia).

### 6.1.2 Identificación y definición de nuevos materiales.



Panel acústico:

Paneles de melamina perforados (17,50%), de 16mm de espeso y densidad 10Kg/m<sup>2</sup>. Diseñados para ofrecer los niveles de tiempo de reverberación e inteligibilidad óptimos para cada lugar, gracias a sus combinaciones de canales, en su cara vista, y perforaciones circulares, en su cara oculta.

Utilizado como falso techo y revestimiento de paramento vertical. Se ha elegido como acabado madera de haya para que siga la continuidad de acabado con el falso techo escalonado, en el que no hemos realizado ninguna modificación.

Imagen 44: Panel acústico perforado (Spigoacustic).



Imagen 45: Acabados (Spigoacustic).

Reacción al fuego: B-s2-d0, puesto que se han seleccionado paneles ignífugos.

El sistema utilizado para la sujeción del falso techo consiste en perfiles ocultos de 15mm, mientras que la sujeción del paramento vertical utiliza perfiles omega y grapas.

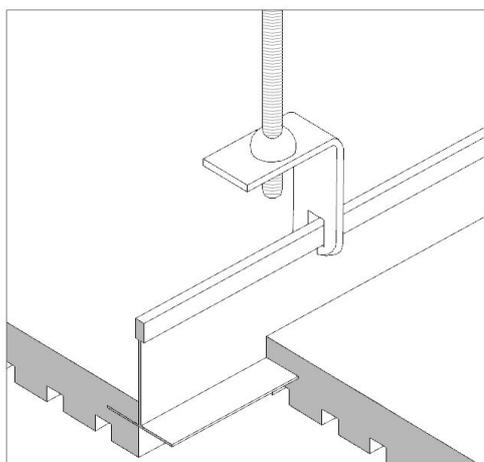


Imagen 46: Sistema falso techo (Spigoacustic).

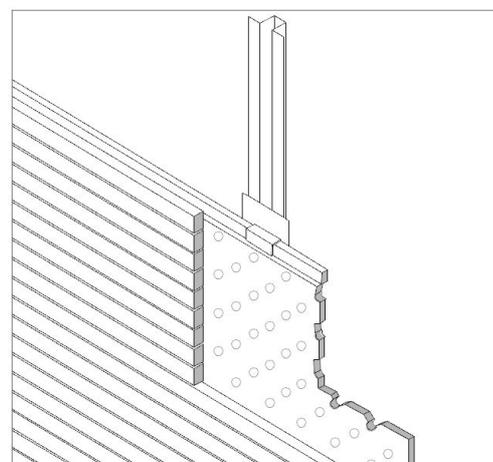


Imagen 47: Sistema revestimiento vertical (Spigoacustic).

La ficha técnica del panel acústico utilizado se muestra en el TOMO II - Anexo 4.

Estores acústicos Isol Vibrasto:

Cortinas sin vuelo, que están compuestos por varios paneles que se mueven horizontalmente por unas guías o rieles, cruzándose y superponiéndose entre sí.



Imagen 48: Estor acústico (Isol Vibrasto).

Los paneles empleados en nuestro caso están formados por una cara textil unida a una espuma de 10mm de espesor con características absorbentes.

Ancho del panel: 1500mm.

Reacción al fuego: B-s3-d0.

Color:

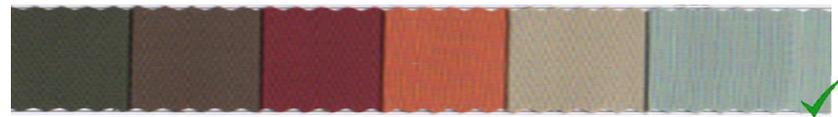


Imagen 49: Tejidos (Isol Vibrasto).

Para más información en el TOMO II – PLANOS, ver 21R: ACABADOS.

### 6.1.3 Coeficientes de absorción de los materiales.

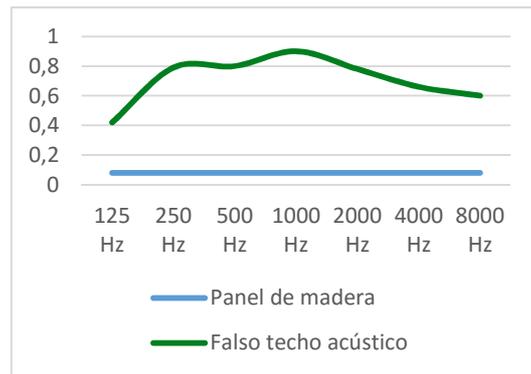
A continuación se muestran los coeficientes de absorción de los materiales que conforman el recinto acondicionado:

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

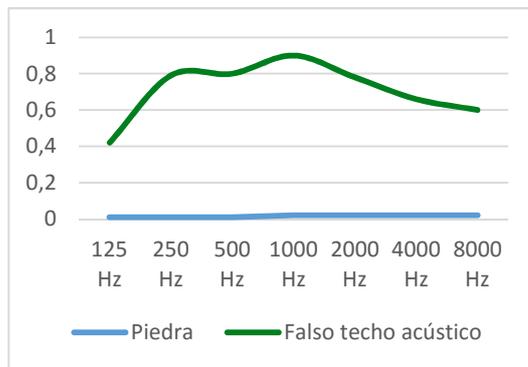
Tabla 17: Coeficientes de absorción (Catálogo de elementos constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA.



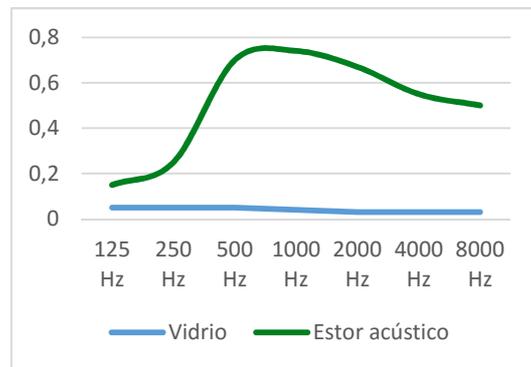
A continuación se muestra una comparativa entre los coeficientes de absorción de los materiales originales del recinto y los materiales por los que se han sustituido para el cálculo en el acondicionamiento acústico. Como se observa los materiales elegidos presentan buen comportamiento acústico.



Gráfica 10: Coeficiente de absorción Falso Techo acústico – Panel de madera.



Gráfica 11: Coeficiente de absorción Falso techo acústico – Piedra.



Gráfica 12: Coeficiente de absorción Estor acústico – Vidrio.

## 6.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN SEGÚN DB-HR.

Se ha realizado el cálculo del tiempo reverberación mediante la ficha justificativa del CTE DB-HR, dicho cálculo se muestra en el TOMO II - Anexo 5, y el resultado obtenido es de 0,90s. Este resultado cumple el valor máximo del tiempo de reverberación para la sala a analizar.

Al igual que para el análisis del recinto de la sala original se han utilizado herramientas tecnológicas avanzadas y de apoyo para aportar mayor información sobre las características acústicas de la sala analizada.

## 6.3 MODELO ACÚSTICO CON EASE.

Dado que la geometría de la sala no varía se utiliza el mismo modelo empleado para el cálculo de los parámetros acústicos de la sala original.



Se asignan los nuevos materiales a las caras que sufren modificaciones y se vuelven a realizar los cálculos con el software informático EASE 4.4.

## 6.4 RESULTADOS DE LA MEJORA.

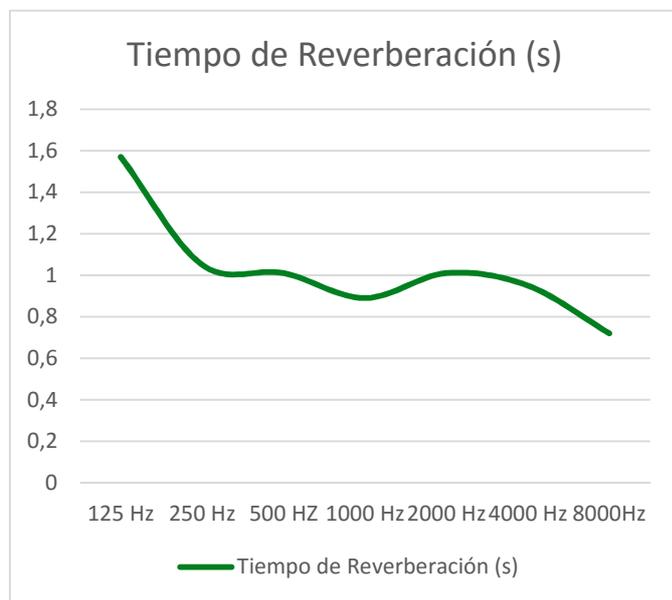
A continuación mostraremos los resultados obtenidos con el software informático EASE 4.4 de los parámetros acústicos más importantes.

### 6.4.1 Tiempo de Reverberación.

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

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

Tabla18: Tiempo de Reverberación (Fuente: EASE 4.4).



Gráfica 13: Tiempo de reverberación, (Fuente: EASE 4.4).

El cálculo del tiempo de reverberación mediante la ficha justificativa del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HR), comprobado mediante la herramienta del ministerio, reflejado en el TOMO II - Anexo 5 es el siguiente:

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

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

### 6.4.2 Nivel de presión sonora directo (SPLd).

Los resultados de Nivel de Presión Sonora Directo (SPLd), son los mismos que para el caso del recinto original, sin acondicionar. Puesto que la fuente con la que se realizan las posiciones de medida no varía.

	Max. (dB)	Min. (dB)
Fuente 1:	108	74
Fuente 2:	106	75
Fuente 3:	107	74

Tabla19: Nivel de Presión Sonora directo (Fuente: EASE 4.4).

### 6.4.3 Nivel de presión sonora total (SPLt).

El campo sonoro total es el resultante de la suma del campo sonoro directo y el reverberante. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

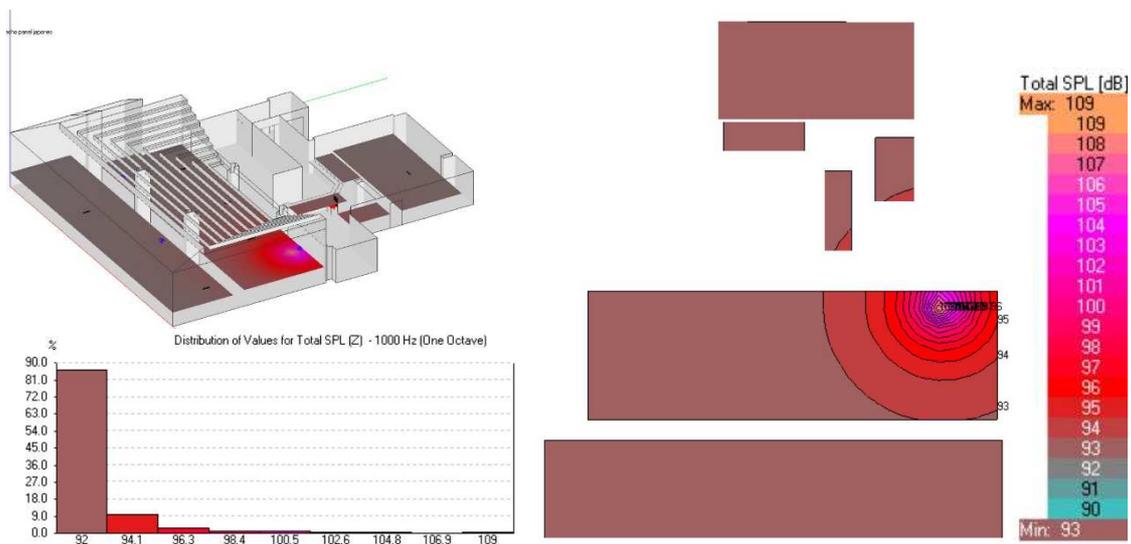


Imagen 50: Nivel de Presión sonora Total Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

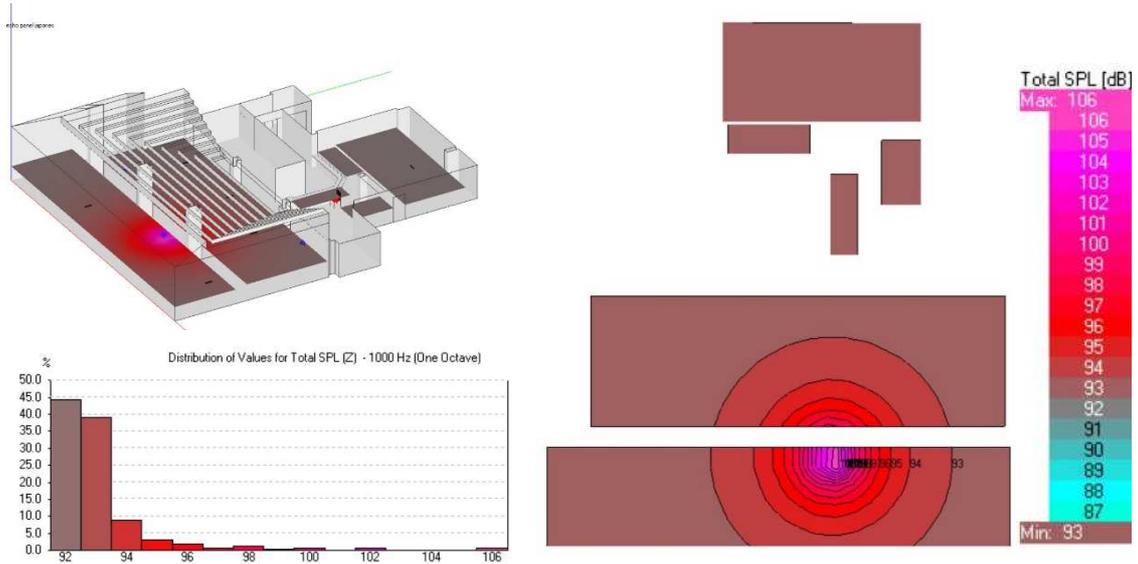


Imagen 51: Nivel de Presión sonora Total Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 3:

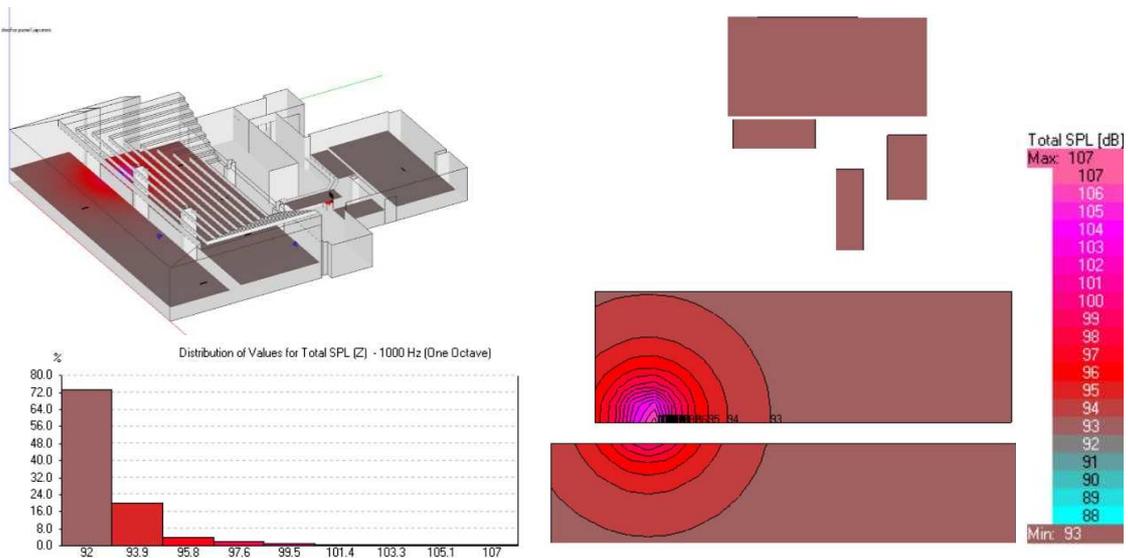


Imagen 52: Nivel de Presión sonora Total Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Tras la mejora se sigue observando que el nivel de presión sonora total en la sala es prácticamente constante en toda la sala (92dB), viéndose disminuido dicho valor con respecto a la sala original, mejorándose la sonoridad.

### 6.4.4 Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio).

Este parámetro aporta información sobre la relación entre el campo directo y el reverberante en la sala. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia:

Fuente 1:

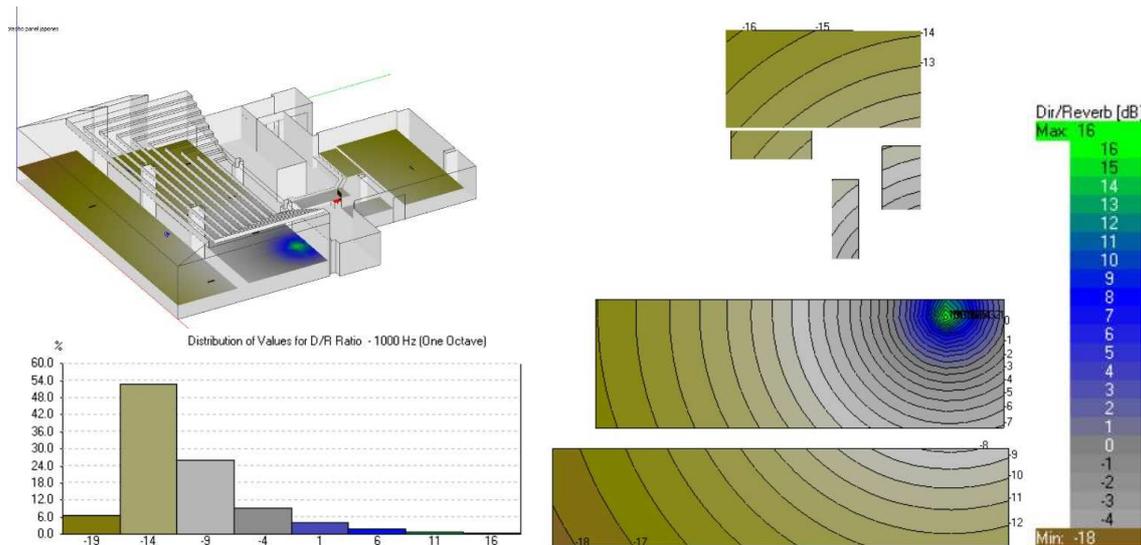


Imagen 53: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

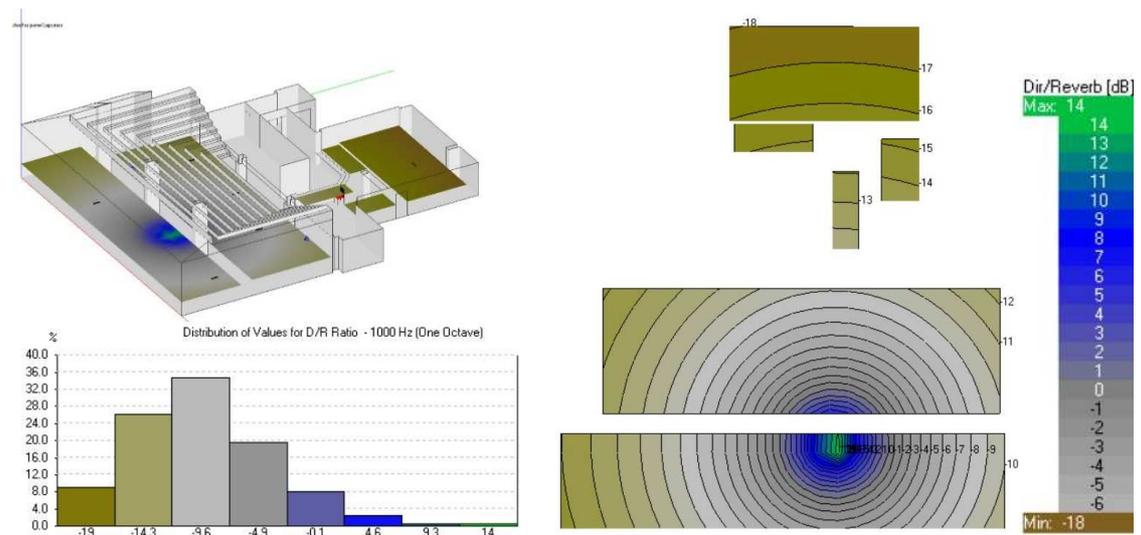


Imagen 54: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 3:

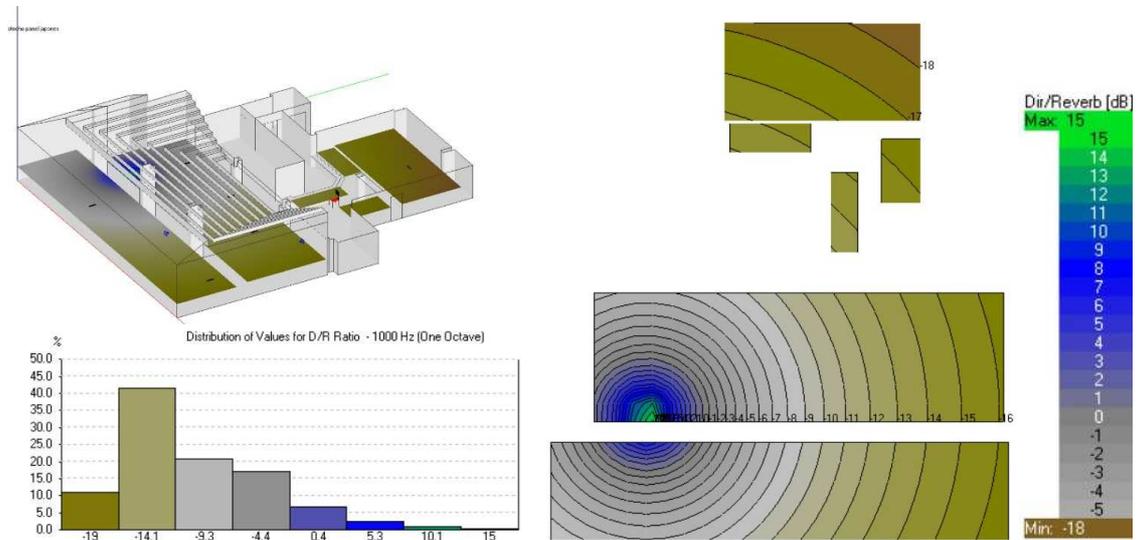


Imagen 55: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Los datos negativos muestran que el campo reverberante es mayor que el campo directo, mientras que los valores positivos mostrarían lo opuesto. En este caso los datos aportados tras la mejora muestran una homogeneidad entre los valores positivos y negativos (-16 - 18), mejorando la relación entre el campo directo y el reverberante mejorando la acústica de la sala.



### 6.4.5 Pérdida de articulación de consonantes (% Alcons).

Este concepto muestra las pérdidas de articulación de consonantes del oyente. A continuación se muestran los valores obtenidos con EASE 4.4 para cada posición Fuente-Áreas de audiencia.

Fuente 1:

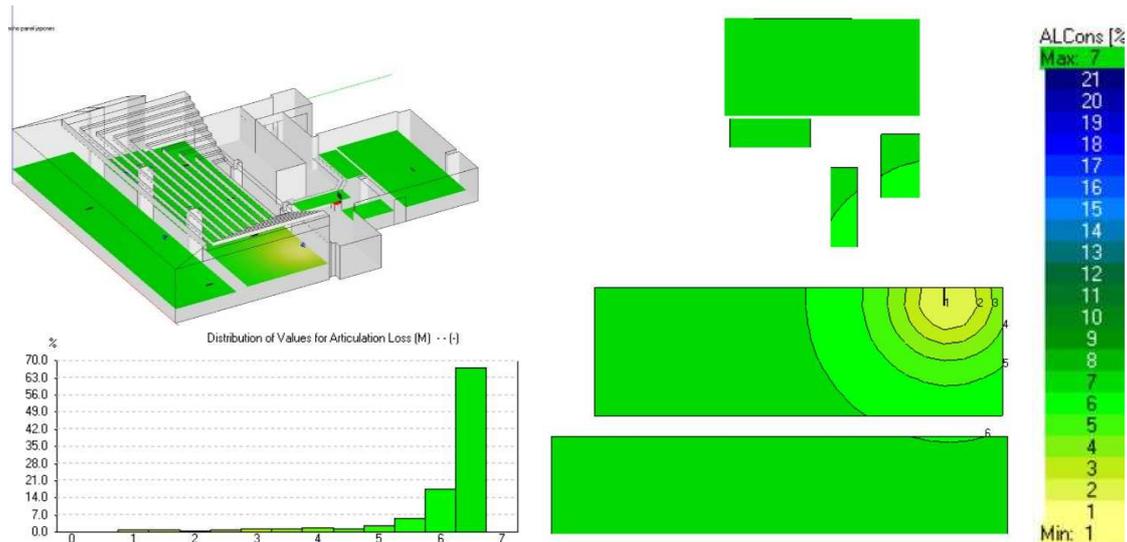


Imagen 56: % Alcons Fuente 1 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Fuente 2:

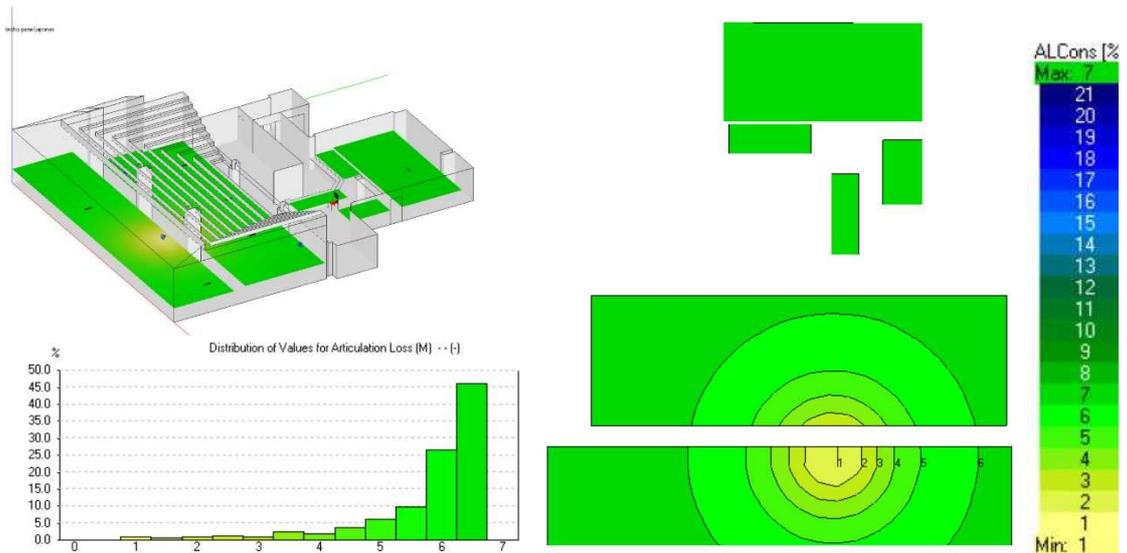


Imagen 57: % Alcons Fuente 2 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).



Fuente 3:

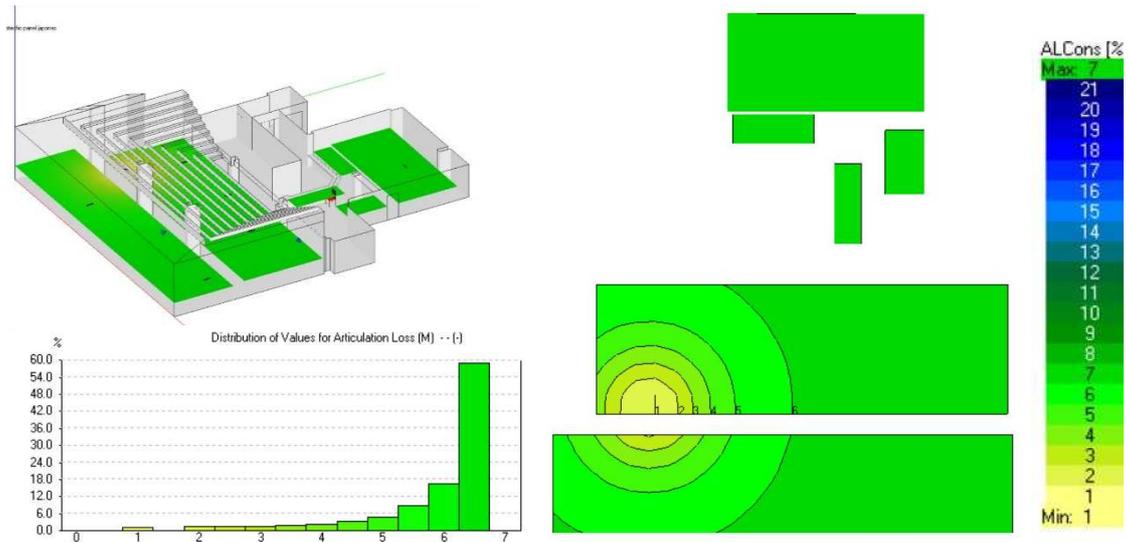
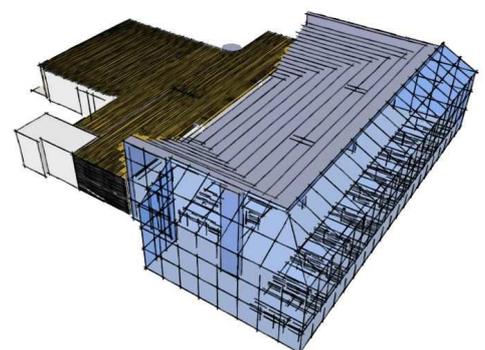


Imagen 58: % Alcons Fuente 3 a 1000Hz, (Fuente: EASE 4.4).

Los valores obtenidos para este parámetro se encuentran entre el 1-7%, siendo más predominantes los valores entre 6-7%, por lo que se puede decir que el índice de pérdida de consonantes mejora respecto al recinto original, considerando la inteligibilidad de la palabra como buena (3-7%).







## Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO.

### 7.1 MEDICIÓN DE LA MEJORA ACÚSTICA.

MEDICIÓN							
Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			Longitud	Anchura	Altura	Parciales	TOTALES

#### CAPÍTULO 1: DEMOLICIÓN

##### 1.1 m2 Demolición de falso techo registrable de madera.

m2 Demolición de falso techo registrable de madera con medios manuales, incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte al vertedero.

	1	6,81	0,95	6,47	
	1	2,74	0,95	2,60	
	1	10,21	6,80	69,43	
	1	9,95	0,50	4,98	
	1	14,29	2,31	33,01	
	1	9,69	2,33	22,58	
	1	6,86	0,77	5,28	
	1	4,72	1,71	8,07	
	1	21,56	1,98	42,69	
A deducir:					
Pilar	-1	0,40	0,5	-0,20	
Pilar	-1	0,67	0,27	-0,18	
Pilar	-2	0,39	0,52	-0,41	
Pilar	-1	0,22	0,25	-0,06	
					194,26

##### 1.2 m2 Demolición de revestimiento pétreo.

m2 Demolición de revestimiento pétreo sobre paramentos verticales de hasta 3m de altura con medios manuales e incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte a vertedero.

	1	4,06	2,83	11,49
	1	8,65	2,83	24,48
	1	2,48	2,83	7,02
	1	0,15	2,83	0,42



MEDICIÓN							
Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			Longitud	Anchura	Altura	Parciales	TOTALES
		1	0,40		2,83	1,13	
	A deducir:						
	Puerta	-1	0,9		2,83	-2,55	
							42,00

## CAPÍTULO 2: REVESTIMIENTOS

2.1 m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC.

m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0, 2400x300mm y 16 mm de espesor, para colocación sobre Perfil oculto, de medidas 600x600mm. Incluso parte proporcional de remate, accesorios de fijación y andamiaje, medido deduciendo huecos.

		1	6,81	0,95		6,47	
		1	2,74	0,95		2,60	
		1	10,21	6,80		69,43	
		1	9,95	0,50		4,98	
		1	14,29	2,31		33,01	
		1	9,69	2,33		22,58	
		1	6,86	0,77		5,28	
		1	4,72	1,71		8,07	
		1	21,56	1,98		42,69	
	A deducir:						
	Pilar	-1	0,40	0,5		-0,20	
	Pilar	-1	0,67	0,27		-0,18	
	Pilar	-2	0,39	0,52		-0,41	
	Pilar	-1	0,22	0,25		-0,06	
							194,26

2.2 m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC

m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, con mecanizado perimetral, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0 de



MEDICIÓN							
Nº de ORDEN	DESCRIPCIÓN	Nº de PARTES IGUALES	DIMENSIONES			MEDICIONES	
			Longitud	Anchura	Altura	Parciales	TOTALES

2400x300mm y 16 mm de espesor, para la colocación mediante grapas sobre omegas galvanizados con un intereje de 40 cm, tomados al soporte con clavos de acero.

		1	4,06		2,83	11,49	
		1	8,65		2,83	24,48	
		1	2,48		2,83	7,02	
		1	0,15		2,83	0,42	
		1	0,40		2,83	1,13	
	A deducir:						
	Puerta	-1	0,9		2,83	-2,55	
							42,00

### CAPÍTULO 3: ELEMENTOS ACÚSTICOS DECORATIVOS

#### 3.1 U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto.

U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto de 15000x28000 mm, sustentados mediante guías a unos rieles fijados al falso techo mediante fijación mecánica.

5	5	5
---	---	---

#### 7.2 PRECIOS BÁSICOS AUXILIARES Y UNITARIOS.

Oficial de primera (OF).	17,92 €/h	Perfil perimetral.	1,89 €/m
Peón Ordinario (PO).	15,92 €/h	Varilla 30cm.	0,64 €/m
Oficial de primera carpintero (OFc).	19,92 €/h	Omega galvanizado (5m).	8,95€/u
Ayudante carpintero (AYc).	18,01 €/h	Clavo de acero.	0,04€/u
Panel acústico 24-16-16 Spigo acustic.	28,00 €/m <sup>2</sup>	Grapa.	0,05€/u
Soporte ignífugo B-s2-d0.	9,00 €/m <sup>2</sup>	Estor acústico 1500x28000mm	90,45 €/u
Pieza de cuelgue.	0,46 €/u	Riel	1,60 €/m
Perfil principal.	0,89 €/m	Ganchos para estor	0,05 €/u



### 7.3 PRECIOS DESCOMPUESTOS.

#### 7.3.1 Demolición de falso techo.

m2 Demolición de falso techo registrable de madera.

m2 Demolición de falso techo registrable de madera con medios manuales, incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte al vertedero.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
------------------------------	----------	--------	-------

4% Perdidas 0,04 s/

TOTAL PRODUCTOS DE LA  
CONSTRUCCIÓN 0,00 €/m2uo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Demolición de falso techo medios manuales (2PO)	0,1770 h/m2uo	31,84 €/h	5,64 €/m2uo

TOTAL MANO DE OBRA 5,64 €/m2uo

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
-------------------	----------	--------	-------

TOTAL MEDIOS AUXILIARES 0,00 €/m2uo

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE  
OBRA Y MEDIOS AUXILIARES: 5,64 €/m2uo  
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC): 0,17 €/m2uo  
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD): 5,80 €/m2uo

COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI): 0,49 €/m2uo

TOTAL PRECIO UNITARIO: 6,30 €/m2uo



### 7.3.2 Demolición revestimiento de piedra.

m2 Demolición de revestimiento pétreo sobre paramentos verticales.

m2 Demolición de revestimiento pétreo sobre paramentos verticales de hasta 3m de altura con medios manuales e incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte a vertedero.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
------------------------------	----------	--------	-------

4% Perdidas 0,04 s/

TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	0,00 €/m2uo
---------------------------------------	-------------

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Demolición de revestimiento pétreo (2PO)	0,3595 h/m2uo	31,84 €/h	11,45 €/m2uo

TOTAL MANO DE OBRA	11,45 €/m2uo
--------------------	--------------

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
-------------------	----------	--------	-------

TOTAL MEDIOS AUXILIARES	0,00 €/m2uo
-------------------------	-------------

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE  
OBRA Y MEDIOS AUXILIARES: 11,45 €/m2uo

COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC): 0,34 €/m2uo

TOTAL COSTES DIRECTOS (CD): 11,79 €/m2uo

COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI): 1,00 €/m2uo

TOTAL PRECIO UNITARIO:	12,79 €/m2uo
------------------------	--------------



### 7.3.3 Falso techo acústico.

m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC.

m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0, 2400x300mm y 16 mm de espesor, para colocación sobre Perfil oculto, de medidas 600x600mm. Incluso parte proporcional de remate, accesorios de fijación y andamiaje, medido deduciendo huecos.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Varilla 30cm.	4,1667 u/m2uo	0,64 €/u	2,67 €/m2uo
Pieza de cuelgue.	4,1667 u/m2uo	0,46 €/u	1,92 €/m2uo
Perfil primario.	3,3333 m/m2uo	0,89 €/m2	2,97 €/m2uo
Perfil perimetral.	0,4654 m/m2uo	1,89 €/m	0,88 €/m2uo
Soporte MDF ignífugo B-s2-d0.	1,0000 m2/m2uo	9,00 €/m2	9,00 €/m2uo
Panel acústico SPIGOTEC.	1,0000 m2/m2uo	28,00 €/m2	28,00 €/m2uo
4% Perdidas	0,04 s/	45,43 €/m2uo	1,82 €/m2uo

<b>TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	<b>47,25 €/m2uo</b>
---	---------------------

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Replanteo (OF+PO)	0,0052 h/m2uo	33,84 €/h	0,18 €/m2uo
Colocación falso techo acústico (OFc)	0,1423 h/m2uo	19,92 €/h	2,83 €/m2uo
colocación falso techo acústico (AYc)	0,1025 h/m2uo	18,01 €/h	1,85 €/m2uo

<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>	<b>4,86 €/m2uo</b>
---------------------------	--------------------

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
-------------------	----------	--------	-------

<b>TOTAL MEDIOS AUXILIARES</b>	<b>0,00 €/m2uo</b>
--------------------------------	--------------------

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y MEDIOS AUXILIARES:	52,10 €/m2uo
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC):	1,56 €/m2uo
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD):	53,67 €/m2uo
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI):	4,56 €/m2uo

<b>TOTAL PRECIO UNITARIO:</b>	<b>58,23 €/m2uo</b>
-------------------------------	---------------------



### 7.3.4 Revestimiento acústico en paramento vertical.

m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC.

m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, con mecanizado perimetral, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0 de 2400x300mm y 16 mm de espesor, para la colocación mediante grapas sobre omegas galvanizados con un intereje de 40 cm, tomados al soporte con clavos de acero.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Omega galvanizado 5m de longitud.	0,3888 u/m2uo	8,95 €/u	3,48 €/m2uo
Clavos de acero.	1,8519 u/m2uo	0,04 €/u	0,07 €/m2uo
Soporte MDF ignifugo B-S2-d0.	1,0000 m2/m2uo	9,00 €/m2	16,80 €/m2uo
Panel acústico SPIGOTEC.	1,0000 m2/m2uo	28,00 €/m2	54,60 €/m2uo
Grapas.	1,7684 u/m2uo	0,05 €/u	0,09 €/m2uo
4% Perdidas	0,04 s/	40,64 €/m2uo	1,63 €/m2uo
TOTAL PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN			78,04 €/m2uo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Replanteo (OF+PO).	0,0052 h/m2uo	33,84 €/h	0,18 €/m2uo
Colocación de revestimiento acústico (OFc).	0,1543 h/m2uo	19,92 €/h	3,07 €/m2uo
Colocación de revestimiento acústico (AYc).	0,1112 h/m2uo	18,01 €/h	2,00 €/m2uo
TOTAL MANO DE OBRA			5,25 €/m2uo

MEDIOS AUXILIARES	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
TOTAL MEDIOS AUXILIARES			0,00 €/m2uo

TOTAL COSTE SECO DE PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN, MANO DE OBRA Y  
MEDIOS AUXILIARES: 47,52 €/m2uo  
COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC): 1,43 €/m2uo  
TOTAL COSTES DIRECTOS (CD): 43,95 €/m2uo  
COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI): 4,16 €/m2uo

TOTAL PRECIO UNITARIO: 53,11 €/m2uo



### 7.3.5 Instalación de estor acústico.

U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto.

U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto de 1500x28000 mm, sustentados mediante guías a unos rieles fijados al falso techo mediante fijación mecánica.

PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cortina acústica 1500x28000m	1,0000 U/Uuo	90,45 €/U	90,45 €/Uuo
Riel	1,5000 m/Uuo	1,60 €/m	2,40 €/Uuo
Ganchos	15,0000 U/Uuo	0,05 €/U	0,75 €/Uuo
4% Perdidas	0,04 s/	93,60 €/Uuo	3,47 €/Uuo

**TOTAL PRODUCTOS DE LA  
CONSTRUCCIÓN** 93,37 €/Uuo

MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Instalación de sistema de estor acústico (2PO)	0,1250 h/Uuo	31,84 €/h	3,98 €/Uuo

**TOTAL MANO DE OBRA** 3,98 €/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: 101,32 €/Uuo

COSTES DIRECTOS COMPLEMENTARIOS (CDC): 3,04 €/Uuo

TOTAL COSTES DIRECTOS (CD): 104,36 €/Uuo

COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CI): 8,87 €/Uuo

**TOTAL PRECIO UNITARIO:** 113,23 €/Uuo



#### 7.4 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM).

PRESUPUESTO				
Nº de orden	Nº de unidad	DESCRIPCIÓN	PRECIO €	IMPORTE €
<b>CAPÍTULO 1: DEMOLICIÓN</b>				
1.1	194,26	m2 Demolición de falso techo registrable de madera.  m2 Demolición de falso techo registrable de madera con medios manuales, incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte al vertedero.	6,30	1223,50
1.2	42,00	m2 Demolición de revestimiento pétreo.  m2 Demolición de revestimiento pétreo sobre paramentos verticales de hasta 3m de altura con medios manuales e incluso carga manual de escombros sobre camión o contenedor para posterior transporte a vertedero.	12,79	537,23
<b>CAPÍTULO 2: REVESTIMIENTOS</b>				
2.1	194,26	m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC.  m2 Suministro y colocación de falso techo SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0, 2400x300m y 16 mm de espesor, para colocación sobre Perfil oculto, de medidas 600x600mm. Incluso parte proporcional de elementos de remate, accesorios de fijación y andamiaje, medido deduciendo huecos superiores a 2 m2.	58,23	11311,62



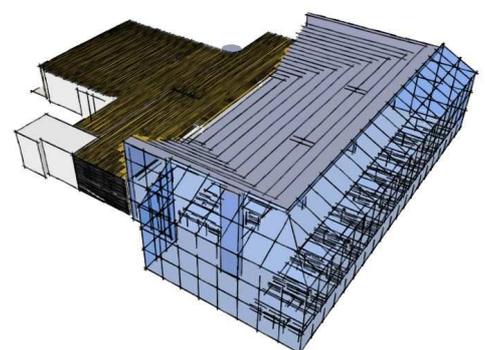
<b>PRESUPUESTO</b>				
Nº de orden	Nº de unidad	DESCRIPCIÓN	PRECIO €	IMPORTE €
2.2	42,00	m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC.		
		m2 Suministro y colocación de revestimiento de paredes SPIGOACUSTIC de la marca SPIGOTEC, modelo micro perforado 42-16-16, de melamina con acabado en haya, con mecanizado perimetral, sobre Soporte MDF ignífugo B-S2-d0 de 2400x300mm y 16 mm de espesor, para la colocación mediante grapas sobre omegas galvanizados con un intereje de 40 cm, tomados al soporte con clavos de acero.	53,11	2230,32

### **CAPÍTULO 3: ELEMENTOS ACÚSTICOS DECORATIVOS**

3.1	5	U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto.		
		U Suministro y colocación de estor acústico Isolvibrasto de 15000x28000 mm, sustentados mediante guías a unos rieles fijados al falso techo mediante fijación mecánica.	113,23	566,17

TOTAL PEM:				15868,84
	GGE	18%		2856,39
	BI	7%		1110,82
PRESUPUESTO CONTRATA:				19836,26
	IVA	21%		4165,57
<b>PRESUPUESTO TOTAL:</b>				<b>24001,63</b>

El proyecto de acondicionamiento acústico asciende a:  
Veinticuatro mil un euros con sesenta y tres céntimos.







## Capítulo VIII: CONCLUSIONES.

El diseño acústico de una sala siempre resulta un auténtico desafío. La escasez de parámetros de calidad objetivos y la enorme influencia del factor subjetivo de cada oyente hacen que obtener una sala que se considere de calidad sea casi un ideal. A esto hay que sumar que el rango de valores aceptables para los parámetros acústicos de los que se disponen varía mucho.

Como se ha mencionado a lo largo de todo el trabajo el recinto a analizar se utiliza como comedor-cafetería, por lo que se ha hecho un análisis sobre su comportamiento acústico para su uso. El estudio ha sido realizado con la elección de una serie de parámetros acústicos que describen la calidad acústica de la sala, en función de distintos factores.

### 8.1 VALORACIÓN GLOBAL DE LA SALA.

A partir de los cálculos realizados mediante el método justificativo del Código Técnico de la Edificación, en su sección protección frente al ruido, en lo relacionado a acondicionamiento acústico, se ha calculado el tiempo de reverberación de la sala original y se ha complementado con el estudio acústico avanzado mediante el software Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE 4.4).

El proceso de creación del modelo, quizá la parte más laboriosa de este proyecto, ha permitido el desarrollo de un modelo virtual que caracteriza en gran medida a la sala en cuanto a sus condiciones acústicas.

Tras ver que los parámetros acústicos obtenidos no son adecuados para este tipo de sala, se realiza un acondicionamiento acústico para la mejora del tiempo de reverberación, realizando la comprobación mediante dos métodos: el del Código Técnico de la Edificación y el de EASE 4.4; ambos utilizando la fórmula de Sabine.

Las simulaciones realizadas evidencian tanto las virtudes como las carencias acústicas de la sala. En casi la totalidad del área de audiencia, se obtienen resultados óptimos en la sala acondicionada.



Los datos obtenidos antes y después de la mejora son los siguientes:

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

Tabla 20: Resumen de los resultados obtenidos.

Un mayor análisis de los parámetros pormenorizado se encuentran en los capítulos: III – Estudio acústico y VI – Estudio de mejora.

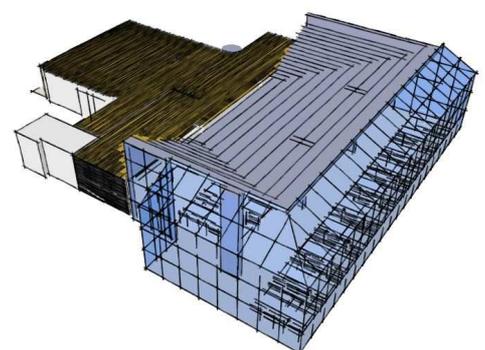
A la vista de los resultados obtenidos la valoración de la sala tras la mejora es buena, puesto que todos los parámetros se encuentran dentro de un rango objetivo y el tiempo de reverberación de la sala se ha mejorado cumpliendo nuestros objetivos y el límite que marca el Código Técnico de la Edificación.

Si bien no era un objetivo principal, también se ha logrado una buena inteligibilidad para la palabra. Esto ha sido posible gracias a una correcta adecuación del tiempo de reverberación.

Por tanto el resultado del proyecto ha sido muy positivo, logrando todos los objetivos planteados al inicio del mismo.

En A Coruña a JULIO de 2016.

Fdo. Alejandro Basteiro Salgado.







## Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA.

### 9.1 BIBLIOGRAFÍA DE AUTORES.

ARANAU, H. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: Ediciones CEAC.  
ISBN: 84-329-2017-7.

---

CALVO MANZANO, A. y PÉREZ LÓPEZ, A. (2009). *Acústica ambiental: análisis, legislación y soluciones*. Madrid: Sociedad Española de Acústica. ISBN: 9788487985188.

---

CARRIÓN ISBERT, A. (1998), *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edición de la Universitat Politècnica de Catalunya S.L. ISBN: 84-8301-252-9.

---

COLINA TEJADA, C. (2005), *Acústica de edificación*. Madrid: Fundación Escuela de Edificación. ISBN: 84-86957-76-1.

---

MÖSER, M. (2009), *Ingeniería acústica: Teoría y aplicaciones*. Berlín; Springer. ISBN: 978-3-642-02543-3.

---

PATRICIO, J. (2010), *Condicionamento acústico de estabelecimentos de restauração e unidades similares*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. ISBN: 978-972-49-1883-9.

---

RECUERO LÓPEZ, M. (2001), *Acondicionamiento acústico*. Madrid: Paraninfo. ISBN: 84-283-2799-8.

---

RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, F.J., DE LA PUENTE CRESPO, J. Y DÍAZ SANCHIDRIÁN, C. (2008). *Guía acústica de la construcción*. Madrid: CIE Inversores Editoriales Dossat 2000, S.L. ISBN: 978-84-96437-81-4.

---



TECTÓNICA. (2006). *Acústica, monografías de arquitectura, arquitectura del sonido nº 14*. Madrid: ATC EDICIONES S.L.

---

VALERO GRANADOS, S. (2011). *Acústica aplicada al interiorismo*. España: Arquifón, diseños contra el ruido, S.L. ISBN: 978-84-614-7626-8.47.

---

## 9.2 FUENTES NORMATIVAS.

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

---

AENOR, 2008. UNE-EN ISO 3382-2:2008. *Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios*. Madrid: Aenor.

---

MINISTERIO DE VIVIENDA, MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN, 2010. *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Madrid: CTE.

---

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

---

## 9.3 PÁGINAS WEB.

AFMG [Sitio web], 1995. Alemania: Empresa Afmg – EASE 4.4 [Consulta: 21 abril 2016]. Disponible en: <http://www.ease.afmg.eu/>

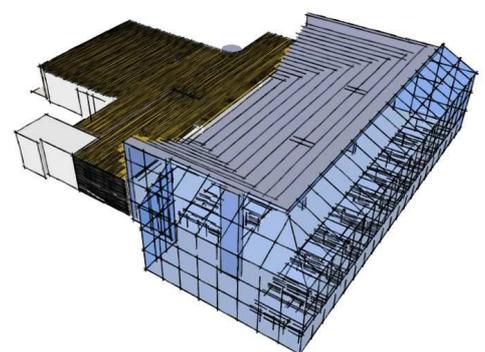
---

ISOLTEC: Acústica [Sitio web], 2011. Castellón: Empresa Isoltec – Isolvibrasto. [Consulta: 1 junio 2016]. Disponible en: <http://www.isoltec.es/isolvibrasto/>

---

SPIGO GROUP: Proyectos en madera [Sitio web], 2010. Logroño: Empresa Spigo group. [Consulta: 30 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.spigogroup.com/>

---







## ÍNDICE DE IMÁGENES

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

### Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS

Imagen 1: Reflexión especular - Leyes de la reflexión.....	14
Imagen 2: Reflexión difusa.....	14
Imagen 3: Sonido directo y Sonido reflejado.....	15
Imagen 4: Forma esquemática de la llegada de los rayos al receptor.....	16
Imagen 5: Forma esquemática de la llegada de los rayos al receptor.....	19

### Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO

Imagen 6: Exterior EUAT.....	31
Imagen 7: Exterior EUAT.....	31
Imagen 8: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	32
Imagen 9: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	32
Imagen 10: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	32
Imagen 11: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	32
Imagen 12: Terrazo.....	32
Imagen 13: Panel de madera.....	33
Imagen 14: Aplacado de piedra.....	33
Imagen 15: Enfoscado de mortero pintado.....	33
Imagen 16: Hormigón visto.....	33
Imagen 17: Hormigón pintado.....	33
Imagen 18: Carpinterías.....	34
Imagen 19: Carpinterías.....	34
Imagen 20: Espejo.....	34
Imagen 21: Modelo acústico EASE 4.4.....	37
Imagen 22: Modelo acústico EASE 4.4.....	37
Imagen 23: Modelo acústico EASE 4.4.....	38
Imagen 24: Modelo acústico EASE 4.4.....	38
Imagen 25: Situación áreas de audiencia.....	38
Imagen 26: Situación áreas de audiencia.....	38
Imagen 27: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 1 a 1000Hz.....	41
Imagen 28: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 2 a 1000Hz.....	41
Imagen 29: Nivel de Presión sonora Directo Fuente 3 a 1000Hz.....	42
Imagen 30: Nivel de Presión sonora Total Fuente 1 a 1000Hz.....	43



Imagen 31: Nivel de Presión sonora Total Fuente 2 a 1000Hz.....	43
Imagen 32: Nivel de Presión sonora Total Fuente 3 a 1000Hz.....	44
Imagen 33: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 1 a 1000Hz...	45
Imagen 34: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 2 a 1000Hz...	45
Imagen 35: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 3 a 1000Hz...	46
Imagen 36: % Alcons Fuente 1 a 1000Hz.....	47
Imagen 37: % Alcons Fuente 2 a 1000Hz.....	47
Imagen 38: % Alcons Fuente 3 a 1000Hz.....	48

#### Capítulo IV: JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALITICAMENTE

#### Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO

Imagen 39: Instrumental necesario para realizar la validación.....	61
--	----

#### Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA

Imagen 40: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	66
Imagen 41: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	66
Imagen 42: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	66
Imagen 43: Imagen comedor-cafetería EUAT.....	66
Imagen 44: Panel acústico perforado.....	67
Imagen 45: Acabados.....	67
Imagen 46: Sistema falso techo.....	67
Imagen 47: Sistema revestimiento vertical.....	67
Imagen 48: Estor acústico.....	68
Imagen 49: Tejidos.....	68
Imagen 50: Nivel de Presión sonora Total Fuente 1 a 1000Hz.....	69
Imagen 51: Nivel de Presión sonora Total Fuente 2 a 1000Hz.....	72
Imagen 52: Nivel de Presión sonora Total Fuente 3 a 1000Hz.....	72
Imagen 53: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 1 a 1000Hz...	73
Imagen 54: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 2 a 1000Hz...	73
Imagen 55: Relación campo directo-campo reverberante Fuente 3 a 1000Hz...	74
Imagen 56: % Alcons Fuente 1 a 1000Hz.....	75
Imagen 57: % Alcons Fuente 2 a 1000Hz.....	75
Imagen 58: % Alcons Fuente 3 a 1000Hz.....	76

#### Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA MEJORA

#### Capítulo VIII: CONCLUSIONES

#### Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA



## ÍNDICE DE TABLAS.

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

### Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS

Tabla 1: Exigencias respecto a los tiempos de reverberación en recintos.....	22
--	----

### Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO

Tabla 2: Coeficientes de absorción.....	34
Tabla 3: Posiciones de los micrófonos.....	38
Tabla 4: Posiciones de las fuentes omnidireccionales.....	39
Tabla 5: Tiempo de Reverberación.....	40

### Capítulo IV: JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALÍTICAMENTE

Tabla 6: Propiedades del altavoz ESPHERE.....	51
---	----

#### Campo sonoro directo (SPLd):

Tabla 7: SPLd Fuente 1.....	52
Tabla 8: SPLd Fuente 2.....	52
Tabla 9: SPLd Fuente 3.....	52

#### Campo sonoro reverberante (SPLr):

Tabla 10: SPLr Fuentes 1, 2 y 3.....	53
Tabla 11: SPLt Fuente 1.....	53
Tabla 12: SPLt Fuente 2.....	54
Tabla 13: SPLt Fuente 3.....	54

#### Relación campo directo – campo reverberante (D/R ratio):

Tabla 14: D/R ratio Fuente 1.....	54
Tabla 15: D/R ratio Fuente 2.....	55
Tabla 16: D/R ratio Fuente 3.....	55

### Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO

### Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA

Tabla 17: Coeficientes de absorción.....	68
--	----

---



Tabla18: Tiempo de Reverberación.....	70
Tabla19: Nivel de presión sonora directo (SPLd).....	71

Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA MEJORA

Capítulo VIII: CONCLUSIONES

Tabla 20: Resumen de los resultados obtenidos.....	92
--	----

Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA



## ÍNDICE DE GRÁFICAS.

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

### Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS

### Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO

Gráfica 1: Coeficiente de absorción Terrazo.....	35
Gráfica 2: Coeficiente de absorción panel de madera.....	35
Gráfica 3: Coeficiente de absorción Piedra.....	35
Gráfica 4: Coeficiente de absorción Enfoscado de mortero.....	35
Gráfica 5: Coeficiente de absorción Espejo.....	35
Gráfica 6: Coeficiente de absorción Vidrio.....	35
Gráfica 7: Coeficiente de absorción Hormigón visto.....	35
Gráfica 8: Coeficiente de absorción Hormigón pintado.....	35
Gráfica 9: Tiempo de reverberación.....	40

### Capítulo IV: JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALÍTICAMENTE

### Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO

### Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA

Gráfica 10: Coeficiente de absorción Falso Techo acústico – Panel de madera	69
Gráfica 11: Coeficiente de absorción Falso techo acústico – Piedra.....	69
Gráfica 12: Coeficiente de absorción Estor acústico – Vidrio.....	69
Gráfica 13: Tiempo de reverberación.....	70

### Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA MEJORA

### Capítulo VIII: CONCLUSIONES

### Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA





## ÍNDICE DE ECUACIONES.

### Capítulo I: INTRODUCCIÓN

### Capítulo II: CONCEPTOS GENERALES DE LA ACÚSTICA DE SALAS

(1) Ecuación para el cálculo del Tiempo de Reverberación (W.Sabine).....	21
(2) Ecuación para el cálculo del Tiempo de Reverberación (Norris-Eyring).....	21
(3) Ecuación para el cálculo de la Absorción acústica (CTE).....	21
(4) Ecuación para el cálculo del Nivel de Presión Sonora Directo.....	23
(5) Ecuación para el cálculo del Nivel de Presión Sonora Reverberante.....	24
(6) Ecuación para el cálculo de la Constante de sala (R).....	24
(7) Ecuación para el cálculo de la absorción media ( $\alpha$ ).....	24
(8) Ecuación para el cálculo del Nivel de Presión Sonora Total.....	25
(9) Ecuación para el cálculo de la Relación campo directo-campo reverberante.	25

### Capítulo III: ESTUDIO ACÚSTICO

### Capítulo IV: JUSTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALÍTICAMENTE

### Capítulo V: VALIDACIÓN DEL MODELO

### Capítulo VI: PROPUESTA DE MEJORA

### Capítulo VII: MEDICIÓN Y PRESUPUESTO DE LA MEJORA

### Capítulo VIII: CONCLUSIONES

### Capítulo IX: BIBLIOGRAFÍA

