



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Estudio Acústico del pabellón polideportivo del edificio  
Georgina Blanes del Campus de Alcoi de la UPV.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Fresneda Medina, José Ignacio

Tutor/a: Montava Belda, Isaac

Cotutor/a: Segura Alcaraz, Jorge Gabriel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## **Resumen**

Se pretende realizar un informe acústico del pabellón polideportivo para poder estudiar su comportamiento como auditorio y sala de congresos. La reverberación del sonido en espacios cerrados, como un pabellón, es esencial para comprender la calidad acústica del entorno, una buena acústica necesita de un balance adecuado entre el sonido directo y el campo sonoro reverberante.

El objetivo este proyecto es el estudio del comportamiento del sonido y del tiempo de reverberación en el recinto para poder plantear medidas de acondicionamiento acústico.

El trabajo se estructura de la siguiente forma. En primer lugar, se hará una recopilación de toda la información pertinente para la descripción del recinto (planos, características arquitectónicas, materiales...).

Seguidamente, se realizarán medidas “in situ” de acuerdo con la normativa ISO-3382, para las cuales se utilizarán una fuente acústica omnidireccional y un micro de campo abierto colocados en determinadas posiciones del recinto.

Como resultado utilizando el software ARTA y Matlab se determinarán los parámetros de sala especificados en la normativa ISO-3382 en base a las medidas experimentales.

## Abstract

It is intended to carry out an acoustic report on the sports hall in order to study its behavior as an auditorium and conference hall. The reverberation of sound in closed spaces, such as a pavilion, is essential to understand the acoustic quality of the environment; good acoustics require an adequate balance between direct sound and the reverberant sound field.

The objective of this project is to study the behavior of sound and the reverberation time in the room in order to propose acoustic conditioning measures.

The work will be structured as follows. First of all, a compilation of all the pertinent information for the description of the premises will be made (plans, architectural characteristics, materials...).

Next, "in situ" measurements will be carried out in accordance with the ISO-3382 standard, for which an omnidirectional acoustic source and an open field microphone placed in certain positions in the venue will be used.

As a result, using the ARTA and Matlab software, the room parameters specified in the ISO-3382 standard will be determined based on the experimental measurements.

## Resum

Es pretén realitzar un informe acústic del pavelló poliesportiu per a poder estudiar el seu comportament com a auditori i sala de congressos. La reverberació del so en espais tancats, com un pavelló, és essencial per a comprendre la qualitat acústica de l'entorn, una bona acústica necessita d'un balanç adequat entre el so directe i el camp sonor reverberant.

L'objectiu este projecte és l'estudi del comportament del so i del temps de reverberació en el recinte per a poder plantejar mesures de condicionament acústic.

El treball s'estructura de la manera següent. En primer lloc, es farà una recopilació de tota la informació pertinent per a la descripció del recinte (plans, característiques arquitectòniques, materials...).

Seguidament, es realitzaran mesures "in situ" d'acord amb la normativa ISO-3382, per a les quals s'utilitzaran una font acústica omnidireccional i un micro de camp obert col·locats en determinades posicions del recinte.

Com a resultat utilitzant el programari \*ARTA i Matlab es determinaran els paràmetres de sala especificats en la normativa ISO-3382 sobre la base de les mesures experimentals.

## Contenido

MEMORIA .....	9
1 Introducción .....	10
1.1 Historia del pabellón Georgina Blanes .....	11
2 Objetivos .....	12
3 Normativa aplicada .....	12
4 Marco teórico .....	13
4.1 Ondas sonoras .....	13
4.2 Comportamiento y propagación.....	14
4.3 Espectro .....	14
4.4 Energía del sonido .....	15
4.5 Ruido.....	16
4.6 Ruido de fondo.....	17
4.7 Propagación del sonido en recintos cerrados .....	18
4.8 Absorción del aire.....	22
4.9 Absorción de los materiales utilizados en la construcción de un recinto.....	23
4.10 Absorción producida por el público.....	24
5 Principales parámetros acústicos.....	25
5.1 Tiempo de reverberación (RT) .....	25
5.2 Tiempo de decaimiento temprano (EDT) .....	26
5.3 Brillo (Br) .....	27
5.4 Relación de graves (BR).....	27
5.5 Claridad vocal (C50).....	28
5.6 Definición (D50).....	29
5.7 Claridad musical (C80).....	29
5.8 Eficiencia lateral (LF).....	30
5.9 Tiempo central (Ts) .....	31
5.10 Índice de transmisión del habla (STI).....	32
5.11 Rapid STI (RASTI).....	32
6 Metodología de Mediciones .....	34
6.1 Normativa Vigente.....	34
6.2 Materiales del recinto y sus características .....	34
6.2.1 Características acústicas de los materiales .....	35

6.3	Mediciones.....	36
6.4	Medidas “in situ” .....	36
6.4.1	Condiciones del pabellón .....	36
6.4.2	Instrumentación .....	37
7	Resultados de las mediciones .....	45
7.1	Mediciones A.....	45
7.2	Mediciones B.....	52
7.3	Resultado de las mediciones .....	58
8	Diseño del pabellón.....	59
9	Simulación acústica (CadnaR) .....	63
9.1	Comprobación del modelo CAD .....	65
9.2	Distribución A.....	69
9.3	Distribución B.....	71
9.4	Distribución A con mejora propuesta .....	73
9.4.1	Tablas de valores para la propuesta de mejora A .....	73
9.4.2	Gráficas de la propuesta de mejora A.....	75
9.5	Distribución B con mejora propuesta .....	80
9.5.1	Gráficas de la propuesta de mejora B.....	83
10	Necesidades/Planteamiento del problema.....	88
10.1	Planteamiento del problema.....	88
10.2	Propuesta de solución .....	88
11	Conclusiones .....	89
12	Referencias bibliográficas .....	90
	ANEXOS.....	91
	PLIEGO DE CONDICIONES .....	93
1	Condiciones Generales.....	94
1.1	Equipos de medida.....	94
1.2	Software.....	99
	PRESUPUESTO .....	102
	PLANOS .....	103

## Índice de Gráficas

Gráfica 1. Comparación T30 distribución A. Fuente: elaboración propia .....	45
Gráfica 2. Comparación T20 distribución A. Fuente: elaboración propia .....	46
Gráfica 3. Comparación EDT distribución A. Fuente: elaboración propia .....	47
Gráfica 4. Comparación C80 distribución A. Fuente: elaboración propia .....	48
Gráfica 5. Comparación C50 distribución A. Fuente: elaboración propia .....	49
Gráfica 6. Comparación D50 distribución A. Fuente: elaboración propia .....	50
Gráfica 7. Comparación Ts distribución A. Fuente: elaboración propia.....	51
Gráfica 8. Comparación T30 distribución B. Fuente: elaboración propia .....	52
Gráfica 9. Comparación T20 distribución B. Fuente: elaboración propia .....	53
Gráfica 10. Comparación EDT distribución B. Fuente: elaboración propia .....	54
Gráfica 11. Comparación C80 distribución B. Fuente: elaboración propia .....	55
Gráfica 12. Comparación C50 distribución B. Fuente: elaboración propia .....	56
Gráfica 13. Comparación D50 distribución B. Fuente: elaboración propia .....	57
Gráfica 14. Comparación Ts distribución B. Fuente: elaboración propia.....	58
Gráfica 15. Comparación T30 (A3) medido - simulado .....	65
Gráfica 16. Comparación C50 (A1) medido – simulado.....	66
Gráfica 17. Comparación C50 (A3) medido – simulado.....	9
Gráfica 18. Comparación C50 (A4) medido – simulado.....	10
Gráfica 19. Comparación C80 (A1) medido – simulado.....	11
Gráfica 20. Comparación C80 (A3) medido – simulado.....	12
Gráfica 21. Comparación C80 (A4) medido – simulado.....	12
Gráfica 22. Gráfica parámetro T30 propuesta de mejora A .....	13
Gráfica 23. Gráfica parámetro EDT propuesta de mejora A.....	13
Gráfica 24. Gráfica parámetro C80 propuesta de mejora A.....	14
Gráfica 25. Gráfica parámetro C50 propuesta de mejora A.....	14
Gráfica 26. Gráfica parámetro TS propuesta de mejora A.....	15
Gráfica 27. Gráfica parámetro T30 propuesta de mejora B .....	16
Gráfica 28. Gráfica parámetro EDT propuesta de mejora B .....	17
Gráfica 29. Gráfica parámetro C80 propuesta de mejora B .....	18
Gráfica 30. Gráfica parámetro C50 propuesta de mejora B .....	22
Gráfica 31. Gráfica parámetro D50 propuesta de mejora B.....	23
Gráfica 32. Gráfica parámetro TS propuesta de mejora B .....	24

## Índice de Imágenes

Imagen 1. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores.....	40
Imagen 2. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores.....	40
Imagen 3. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores.....	40

## Índice de Tablas

Tabla 1. Velocidad del sonido en distintos medios.....	13
Tabla 2. Curvas NC recomendadas y equivalencia de dBA por tipo de recinto. (Fuente: A. Carrión Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, 1998) .....	18
Tabla 3. Coeficientes de absorción $\alpha_{SAB}$ de materiales habitualmente utilizados en la construcción de recintos.....	23
Tabla 4. Ejemplos de absorción de una persona App, en sabins (según Kath y Kuhl) .....	24
Tabla 5. Valores recomendados de RTmid según tipo de sala.....	26
Tabla 6. Valores recomendados de EDT.....	27
Tabla 7. Valores de brillo recomendado para una sala ocupada .....	27
Tabla 8. Clasificación de C50 según Marshall; [dB] .....	28
Tabla 9. Valores recomendados para D50.....	29
Tabla 10. Valores recomendados de C80.....	30
Tabla 11. Valores recomendados de C80 según Marshall .....	30
Tabla 12. Valores de Ts recomendados .....	31
Tabla 13. Frecuencias de modulación para STI.....	32
Tabla 14. Bandas de frecuencia para STI.....	32
Tabla 15. Frecuencias de modulación para 500 Hz.....	32
Tabla 16. Frecuencias de modulación para 2000 Hz.....	33
Tabla 17. Clasificación de valores del RASTI.....	33
Tabla 18. Superficie de cada material en toda el área del pabellón .....	35
Tabla 19. Coeficiente de absorción acústica de los materiales del pabellón.....	35
Tabla 20. Condiciones iniciales del estudio .....	36
Tabla 21. Parámetros geométricos del pabellón.....	37
Tabla 22. Posición de los microfones con respecto a la fuente para la distribución A. ....	39
Tabla 23. Posición de los microfones con respecto a la fuente para la distribución B. ....	39
Tabla 24. Coeficientes de absorción media por cada lado del pabellón.....	63
Tabla 25. Parámetros propuesta de mejora A1 (extraídos del software CadnaR).....	73

Tabla 26. Parámetros propuesta de mejora A2 (extraídos del software CadnaR).....	73
Tabla 27. Parámetros propuesta de mejora A3 (extraídos del software CadnaR).....	74
Tabla 28. Parámetros propuesta de mejora A4 (extraídos del software CadnaR).....	74
Tabla 29. Parámetros propuesta de mejora A5 (extraídos del software CadnaR).....	75
Tabla 30. Parámetros propuesta de mejora B1 (extraídos del software CadnaR).....	80
Tabla 31. Parámetros propuesta de mejora B2 (extraídos del software CadnaR).....	81
Tabla 32. Parámetros propuesta de mejora B3 (extraídos del software CadnaR).....	81
Tabla 33. Parámetros propuesta de mejora B4 (extraídos del software CadnaR).....	82
Tabla 34. Parámetros propuesta de mejora B5 (extraídos del software CadnaR).....	82

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de la intensidad sonora.....	15
Ecuación 2. Cálculo de SPL.....	16
Ecuación 3. Cálculo de la distancia crítica.....	20
Ecuación 4. Cálculo del tiempo de reverberación de Sabine.....	20
Ecuación 5. Cálculo del coeficiente de absorción media.....	20
Ecuación 6. Cálculo del tiempo de reverberación de Sabine completa.....	23
Ecuación 7. Ecuación tiempo reverberación medio.....	25
Ecuación 8. Tiempo decaimiento temprano medio.....	26
Ecuación 9. Cálculo del brillo.....	27
Ecuación 10. Cálculo del bass ratio.....	28
Ecuación 11. Claridad vocal.....	28
Ecuación 12. Speech average.....	28
Ecuación 13. Cálculo de la definición.....	29
Ecuación 14. Claridad musical.....	29
Ecuación 15. Cálculo de la claridad musical media.....	30
Ecuación 16. Cálculo de la eficiencia lateral.....	30
Ecuación 17. Cálculo promedio de la eficiencia lateral.....	31
Ecuación 18. Cálculo del tiempo central.....	31

# MEMORIA

# 1 Introducción

La acústica en espacios cerrados es un área de estudio fundamental dentro de las competencias de arquitectura e ingeniería, ya que afecta, de forma determinante, a la percepción del sonido y, por tanto, al confort de los ocupantes.

Son de gran relevancia, los problemas acústicos derivados de la interacción de las ondas sonoras con las diversas superficies y obstáculos dentro del entorno cerrado.

Cabe señalar la siguiente lista de algunos fenómenos que cabe considerar, entendiendo de que no son independientes entre sí:

- Reflexión
- Absorción
- Difracción
- Refracción
- Difusión
- Reverberación
- Vibraciones

Al igual que ocurre en otros espacios, la acústica en edificios deportivos, pabellones o gimnasios, es de suma importancia. Suelen ser estructuras de considerables dimensiones, con grandes alturas, además de superficies y materiales altamente reflectantes.

Estas características producen que el sonido rebote y perdure en el espacio durante mucho tiempo, generando molestias y una deficiente calidad en la audición.

Las actividades que se desarrollan en este tipo de construcciones son generalmente muy ruidosas, de modo que, la combinación de estos fenómenos, impiden la nitidez del sonido y el normal funcionamiento de las actividades.

La reverberación del sonido en espacios cerrados se produce cuando el sonido se refleja y prolonga en el tiempo debido a múltiples reflexiones en las superficies del recinto. Este fenómeno puede tener un impacto determinante en la calidad del sonido percibido, ya sea para actividades musicales, conferencias u otros eventos.

El objetivo es crear ambientes cerrados que sean funcionales y acústicamente confortables, mejorando así, la calidad y la eficiencia en el desempeño de las actividades.

La forma de mitigar los problemas derivados de la combinación perversa de varios fenómenos acústicos requiere unas medidas correctivas que incluyen el diseño acústico integrado, la selección adecuada de materiales absorbentes y difusores y, la implementación de tecnologías avanzadas de control del ruido.

En este documento se abordará la influencia de la reverberación en pabellones, tanto en términos físicos como perceptuales, así como su medición y control, para lograr una experiencia acústica óptima.

## 1.1 Historia del pabellón Georgina Blanes

El Pabellón Georgina Blanes de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en el campus de Alcoi, es un edificio fundamental tanto para la universidad como para la comunidad local.

### - Historia del Pabellón Georgina Blanes

El Pabellón Georgina Blanes lleva el nombre de una destacada investigadora y académica que dejó una importantísima huella en la Universidad Politécnica de Valencia.

**Dña. Georgina Blanes Noguera**, nacida en Alcoi, fue una figura más que relevante en el ámbito de la ingeniería y la tecnología, con numerosas contribuciones a la investigación y la docencia, con un legado, que no sólo perdura en la UPV, sino también en el desarrollo científico y tecnológico de la región.

El pabellón fue inaugurado en honor a sus logros y dedicación, convirtiéndose en un símbolo de excelencia académica y, de compromiso con la educación y la investigación. El edificio está diseñado para albergar múltiples y, muy diversas, actividades académicas, deportivas o culturales, proporcionando a los estudiantes y al personal de la universidad un espacio moderno y funcional.

### - Relevancia y Funcionalidad

El Pabellón Georgina Blanes no sólo es un homenaje a una ilustre figura, sino que también cumple funciones vitales para la comunidad universitaria. Equipado con instalaciones de última generación, el pabellón está destinado a la práctica de actividades deportivas, la celebración de eventos académicos y culturales, y la realización de investigaciones y proyectos que requieren espacios amplios y versátiles.

Además de las mencionadas funciones, el pabellón sirve como un centro de encuentro para diversas actividades extracurriculares, fomentando la integración y el espíritu comunitario entre los estudiantes. Es un lugar donde se desarrollan competiciones, talleres, conferencias y otros eventos que enriquecen la vida universitaria.

### - Impacto en la Comunidad

El Pabellón Georgina Blanes ha tenido un impacto fundamental en el campus de Alcoi y en la comunidad local. Su construcción ha mejorado las infraestructuras del campus, ofreciendo, a los estudiantes y al personal, un entorno adecuado para el desarrollo de actividades físicas y académicas. Así mismo, ha contribuido a posicionar a la UPV como una institución comprometida con la excelencia y la innovación.

En resumen, el Pabellón Georgina Blanes es un testimonio del legado de una destacada académica y un recurso valioso para la Universidad Politécnica de Valencia. Su historia refleja el compromiso de la UPV con la calidad educativa y el desarrollo integral de sus estudiantes, proporcionando un espacio que fomenta tanto el bienestar físico como el crecimiento intelectual.

## 2 Objetivos

La principal motivación sobre este estudio es poder ayudar y tomar parte en la mejora de la universidad donde me he formado y me ha ayudado tanto durante mi desarrollo académico y personal.

El objetivo principal es realizar un informe basado en las mediciones acústicas tomadas en el pabellón Georgina Blanes para poder estudiar su comportamiento como auditorio y sala de congresos, en base a esta primera medida del estudio del comportamiento del sonido y del tiempo de reverberación se plantearán medidas de acondicionamiento acústico.

En primer lugar, se busca identificar y cuantificar los principales problemas acústicos presentes en el pabellón, como la reverberación excesiva. Esta comprensión detallada nos permitirá tomar medidas específicas y eficaces para abordar estos problemas y mejorar la calidad acústica.

Otro de los objetivos es evaluar el impacto de las posibles soluciones propuestas. Esto implica no solo la implementación de medidas correctivas, sino también la evaluación continua de su efectividad a lo largo del tiempo. De esta manera, podremos garantizar que las soluciones adoptadas sean realmente beneficiosas y sostenibles a largo plazo.

## 3 Normativa aplicada

Este informe describe el método utilizado para medir los parámetros acústicos la sala de actos y deportes del pabellón de Alcoy, siguiendo estrictamente las directrices de la norma UNE-EN-ISO-3382-1 del año 2010. El propósito y alcance de esta norma es para la siguiente evaluación en la evaluación acústica del pabellón, que ayudará a la formación del posterior marco de referencia para la obtención de datos precisos y confiables.

Las mediciones realizadas basadas en la norma ISO-3382-1 (2010) nombrada anteriormente, cumplen con los requisitos estándar en cuanto a:

- IEC 60268-16. Electroacústica. Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante STI.
- IEC 61260 Electroacústica. Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava.
- IEC 61672-1 Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.

Así pues, para aplicar la norma ISO 3382, se debe tener en cuenta la IEC 60268-16, norma la cual proporciona UN procedimiento homogeneizado para la evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla utilizando el índice de transmisión del habla, es decir, el STI.

La estricta aplicación de estas normas garantiza tanto la fiabilidad como la validez de las mediciones acústicas realizadas en dicho recinto. La temperatura del aire interior y la humedad relativa deben medirse con una precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 5\%$ , de manera respectiva. Se pueden realizar mediciones del tiempo de reverberación para todas las condiciones de ocupación del pabellón.

## 4 Marco teórico

En este punto se desarrollan los conceptos sobre la acústica que permitirá explicar el comportamiento en la zona de estudio, así como la nomenclatura de los términos que se utilizan.

### 4.1 Ondas sonoras

Las ondas sonoras se caracterizan por su capacidad para transmitir energía a través de un medio material. Estas ondas se propagan en todas direcciones desde la fuente sonora, creando variaciones de presión que nuestro oído percibe como sonido.

El sonido es el fenómeno que provoca la propagación de ondas sonoras a través de un medio compuesto de partículas que puedan vibrar y transmitir estas vibraciones de una a otra, esto físicamente son variaciones de presión

Las ondas sonoras son consideradas ondas mecánicas, ya que, requieren de un medio material para propagarse, este medio puede ser un gas (como el aire que es el más común), un líquido o un sólido, dependiendo del medio la propagación y percepción del sonido son distintas.

Una onda sonora transmite, por tanto, energía de un punto a otro haciendo que los puntos del medio oscilen con una amplitud y frecuencia determinadas.

Las ondas sonoras que puede percibir el ser humano son entre 20 Hz (sonidos graves) y 20 kHz (sonidos agudos), por eso a la hora de estudiar el sonido es importante diferenciar la parte física del mismo de la sensación fisiológica que nos produce.

Las características que definen el comportamiento de las ondas son:

- Amplitud: representa la variación de presión existente, es la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la onda.
- Frecuencia (f): representa las oscilaciones de la onda en un periodo de tiempo de 1 segundo, es decir, el número de veces que se repite el fenómeno por segundo. Se mide en Hercios (Hz).
- Velocidad (c): representa la velocidad de propagación de esa onda sonora, dependerá de factores como el medio de propagación y la temperatura. Se mide en metros/segundo (m/s).

Medio Material	Velocidad (m/s)
Aire	343
Agua (25°C)	1493
Acero	5130
Hormigón	4000

Tabla 1. Velocidad del sonido en distintos medios.

- Longitud: es la longitud que recorre la onda en un ciclo completo, se representa con la letra griega “lambda” ( $\lambda$ ) y es el cociente entre la velocidad y la frecuencia.

## 4.2 Comportamiento y propagación

La onda sonora es una onda de presión que se desplaza en el sentido del foco emisor, siendo una onda longitudinal, estos desplazamientos hacia delante y atrás genera zonas de presión y dilatación

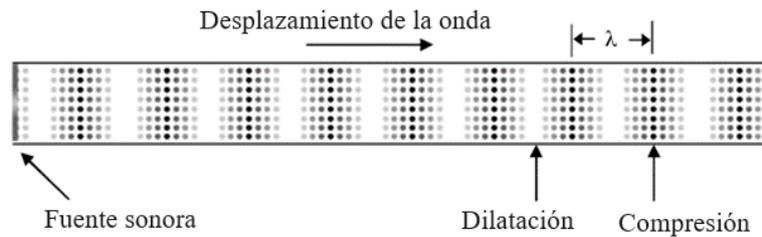


Figura 1. Propagación del sonido

Al representar las variaciones de presión que genera la onda sonora al propagarse en una gráfica apreciamos que las subidas y bajadas de presión es la amplitud de nuestra onda.

## 4.3 Espectro

El espectro acústico muestra cómo se distribuyen las distintas componentes de frecuencia de un sonido específico. Cada componente de frecuencia tiene una amplitud (o nivel de presión sonora) que indica su contribución a la totalidad del sonido. Es una representación detallada de cómo la energía acústica se dispersa a lo largo del rango de frecuencias audibles, generalmente de 20 Hz a 20 kHz.

El espectro a menudo se divide en bandas de octava o de tercio de octava para simplificar el análisis y hacer comparaciones significativas con la percepción humana del sonido.

El espectro en octavas agrupa el espectro en bandas en torno a las denominadas “frecuencias centrales” que son 16, 31.5, 64, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 y 16000 Hz.

Podemos realizar una división mayor empleando tercios de octava, en el que cada banda se divide en 3 para tener más precisión.

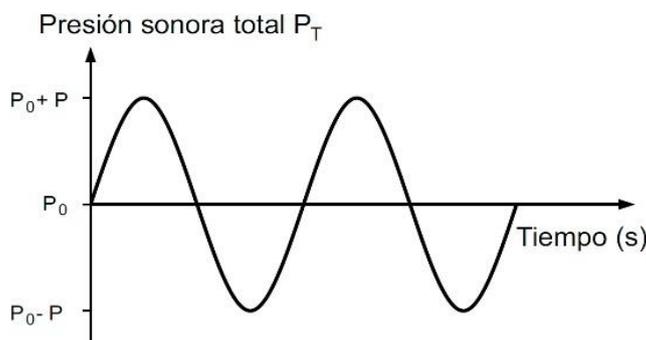


Figura 2. Representación de la onda sonora

#### 4.4 Energía del sonido

La energía que se propaga en una onda sonora se puede cuantificar con 3 magnitudes físicas:

- Potencia sonora: (W)
- Intensidad sonora (I)
- Presión sonora (P)

##### Potencia Sonora

La potencia sonora es la cantidad de energía sonora emitida por una fuente sonora concreta. Su valor no depende del punto del espacio que se mide ni de las condiciones del recinto en que se localiza la fuente, depende únicamente del foco emisor. La potencia sonora es una magnitud característica de la fuente sonora y se expresa en vatios (W).

##### Intensidad sonora

Se define como la energía que fluye en función del tiempo de manera perpendicular a la dirección de propagación, esta magnitud si es dependiente del punto de estudio y las condiciones del recinto. La intensidad es distinta dependiendo de la distancia de la medición con respecto a la fuente sonora y si estamos en un recinto abierto o cerrado.

La intensidad se puede obtener como:

$$I = \frac{W}{4 * \pi * r^2}$$

Ecuación 1. Cálculo de la intensidad sonora

Donde W la potencia sonora en vatios [W] y r la distancia respecto a la fuente en metros [m].

### Presión sonora (SPL)

También conocida como sound pressure level, se define como la variación de presión respecto de la presión atmosférica, depende de la distancia de la fuente emisora y las condiciones del entorno, se expresa en pascales [Pa] o en newton/metro cuadrado [N/m<sup>2</sup>].

La respuesta natural de los seres humanos a estos estímulos se puede representar con una escala logarítmica, expresada en valores determinados por una escala de referencia que van desde el umbral de audición hasta el umbral de dolor.

El nivel de presión sonora (SPL) es la conversión de las ondas a una magnitud numérica cuantificable que determina la intensidad del sonido que produce una fuente expresada en decibelios [dB], oscila entre 0 [dB] que corresponde al umbral de audición y 120 [dB] que corresponde al umbral de dolor y se calcula con la siguiente ecuación:

$$SPL = 20 * \log_{10} \frac{P_{ef}}{P_{ref}} [dB]$$

*Ecuación 2. Cálculo de SPL*

Donde P<sub>ef</sub> es la presión eficaz del sonido considerado expresado en [Pa] y presión eficaz de referencia correspondiente al umbral de audición a 1 KHz [2x10<sup>-5</sup> Pa].

La herramienta que se utiliza para medir el nivel de presión sonora es el sonómetro, que transforma las ondas en una magnitud cuantificable.



*Figura 3. Sonómetro*

## **4.5 Ruido**

El ruido es un sonido molesto que interfiere con la percepción de los sonidos deseados, se caracteriza por su naturaleza aleatoria y desorganizada, por la intensidad o por su forma tiende a generar picos en la gráfica que lo caracteriza.

Su intensidad determina el potencial de molestia medida en decibelios (dB).

La temporalidad del ruido es importante para entender el impacto que provoca y desarrollar una solución para mitigarlo.

La temporalidad hace referencia a como varía el ruido en función del tiempo, al entender el impacto que provoca se pueden desarrollar soluciones para mitigarlo.

Se clasifican en tres tipos:

- Ruido continuo: cuando se mantiene constante durante el tiempo, suele tener una intensidad estable y frecuencia constante, por ejemplo, los electrodomésticos.
- Ruido intermitente: son periodos de “silencio” seguidos por ráfagas de ruido con frecuencia y duración irregulares y difíciles de predecir, por ejemplo, el tráfico urbano.
- Ruido impulsivo: son ráfagas cortas, pero de alta intensidad, por ejemplo, explosiones.

#### 4.6 Ruido de fondo

El ruido de fondo se define como el nivel de presión sonora existente en un espacio cuando no se está produciendo ninguna actividad. Los valores de SPL se comparan con una tabla de curvas de referencia llamadas curvas NC (“Noise criterion curves”), donde se establecen los valores de presión sonora según la frecuencia.

La finalidad es evaluar y controlar los niveles de ruido para que no perturbe la comunicación en la sala.

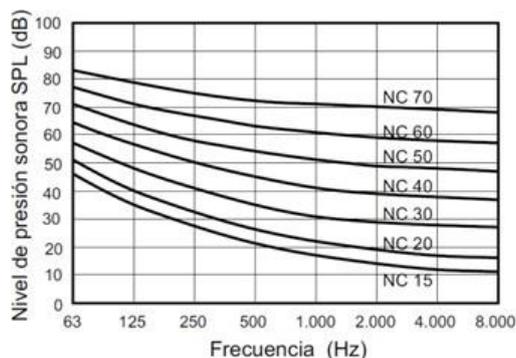


Figura 4. Curvas NC

Dependiendo del recinto se establecen un ruido máximo recomendable, para asociar una curva NC a un recinto se compara el ruido de fondo medido con la tabla de la figura 5 y se elige la curva inmediatamente superior a la medida.

En la tabla 2 se indica en función del uso del recinto el valor de presión sonora recomendado.

Tipo de recintos	Curvas NC recomendadas	Equivalencia de dBA
Estudios de grabación	15	28
Salas de conciertos y teatros	15-25	28-38
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30	33-42
Salas de conferencias/Aulas	20-30	33-42
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35	42-46
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40	46-50
Restaurantes	35-40	46-50
Salas de ordenadores	35-45	46-55
Cafeterías	40-45	50-55
Polideportivos	40-50	50-60

Tabla 2. Curvas NC recomendadas y equivalencia de dBA por tipo de recinto. (Fuente: A. Carrión Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, 1998)

#### 4.7 Propagación del sonido en recintos cerrados

El sonido se produce cuando un cuerpo vibra y se transforma en energía en forma de onda sonora, la cual percibimos por los oídos.

Siendo el pabellón Georgina Blanes un recinto cerrado, toda la energía de las ondas sonoras se refleja sucesivamente en las paredes, suelo y techo. Cuando escuchamos percibimos además del sonido directo de la fuente, aquel sonido que ha sido reflejado una o varias veces en alguna de las superficies. Este fenómeno se conoce como reverberación. Si las paredes fueran reflectores perfectos, el proceso sería de duración infinita, pero las superficies reales no son reflectores perfectos y absorben parte del sonido que les llega, por lo que el proceso tiene una duración limitada.

En espacios cerrados la energía de las ondas sonoras emitidas por una fuente llega al receptor de dos maneras distintas:

- Sonido directo: las ondas llegan de forma directa al receptor sin reflexiones, como en un espacio abierto.
- Sonido reflejado: las ondas llegan tras rebotar en las paredes del recinto llegan al receptor como un sonido reflejado.

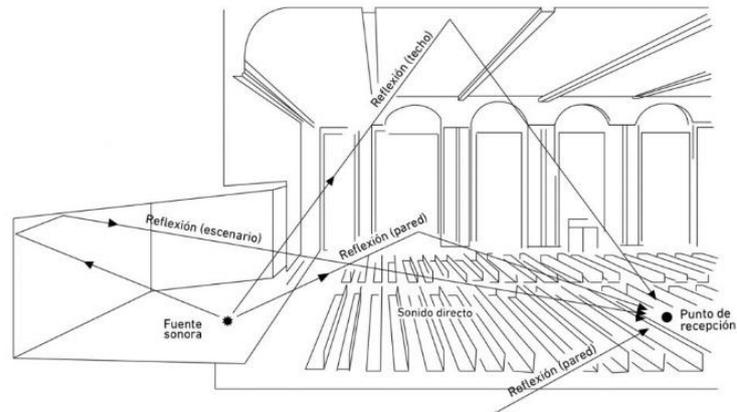


Figura 5. Representación de las formas de propagación del sonido.

(Fuente: A. Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, 1998)

Llamamos zona de campo directo a la zona donde predomina el sonido directo, su nivel de presión sonora es el nivel de campo directo  $L_d$  y llamamos zona de campo reverberante donde predomina el sonido reflejado que tendrá un valor constante  $L_r$ , el cual depende de la geometría y la absorción del espacio en el que se propagan las ondas de sonido, así como de las dimensiones y la forma de la fuente de sonido.

La intensidad del sonido es directamente proporcional a la cercanía de la fuente sonora como consecuencia de la falta de dispersión del sonido original. En ese punto la energía que viene directamente de la fuente será significativamente superior a la de las reflexiones, que ha sido atenuada por la distancia recorrida hasta la superficie y la absorción.

A medida que se incrementa la distancia con la fuente sonora, la intensidad del sonido disminuye, hasta alcanzar el un punto en concreto (distancia crítica), donde ya no se apreciará tanto la disminución del sonido, consecuencia directa del sonido de la reverberación, ese sonido que viene de muchos lados debido a las reflexiones. Se escucha más que el sonido directo porque es la suma de muchas reflexiones.

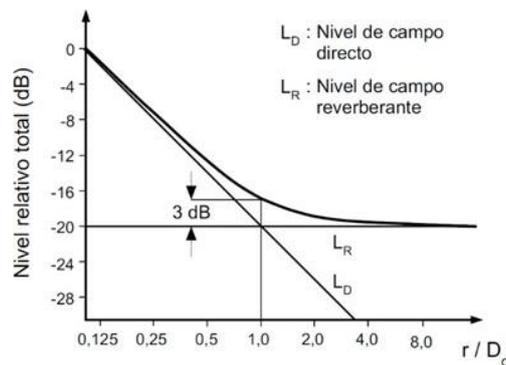


Figura 6. Evolución del nivel relativo total de presión sonora en función de la distancia a la fuente sonora normalizada con respecto a la distancia crítica  $D_c$ .

(Fuente: A. Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, 1998)

La distancia crítica ( $D_c$ ) es la distancia a la cual el nivel de presión del sonido directo ( $L_d$ ) y el sonido reverberante ( $L_r$ ) son iguales cuando se trata de una fuente direccional.

En un espacio reverberante, el sonido percibido por un oyente es una combinación de sonido directo y reverberante. La relación del sonido directo depende de la distancia entre la fuente y el oyente, y del tiempo de reverberación en la sala, a cierta distancia los dos serán iguales.

Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$D_c = \sqrt{\frac{V}{4 * \pi * RT}} [m]$$

Ecuación 3. Cálculo de la distancia crítica

Donde:  $V$  es el volumen de la sala en metros cúbicos [ $m^3$ ] y  $RT$  es el tiempo de reverberación de la sala en segundos [s].

El valor del tiempo de reverberación  $RT$ , lo obtendremos utilizando la fórmula de Sabine también llamado el valor  $T_{60}$  de la siguiente ecuación:

$$RT_{Sabine} = \frac{0,161 V}{A} [ms]$$

Ecuación 4. Cálculo del tiempo de reverberación de Sabine

Donde  $V$  es el volumen del recinto en metros cúbicos [ $m^3$ ] y  $A$  es el coeficiente de absorción de la sala medido en sabins.

Para el cálculo del coeficiente de absorción media necesitamos conocer los materiales del recinto y el área que ocupa cada uno y lo calcularemos con la siguiente fórmula:

$$A = \bar{\alpha} = \frac{S_{T1} * \alpha_1 + S_{T2} * \alpha_2 + \dots + S_N * \alpha_N}{S_{Total}}$$

Ecuación 5. Cálculo del coeficiente de absorción media

Donde  $S_T$  es la superficie del material en metros cuadrados [ $m^2$ ] y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción del material.

Cuando una fuente sonora empieza a emitir sonido en el entorno podemos diferenciar dos zonas en las que la energía se propaga de manera distinta, estas son el campo próximo y campo lejano.

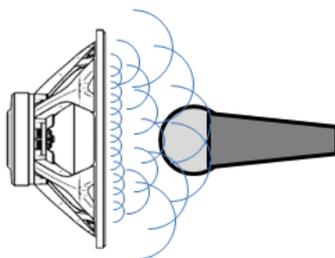
### Campo directo

Es considerada la región cercana a la fuente, las ondas aún no han conseguido estabilizarse y adoptar un patrón uniforme.

La presión sonora y la velocidad de las partículas del medio varían significativamente con pequeñas distancias, causando que el sonido percibido tenga fluctuaciones.

Las ondas presentan comportamientos no lineales debido a la proximidad con la fuente, donde también influye la geometría de la fuente.

Estas ondas evanescentes decaen rápidamente y no se propagan a grandes distancias, por tanto, a la distancia suficiente con respecto a la fuente estas ondas desaparecen.



*Figura 7. Propagación de las ondas evanescentes.*

### Campo lejano

Es la región más alejada de la fuente donde las ondas han conseguido estabilizarse y tienen un patrón de propagación uniforme.

Las ondas son menos susceptibles a variaciones y es más sencillo poder obtener mediciones acústicas más precisas y fiables como la frecuencia e intensidad de sonido.

A la hora de diseñar la acústica de un recinto se tiene en cuenta el comportamiento en el campo lejano para asegurar una distribución uniforme del sonido

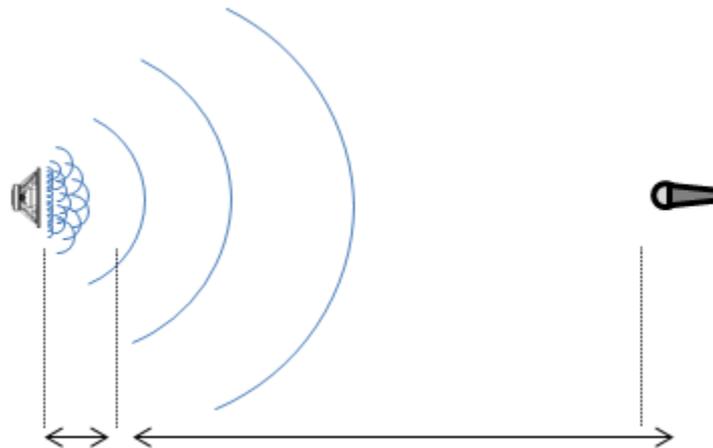


Figura 8. Campo próximo vs campo lejano.

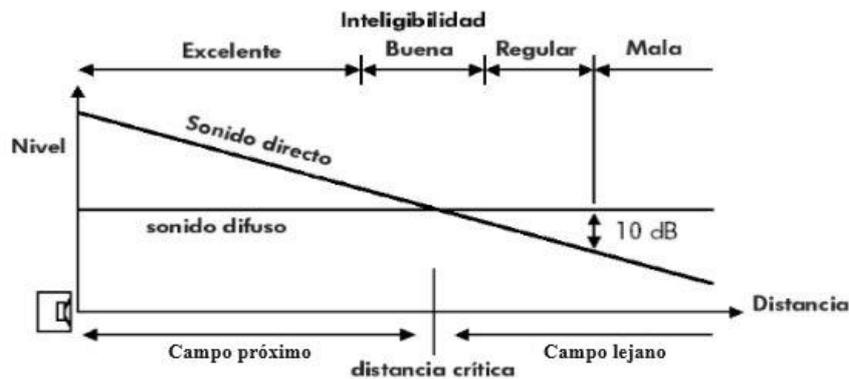


Figura 9. Gráfica inteligibilidad campo próximo vs campo lejano

#### 4.8 Absorción del aire

La energía que el aire absorbe es significativa principalmente en espacios de gran tamaño, a frecuencias bastante altas (superiores a los 2 kHz) y con niveles de humedad relativa que oscilan entre el 30% y el 70%. Esta absorción se describe mediante la constante de atenuación del sonido en el aire, conocida como "m".

La figura siguiente presenta una gráfica con una serie de curvas que nos permiten determinar el valor del producto  $4m$  bajo condiciones normales de presión y temperatura ( $P_0 = 105 \text{ Pa}$  y  $20 \text{ °C}$ ), para cada frecuencia y nivel de humedad relativa del aire.

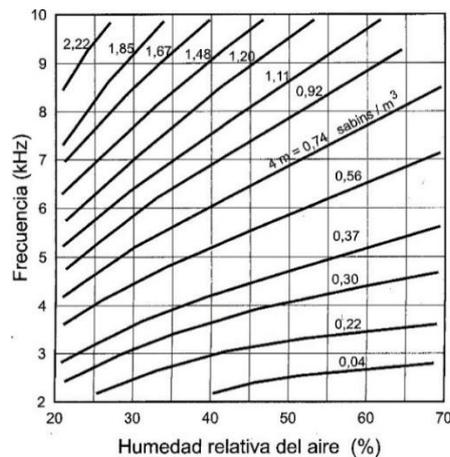


Figura 10. Gráficas para la determinación del producto  $4m$

Teniendo el valor ( $4m$ ) como dato, como así también el volumen del recinto, podemos hallar el tiempo de reverberación, teniendo en cuenta la atenuación producida por el aire. La fórmula que utilizaremos es la de Sabine completa:

$$RT_{Sabine} = \frac{0,161 * V}{A_T + 4m * S}$$

Ecuación 6. Cálculo del tiempo de reverberación de Sabine completa

#### 4.9 Absorción de los materiales utilizados en la construcción de un recinto

Estos materiales son extremadamente rígidos, lo que resulta en una porosidad muy baja y, en consecuencia, una absorción sonora casi inexistente. La disipación de energía en forma de calor y por tanto, la absorción del sonido, ocurre en las capas de aire que rodean cada una de las superficies consideradas. En la práctica se le asignan coeficientes de absorción a dichas superficies. En la tabla 3 se presentan los valores de los coeficientes de absorción  $\alpha_{SAB}$  de varios materiales comúnmente utilizados en la construcción de espacios.

Frecuencia [Hz]	500	1000	2000	4000
Hormigón macizo	0,02	0,03	0,04	0,04
Bloques de hormigón pintados	0,05	0,07	0,09	0,08
Ladrillo revestido con yeso	0,02	0,03	0,04	0,04

Tabla 3. Coeficientes de absorción  $\alpha_{SAB}$  de materiales habitualmente utilizados en la construcción de recintos.

Un material con una mayor rugosidad presenta unos coeficientes de absorción más elevados. Esto es debido a que su superficie es mayor y, por tanto, la capa de aire adyacente donde se produce la disipación de energía también lo es.

#### 4.10 Absorción producida por el público

El público también contribuye a la absorción sonora, la cual dependerá de diversos factores, como el número de personas, el tipo de ropa...

Aunque se puede hacer una estimación aproximada de la primera variable, el tipo de ropa varía según la época y la ciudad, por lo que solo se pueden manejar datos estimativos que deben ser validados con el tiempo. Si el público está distribuido de manera dispersa, como en un polideportivo, en lugar de utilizar un coeficiente unitario  $\alpha$ , se considera la absorción por persona  $A_{pp}$ , medida en Sabins. En este caso, la absorción total del público será:

$$A_p = N * A_{pp}$$

Donde N es el número de personas y  $A_{pp}$  la absorción de una persona medida en sabins.

Frecuencia [Hz]	500	1000	2000	4000
Persona de pie con abrigo	0,91	1,30	1,43	1,47
Persona de pie sin abrigo	0,59	0,98	1,13	1,12
Músico sentado con instrumento	1,06	1,08	1,08	1,08

Tabla 4. Ejemplos de absorción de una persona  $A_{pp}$ , en sabins (según Kath y Kuhl)



Tipo de sala	RTmid (s)
Sala de conferencia	0,7-1,0
Cine	1,0-1,2
Sala polivalente	1,2-1,5
Teatro de ópera	1,2-1,5
Sala de concierto (música sinfónica)	1,8-2,0
Iglesias/catedrales (órgano y canto coral)	2,0-3,0

Tabla 5. Valores recomendados de RTmid según tipo de sala.

Fuente: A. Carrión Isbert, *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, 1998

Se tomará como referencia para calcular el RT medio el parámetro T30 ya que, al medir un rango mayor de decaimiento, promedia más los efectos de las primeras reflexiones y resulta en una medida más estable y representativa del comportamiento acústico global de un recinto.

## 5.2 Tiempo de decaimiento temprano (EDT)

Este parámetro se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que la fuente sonora deja de emitir sonido hasta que el SPL desciende 10 decibelios, es dependiente de la frecuencia.

Su función es medir la rapidez con la que el sonido se desvanece en el entorno, se centra en las primeras reflexiones del sonido e interactúan con el entorno inmediatamente.

Si el valor de EDT es similar al del RT significa que el recinto tiene una difusión de sonido perfecta. Un valor de EDT inferior al de RT indica que el sonido se desvanece rápidamente, lo que suele asociarse con una mayor claridad y menos reverberación perceptible, por el contrario, un valor de EDT superior al de RT sugiere que el sonido tarda más en desaparecer, lo que genera una sensación de mayor reverberación.

Para calcular el valor de EDT se utiliza una ecuación igual a la del tiempo de reverberación.

$$EDT_{Mid} = \frac{EDT_{500\text{ Hz}} + EDT_{1\text{ kHz}}}{2} \text{ [s]}$$

Ecuación 8. Tiempo decaimiento temprano medio.

Donde  $EDT_{500\text{ Hz}}$  es el tiempo de decaimiento temprano en la banda de octava de 500 Hz [s] y  $EDT_{1\text{ kHz}}$  el tiempo de decaimiento temprano en la banda de octava de 1000 Hz [s].

Para el parámetro EDT los valores recomendados son:

Tipo de sala	EDT mid (s)
Sala de conferencias	0,4 - 0,6
Teatros	0,6 – 1,0
Auditorios	0,8 – 1,2
Sala conciertos	1,0 – 1,4
Pabellones deportivos	1,5 – 2,5

Tabla 6. Valores recomendados de EDT.

### 5.3 Brillo (Br)

El brillo es la percepción de la claridad y presencia de las frecuencias altas en un sonido. Un sonido brillante tiene una cantidad significativa de energía en las frecuencias altas.

Su valor viene dado por la siguiente ecuación:

$$Br = \frac{RT_{2\text{ kHz}} + RT_{4\text{ kHz}}}{RT_{500\text{ Hz}} + RT_{1\text{ kHz}}}$$

Ecuación 9. Cálculo del brillo

Donde:  $RT_{2\text{ kHz}}$  es RT en la banda de octava de 2 kHz; [s],  $RT_{4\text{ kHz}}$  es RT en la banda de octava de 4 kHz; [s],  $RT_{500\text{ Hz}}$  es RT en la banda de octava de 500 Hz; [s] y  $RT_{1\text{ kHz}}$  es RT en la banda de octava de 1 kHz; [s]

Autor	Valor recomendado
Arau	0,8
Beranek	0,87

Tabla 7. Valores de brillo recomendado para una sala ocupada

Si el brillo excede de los valores recomendados en la sala habrá una sensación de sonido artificial.

### 5.4 Relación de graves (BR)

También conocido como bass ratio se define como la calidez acústica y representa la respuesta de la sala en bajas frecuencias.

Es un parámetro adimensional que se obtiene de la misma forma que el brillo, pero con distintas frecuencias:

$$BR = \frac{RT_{125\text{ Hz}} + RT_{250\text{ Hz}}}{RT_{500\text{ Hz}} + RT_{1\text{ kHz}}}$$

Ecuación 10. Cálculo del bass ratio

Donde:  $RT_{125\text{ Hz}}$  es RT en la banda de octava de 125 Hz; [s],  $RT_{250\text{ Hz}}$  es RT en la banda de octava de 250 Hz; [s],  $RT_{500\text{ Hz}}$  es RT en la banda de octava de 500 Hz; [s] y  $RT_{1\text{ kHz}}$  es RT en la banda de octava de 1 kHz; [s]

Se utiliza para evaluar el balance tonal general de un recinto, asegurando que las bajas frecuencias no dominen ni sean insuficientes en comparación con las medias-altas. Un bass ratio adecuado contribuye a la percepción de calidez y plenitud del sonido.

### 5.5 Claridad vocal (C50)

Este parámetro es un índice de claridad en acústica que mide la relación entre la energía sonora que llega dentro de los primeros 50 milisegundos y la energía que llega posteriormente. Es utilizado para evaluar la claridad e inteligibilidad de la palabra.

Viene definido por la ecuación:

$$C_{50} = 10 * \log \left( \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB]$$

Ecuación 11. Claridad vocal

Donde:  $p(t)$  = Presión sonora instantánea, [Pa]

Comúnmente se utiliza el valor medio de este parámetro, también llamado “speech average”, que viene definido por la siguiente ecuación:

$$C_{50\text{ (media)}} = 0,15 * C_{50\text{ (500 Hz)}} + 0,25 * C_{50\text{ (1 kHz)}} + 0,35 * C_{50\text{ (2 kHz)}} + 0,25 * C_{50\text{ (4 kHz)}}$$

Ecuación 12. Speech average

Donde  $C_{50\text{ (500 Hz)}}$  es la claridad vocal en la banda de octava de 500 Hz [dB],  $C_{50\text{ (1 kHz)}}$  es la claridad vocal en la banda de octava de 1 kHz [dB],  $C_{50\text{ (2 kHz)}}$  es la claridad vocal en la banda de octava de 2 kHz [dB] y  $C_{50\text{ (4 kHz)}}$  es la claridad vocal en la banda de octava de 4 kHz [dB].

El motivo de esta fórmula es tener en cuenta las bandas frecuenciales que representa la voz humana excluyendo bandas menos utilizadas.

Malo	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
[-12, -7]	[-7, -2]	[-2, 2]	[2, 7]	[7, 18]

Tabla 8. Clasificación de  $C_{50}$  según Marshall; [dB]

## 5.6 Definición (D50)

Este parámetro mide la proporción de energía sonora recibida en los primeros 50 milisegundos en relación con la energía total recibida, proporcionando una medida de cuán claramente se puede percibir el sonido directo en comparación con la reverberación.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,05} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [\%]$$

Ecuación 13. Cálculo de la definición

Donde:  $p(t)$  = Presión sonora instantánea, [Pa]

Valores altos de  $D_{50}$  indican una mayor claridad del habla, ya que una mayor proporción de la energía sonora llega rápidamente al oyente, por el contrario, valores bajos de  $D_{50}$  sugieren que la reverberación domina, lo que puede dificultar la comprensión del habla.

Para buena claridad del habla, el valor de  $D_{50}$  debería ser mayor del 50%, valores superiores al 60% son generalmente considerados óptimos para la mayoría de las aplicaciones del habla.

Tipo de espacio	Rango de Valores (%)
Sala de conferencias	50 - 80
Teatros	40 - 70
Sala de conciertos	40 - 60
Auditorios	30 - 60

Tabla 9. Valores recomendados para D50

## 5.7 Claridad musical (C80)

El parámetro  $C_{80}$  un índice de claridad acústica similar al  $C_{50}$ , pero se utiliza principalmente para evaluar la claridad de la música. Mide la relación entre la energía sonora que llega dentro de los primeros 80 milisegundos y la energía que llega después.

Viene definido por la ecuación:

$$C_{80} = 10 * \log \left( \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB]$$

Ecuación 14. Claridad musical

Donde:  $p(t)$  = Presión sonora instantánea, [Pa]

Igual que para la claridad vocal, es usual utilizar un valor promedio llamado “music average”, definido por la siguiente ecuación:

$$C_{80} = \frac{C_{80(500\text{ Hz})} + C_{80(1\text{ kHz})} + C_{80(2\text{ kHz})}}{3} [\text{dB}]$$

Ecuación 15. Cálculo de la claridad musical media

Donde:  $C_{80(500\text{ Hz})}$  es la claridad musical en la banda de octava de 500 Hz [dB],  $C_{80(1\text{ kHz})}$  es la claridad musical en la banda de octava de 1 kHz [dB],  $C_{80(2\text{ kHz})}$  es la claridad musical en la banda de octava de 2 kHz [dB].

Tipo de espacio	$C_{80}$ recomendado
Sala de conferencia	$0 \leq C_{80} \leq 3$ [dB]
Teatro	$-2 \leq C_{80} \leq 2$ [dB]
Sala de conciertos	$-1 \leq C_{80} \leq 3$ [dB]
Auditorios	$-2 \leq C_{80} \leq 3$ [dB]
Pabellones deportivos	$-5 \leq C_{80} \leq -2$ [dB]

Tabla 10. Valores recomendados de  $C_{80}$

Tipo de música	$C_{80}$ recomendado
Instrumentos electrónicos	$6 \leq C_{80} \leq 14$ [dB]
Ópera	$2 \leq C_{80} \leq 6$ [dB]
Sinfónica	$-2 \leq C_{80} \leq 2$ [dB]
Órgano	$-8 \leq C_{80} \leq 2$ [dB]

Tabla 11. Valores recomendados de  $C_{80}$  según Marshall

### 5.8 Eficiencia lateral (LF)

Según A.H. Marshall este parámetro se define como la relación entre la energía que llega lateralmente al oyente dentro de los primeros 80 milisegundos desde la llegada del sonido directo y la energía recibida en todas las direcciones de dicho intervalo.

$$LF = \frac{\int_{0,005}^{0,08} p^2(t) * \cos^2(\theta) dt}{\int_0^{0,08} p^2(t) dt} [ms]$$

Ecuación 16. Cálculo de la eficiencia lateral

Donde:

Para calcularlo tomaremos en cuenta el promedio de los valores correspondientes a las bandas de 125, 250, 500 y 1000 hercios:

$$LF_{E4} = \frac{LF_{(125\text{ Hz})} + LF_{(250\text{ Hz})} + LF_{(500\text{ Hz})} + LF_{(1\text{ kHz})}}{4} [\text{dB}]$$

*Ecuación 17. Cálculo promedio de la eficiencia lateral*

Donde:  $LF_{(125\text{ Hz})}$  es la eficiencia lateral en la banda de octava de 125 Hz [ms],  $LF_{(250\text{ Hz})}$  es la eficiencia lateral en la banda de octava de 250 Hz [ms],  $LF_{(500\text{ Hz})}$  es la eficiencia lateral en la banda de octava de 500 Hz [ms] y  $LF_{(1\text{ kHz})}$  es la eficiencia lateral en la banda de octava de 1 kHz [ms].

Habitualmente se utiliza el valor resultante de la ecuación 17 como referencia, el valor de  $LF_{E4}$  promedio para una sala vacía debe ser superior o igual a 0,19.

### 5.9 Tiempo central (Ts)

El tiempo central o centro de gravedad es el primer momento del área que queda debajo de la curva de decaimiento energético y se emplea para medir la nitidez del sonido.

Nos indica la distancia en milisegundos desde el origen de tiempo hasta el centro de gravedad del área de la curva de decaimiento y su ecuación es la siguiente:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [\text{ms}]$$

*Ecuación 18. Cálculo del tiempo central*

Donde:  $p(t)$  = Presión sonora instantánea, [Pa] y  $t$  = tiempo de medición

Con un valor de  $T_s$  más corto indica que la energía sonora se concentra en los primeros instantes después de que la fuente de sonido se detiene, lo que mejora la claridad del sonido, por otro lado, un  $T_s$  más largo puede dar la sensación de un espacio más grande y reverberante, lo que puede ser deseable en situaciones musicales donde se busca un sonido más envolvente.

Tipo de espacio	$T_s$ recomendado [ms]
Salas de conferencias	40 – 60
Teatros	50 – 80
Salas de conciertos	80 – 120
Auditorios	100 – 200
Pabellones deportivos	300 - 400

*Tabla 12. Valores de  $T_s$  recomendados*

### 5.10 Índice de transmisión del habla (STI)

También llamado speech transmission index y se define como una medida cuantitativa de la inteligibilidad del habla en un entorno acústico. Se utiliza para evaluar la calidad de la transmisión del habla en espacios como auditorios, salas de conferencias, estaciones de tren, aeropuertos, y otros lugares donde la comunicación verbal es importante.

El STI se calcula teniendo en cuenta varios factores que afectan la claridad del habla, como el ruido de fondo, la reverberación, y las distorsiones del sistema de sonido.

Este parámetro adimensional que se califica con un rango de valores entre 0 (inteligibilidad nula) y 1 (inteligibilidad perfecta).

El cálculo del STI es complejo y se basa en transmitir un conjunto de señales moduladas en amplitud con un índice conocido. Se definen 7 portadoras, correspondientes a las frecuencias centrales de las bandas de octava entre 125 Hz y 8 kHz que se modulan empleando unas frecuencias de modulación establecidas en la tabla 11.

$F_m$ (Hz)	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8,0	10	12,5
------------	------	-----	---	------	-----	---	-----	------	---	---	-----	-----	----	------

Tabla 13. Frecuencias de modulación para STI.

Cada una de estas frecuencias produce un efecto de modulación sobre las 7 bandas de octava más representativas de la voz que son:

$F_0$ (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
------------	-----	-----	-----	------	------	------	------

Tabla 14. Bandas de frecuencia para STI

### 5.11 Rapid STI (RASTI)

Este parámetro es una versión simplificada y más rápida de la medición del Índice de Transmisión del Habla (STI). El STI completo puede ser complejo y llevar tiempo para calcularse completamente, esta alternativa ofrece una manera más rápida de obtener una estimación razonable.

Esta simplificación consiste en reducir el número de frecuencias de modulación y las bandas de octava en la medición, siendo las siguientes tablas los valores a tener en cuenta para el estudio:

$F_0$ (Hz)	$F_m$ (Hz)			
500	1	2	4	8

Tabla 15. Frecuencias de modulación para 500 Hz

$F_0$ (Hz)	$F_m$ (Hz)				
2000	0,7	1,4	2,8	5,6	11,2

Tabla 16. Frecuencias de modulación para 2000 Hz.

La clasificación de los valores de inteligibilidad del habla está contemplada en la tabla 15.

Malo	Pobre	Regular	Bueno	Excelente
0 – 0,3	0,3 – 0,45	0,45 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 - 1

Tabla 17. Clasificación de valores del RASTI

## 6 Metodología de Mediciones

Para realizar correctamente el ensayo de medición y asegurar que se siga un procedimiento estandarizado y coordinado, es esencial adherirse a las directrices establecidas por las normas de mediciones acústicas, este estudio ha seguido las pautas indicadas por la Norma UNE-EN-ISO-3382-1:2009, que se detallan a continuación.

### 6.1 Normativa Vigente

Para este estudio se han seguido las pautas indicadas por la Norma UNE-EN-ISO-3382-1:2009. El objeto y campo de aplicación de dicha norma consiste en la medición del tiempo de reverberación y de otros parámetros acústicos en salas de espectáculos. De esta manera, las mediciones, la instrumentación requerida, el método para evaluar los datos y el informe de resultados referentes al recinto bajo estudio cumplen con la normativa vigente.

Por otra parte, cabe mencionar que las normas que se indican a continuación resultan indispensables para la aplicación de la Norma ISO 3382:

- IEC 61260 Electroacústica. Filtros de banda de octava y de bandas de una fracción de octava.
- IEC 61672-1 Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.
- IEC 60268-16. Electroacústica. Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante STI.

### 6.2 Materiales del recinto y sus características

- Techo:
  - Panel tipo sándwich, con acabado Heraklith: Paneles con una capa de virutas de abeto aglutinadas con magnesita, diseñado para aislamiento acústico.
- Paredes:
  - Ladrillo cara vista: utilizados comúnmente en construcciones por su durabilidad y estética.
  - Hormigón visto: Superficie de hormigón liso sin acabado adicional.
  - Vidrio: Superficie de las ventanas
- Suelo:
  - Caucho: material elástico y duradero que reduce el impacto y mejora la tracción, empleado en pabellones deportivos para la realización de actividades deportivas.

	Heraklith [m <sup>2</sup> ]	Ladrillo cara vista [m <sup>2</sup> ]	Hormigón visto [m <sup>2</sup> ]	Vidrio (ventanas) [m <sup>2</sup> ]	Caucho [m <sup>2</sup> ]	Área Total [m <sup>2</sup> ]
Pared Lateral Pádel	0	177,44	175,72	55,87	0	409,03
Pared Lateral Gimnasio	0	316,97	90,06	2	0	409,03
Pared Frontal Césped	0	0	183,51	91,44	0	274,95
Pared frontal Carretera	0	334,3	117,5	229,7	0	681,50
Techo	1711,19	0	0	0	0	1711,19
Suelo	0	0	0	0	1645	1645,00
Total	1711,19	828,71	566,79	379,01	1645	5130,70

Tabla 18. Superficie de cada material en toda el área del pabellón

## 6.2.1 Características acústicas de los materiales

	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]
Panel tipo sándwich, acabado Heraklith	0,20	0,35	0,55	0,75	0,90	0,95
Ladrillo cara vista	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Hormigón visto	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vidrio (ventanas)	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Caucho	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10

Tabla 19. Coeficiente de absorción acústica de los materiales del pabellón

### 6.3 Mediciones

Las mediciones “in situ” se realizarán siguiendo la normativa UNE-EN-ISO 3382-2, una vez definidos los parámetros acústicos empezaremos por el análisis del pabellón hasta terminar en una propuesta de mejora si fuera necesaria.

El primer paso es colocar la fuente sonora omnidireccional en la misma posición donde se encuentre el foco sonoro habitualmente en el recinto, tras esto se asignarán las posiciones de medida donde se colocarán los micrófonos para estudiar los valores de EDT, T20, T30, C80, C50 y D50 en cada punto de medición.

La fuente y los micrófonos deberán estar sobre unos trípodes para regularlos a la altura necesaria.

Una vez se tenga todo el equipo preparado se realizarán las mediciones y se extraerán los datos obtenidos mediante el software para analizarlos y compararlos con los obtenidos en la simulación por ordenador.

### 6.4 Medidas “in situ”

Una vez establecidos los estándares y condiciones para el ensayo, comenzamos con el estudio del pabellón Georgina Blanes.

Para nuestro caso, solo disponemos de un micrófono, lo que significa que para tomar las mediciones en las distintas posiciones deberemos realizarlas una por una desplazando el micrófono de lugar.

Cuando todo está colocado, ejecutamos en el software ARTA el inicio del ensayo.

La fuente omnidireccional comenzará a emitir ondas sonoras a una intensidad constante en todas las direcciones, se utiliza ruido blanco para el estudio, ya que, es capaz de excitar todas las frecuencias audibles (20 Hz a 20 kHz) y genera un barrido de frecuencias.

Una vez la fuente deja de emitir sonido y este se ha disipado por completo, podremos extraer del software los resultados de esa medición con todos sus parámetros y exportarlos a Excel.

#### 6.4.1 Condiciones del pabellón

Fecha	30/1/2024
Temperatura [°C]	22
Humedad [%]	70
Presión [hPa]	1013
Estado de ocupación	Inocupación

Tabla 20. Condiciones iniciales del estudio

Pabellón	
Área [m <sup>2</sup> ]	Volumen[m <sup>3</sup> ]
5130,69	19224,31

Tabla 21. Parámetros geométricos del pabellón

#### 6.4.2 Instrumentación

Los equipos utilizados para este estudio han sido:

Fuentes sonoras:

- Fuente sonora omnidireccional ultra potente, IAG DD14

Micrófonos:

- 1 micrófono Behringer ECM8000

Dispositivos electrónicos:

- Tarjeta de sonido Komplete audio 6 MK2
- Amplificador de potencia ultraligero modelo DD400A

Cableado:

- 1 cable empalme Lemo 7 pines micrófonos
- 1 cable Jack-Jack
- 1 cable Speakon
- 1 cable XLR-XLR

Software:

- ARTA Acoustics Software

Material adicional:

- Ordenador portátil Acer Aspire 3 A315-58-53SZ
- Trípode para la fuente omnidireccional
- Trípode para el micrófono
- Alargador de cable de alimentación de 220 V
- Regleta de alimentación de 220 V

#### 6.4.3 Posiciones de medida

Siguiendo las directrices de la Norma ISO 3382, las posiciones de fuente se colocan donde se sitúan generalmente las fuentes sonoras naturales en el recinto, para este caso estudiaremos dos posiciones, una de ellas es donde actualmente se monta el escenario para los actos de graduación y otros eventos, y la segunda posición es una alternativa que puede ser interesante y queremos estudiar las variaciones acústicas entre ambas.

Para la distribución B, que es la alternativa, el planteamiento inicial es colocar el escenario en mitad del largo del pabellón, consiguiendo así una distancia menor entre el escenario y la última fila de espectadores, ya que está sería como máximo del ancho del pabellón. Las posiciones de fuente y micrófono deben cumplir las siguientes condiciones:

- Las posiciones de micrófono deben estar separadas una distancia mínima de 2 metros.
- La distancia desde cualquier posición de micrófono a la superficie reflectante más cercana, suelo incluido, debe ser al menos de 1 metro.
- La distancia mínima entre posiciones de micrófono será mayor de 0,7 metros.

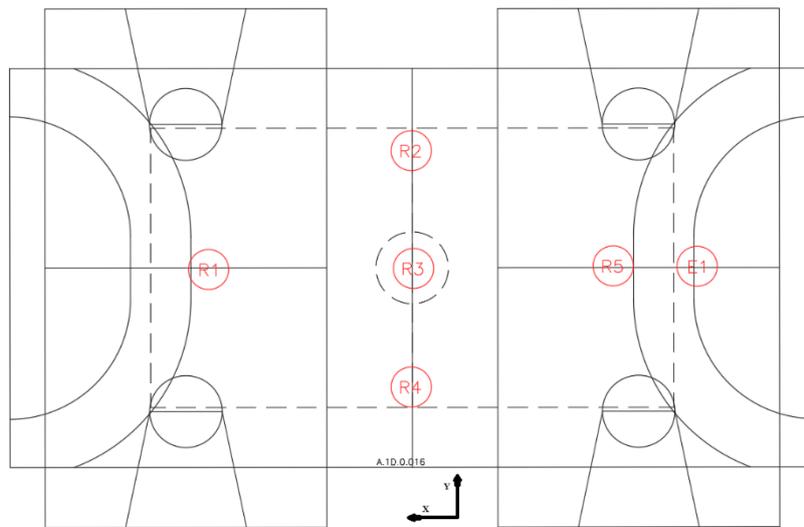


Figura 12. Esquema de las posiciones de medida de la distribución actual (A)

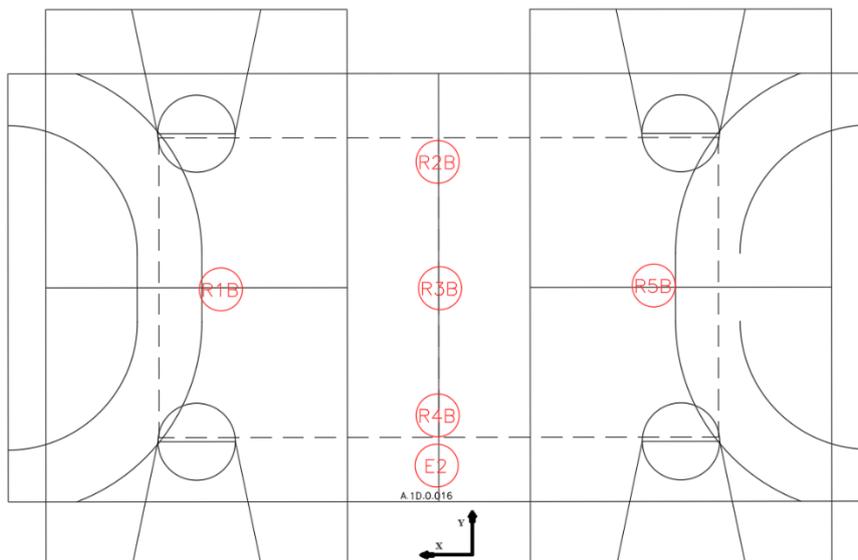


Figura 13. Esquema de las posiciones de medida de la propuesta para estudio (B)

Para ambas posiciones de estudio, se han tomado cinco mediciones en cinco posiciones distintas para evaluar la distribución del sonido desde distintos puntos.

Las posiciones del micrófono han sido las mismas para ambas distribuciones y solo se ha cambiado la fuente sonora de posición, tomando como punto de referencia la fuente sonora.

Distribución A	Posición	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]
	R1	24,5	0
	R2	14,5	10
	R3	14,5	0
	R4	14,5	-10
	R5	4,5	0

Tabla 22. Posición de los microfones con respecto a la fuente para la distribución A.

Distribución B	Posición	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]
	R1B	10	12,5
	R2B	0	22,5
	R3B	0	12,5
	R4B	0	2,5
	R5B	-10	12,5

Tabla 23. Posición de los microfones con respecto a la fuente para la distribución B.

A continuación, se muestra la distribución real del pabellón a estudiar, cuyas fotos fueron realizadas en la medición acústica del recinto:



*Imagen 1. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores*



*Imagen 2. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores*



*Imagen 3. Estudio acústico del pabellón. Imágenes extraídas en el recinto por los tutores*

Tal y como puede verse en las imágenes, la muestra de este estudio ha sido realizado con el recinto totalmente vacío, dado que las mediciones se llevan a cabo de dicha manera con la finalidad de restringir el comportamiento acústico de la propia estancia, sin ser afectado por personas.

Permite evaluar la respuesta acústica del sitio, la reverberación y la absorción, para poder distinguir los problemas acústicos y desarrollar las mejores soluciones posibles.

#### 6.4.4 Software de medida ARTA

En este punto se define la configuración del software y la calibración de los equipos para la toma de medidas “in situ”.

##### 6.4.4.1 Calibración de los equipos

Antes de comenzar con las medidas in situ se deben calibrar los equipos para poder obtener unas mediciones precisas del entorno.

Primeramente, calibraremos la tarjeta de sonido y el micrófono, conectándolos e identificándolos en el software con sus salidas.

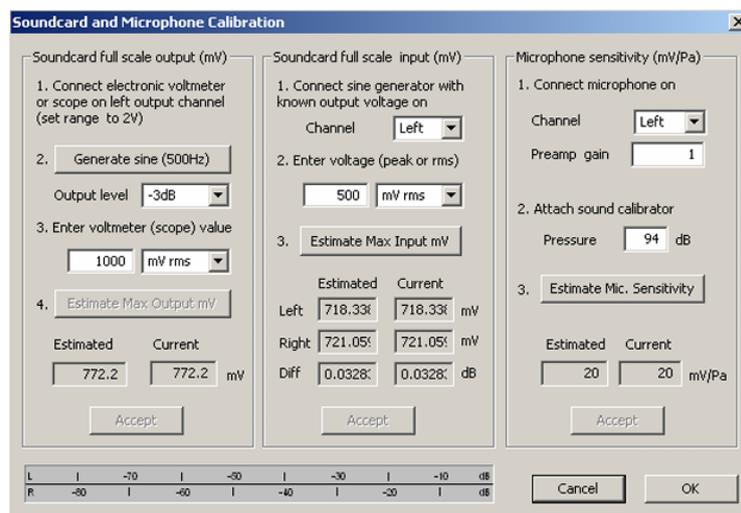


Figura 14. Cuadro de diálogo para calibrar tarjeta de sonido y micrófono

El procedimiento para calibrar la tarjeta de sonido es:

1. Conectar el voltímetro electrónico al canal de salida izquierdo.
2. Pulse el botón “Generate sine (500Hz)” (Generar onda sinusoidal 500Hz)
3. Introduzca el valor medido por el voltímetro en la casilla (en mV rms).
4. Pulse el botón “Estimate Max Output mV” (Estimar la salida máxima en mV)
5. El valor estimado aparecerá en la casilla “Estimated” (Valor estimado).

6. Si está satisfecho con la medición, pulse el botón 'Aceptar', y el valor estimado se convertirá en el valor actual de “LineOut Sensitivity” (Sensibilidad de salida).

El procedimiento para calibrar el micrófono es:

1. Conecte el preamplificador del micrófono a la entrada de la tarjeta de sonido.
2. Introduzca la ganancia del preamplificador.
3. Conecte el calibrador de sonido al micrófono.
4. Pulse el botón “Estimate mic sensitivity” (Estimar la sensibilidad del micrófono).
5. Si está satisfecho con la medición, pulse el botón “Aceptar”.

Una vez tenemos los equipos calibrados, podemos tomar las mediciones con precisión.

#### 6.4.4.2 Toma de medidas

La configuración utilizada para la medición es la mostrada en la figura 15, la cual es, la medición en canal sencillo para mediciones acústicas.

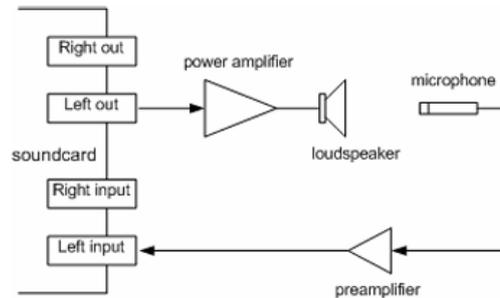


Figura 15. Configuración de medida "in situ"

El procedimiento en el programa será, una vez colocados todos los equipos en su posición configuraremos la potencia sonora de la fuente en el amplificador, añadiremos el sonido que queramos que se reproduzca en la fuente sonora, en nuestro caso será ruido blanco, ya que, contiene todas las frecuencias audibles (20 Hz a 20 kHz).

Por último, definiremos el espectro de frecuencias que queremos medir e iniciaremos el ensayo presionando "Record" (figura 16).

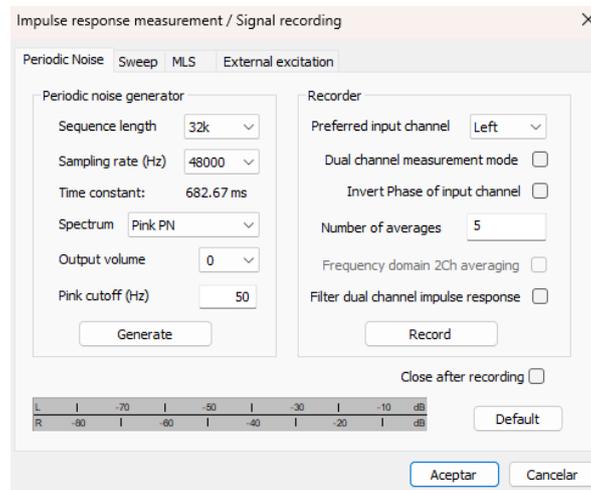


Figura 16. Configuración parámetros de medición

Una vez termine podremos obtener los resultados del estudio en la pestaña de "Analysis" y seleccionando los parámetros acústicos para la normativa ISO- 3382.

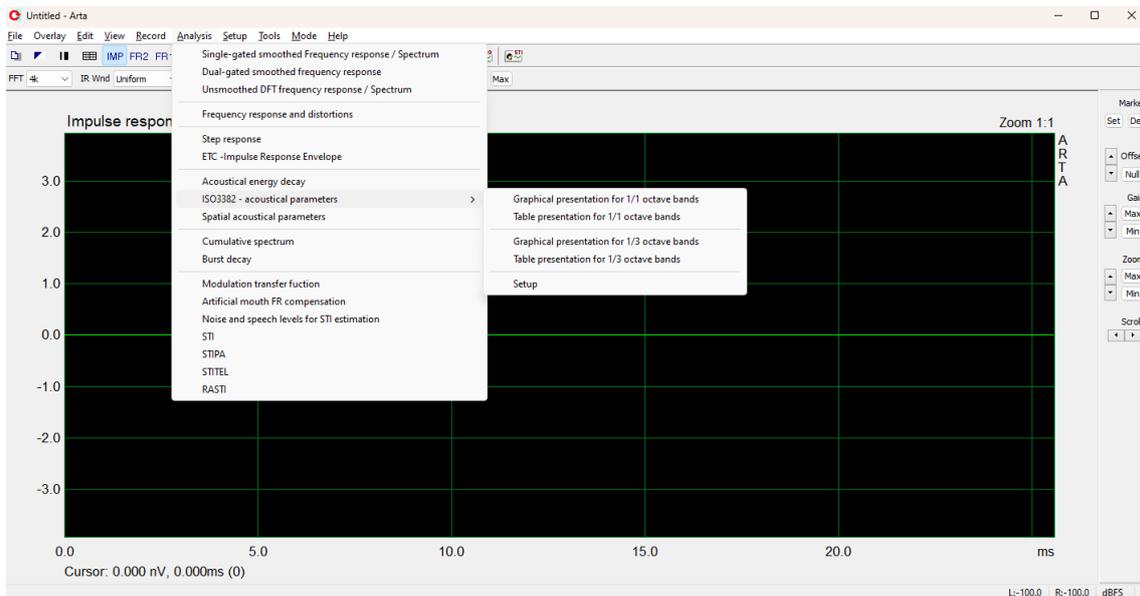


Figura 17. Resultados del estudio I

Una vez elegida la forma en la que extraer los datos (en este caso formato tabla para bandas en 1/3 de octava).

Una vez se han obtenido las medidas del software, estas se exportan a Excel donde se representan gráficamente para su estudio.

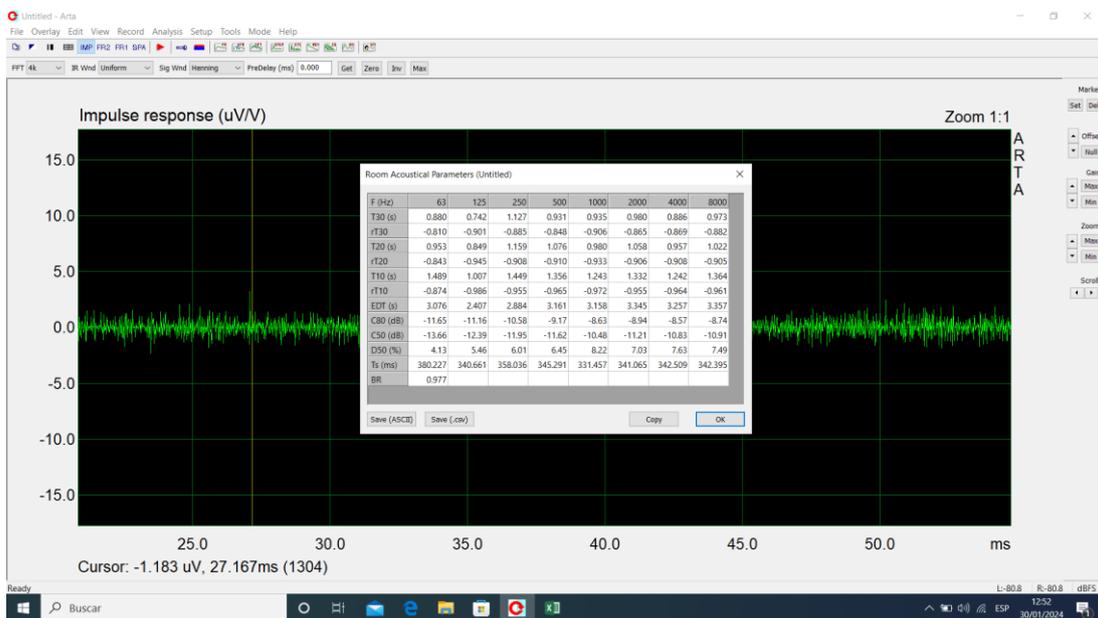
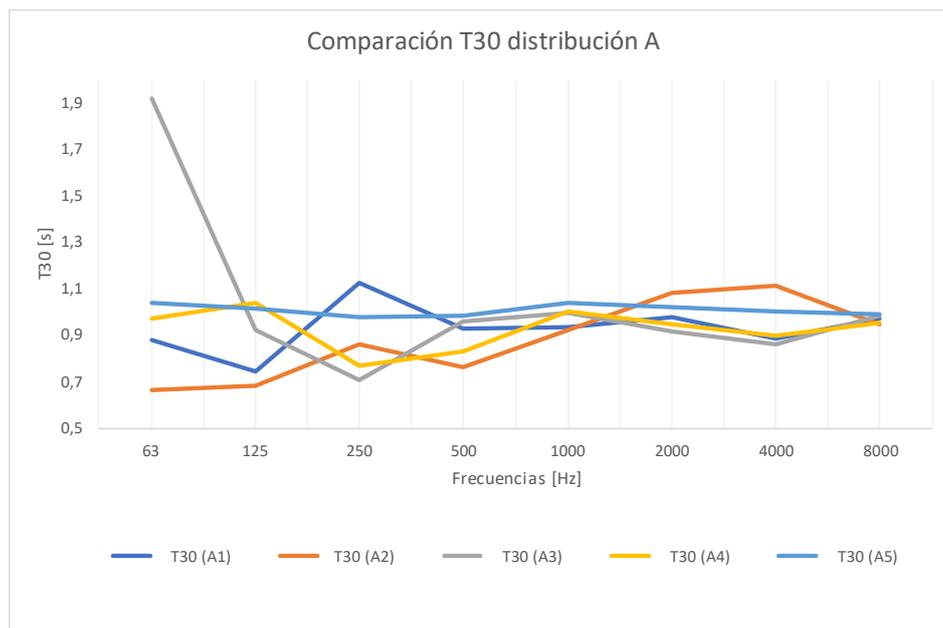


Figura 18. Resultados del estudio II

## 7 Resultados de las mediciones

Tras un estudio exhaustivo y análisis de datos, a lo largo de este apartado se presentarán las mediciones A y B, explicándolas de una manera general para su conclusión y comparación en el último apartado de este punto; resultado de las mediciones

### 7.1 Mediciones A



Gráfica 1. Comparación T30 distribución A. Fuente: elaboración propia

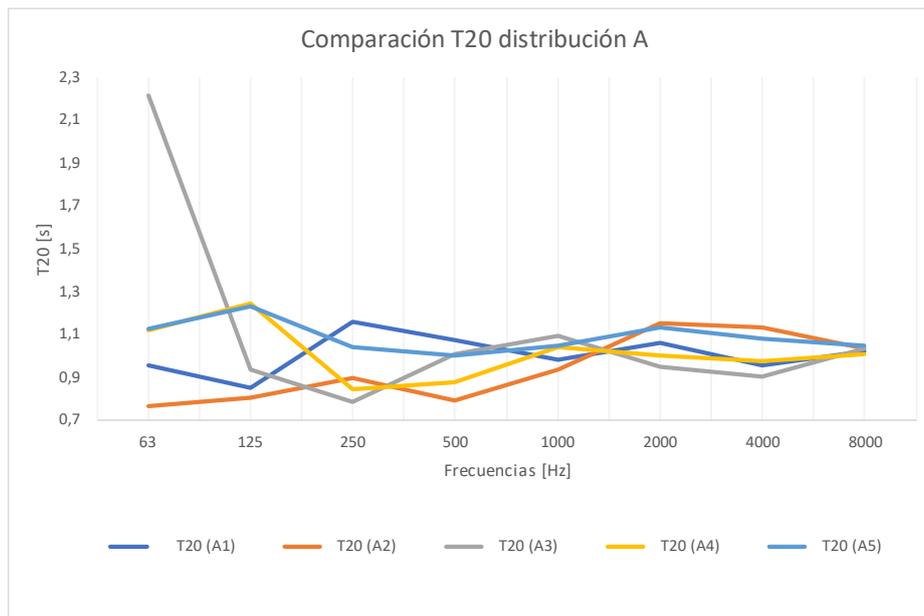
El tiempo de reverberación T30 es el tiempo que tarda en decaer 30 dB el nivel de presión sonora después de que una fuente sonora se ha apagado, cada curva de color representa una posición de medida descritas en la figura 12 del pabellón deportivo (tabla 5).

La estabilidad en frecuencias medias y altas significa un buen control acústico en esas bandas, mientras que la variabilidad en bajas frecuencias requiere un tratamiento acústico adicional para mejorar la calidad acústica general.

La curva A3 muestra un pico alto de tiempo de reverberación. Este comportamiento es común en frecuencias bajas debido a la menor absorción sonora por las superficies y materiales del pabellón.

El valor encaja con los valores de un recinto polivalente y en general la distribución es estable.

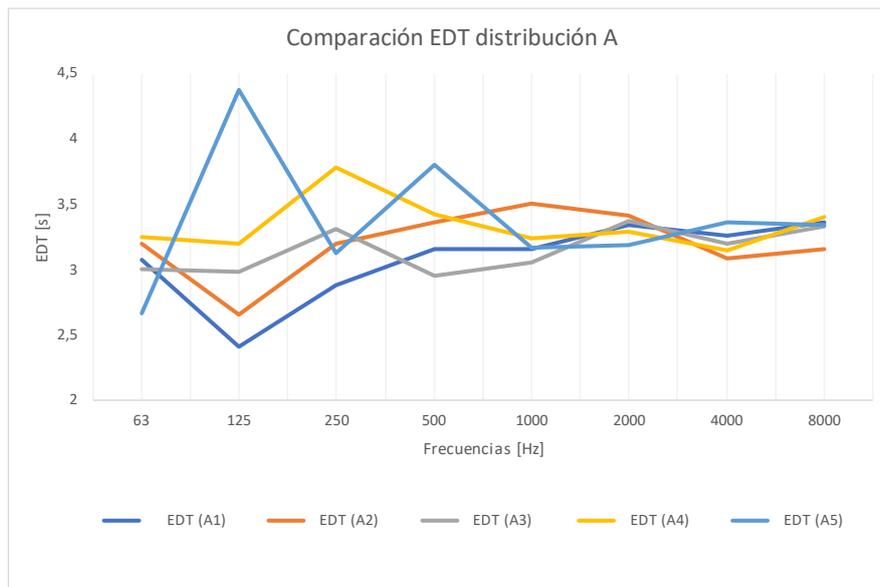
El valor de RT medio es de 0,935 [s].



Gráfica 2. Comparación T20 distribución A. Fuente: elaboración propia

El tiempo de reverberación T20 es el tiempo que tarda en decaer 20 dB el nivel de presión sonora después de que una fuente sonora se ha apagado, la gráfica 2 muestra de manera similar lo visto en la gráfica 1.

Se estudia el T20 aun siendo un parámetro similar al T30 por compararlos entre sí y ver si hay alguna variación significativa que nos diera alguna información adicional, en este caso, son similares, por tanto, la interpretación de la gráfica 1 es la misma que para la gráfica 2.



Gráfica 3. Comparación EDT distribución A. Fuente: elaboración propia

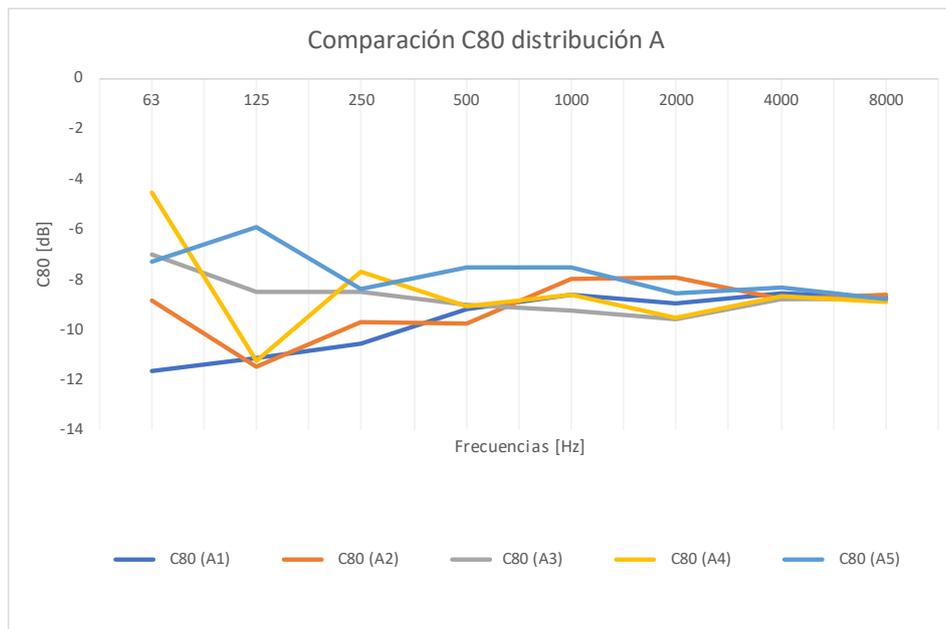
Los valores de EDT en 125 Hz para las posiciones A1 y A4 son altos, alcanzando hasta 4.3 segundos en A1. Esto es significativamente superior a los valores típicos de EDT para cualquier tipo de espacio, indicando una anomalía en la absorción de frecuencias bajas.

Los valores de EDT en frecuencias altas son más estables y se encuentran entre 3.0 y 3.2 segundos. Aunque estos valores son altos en comparación con los estándares para espacios de rendimiento y habla, en el contexto de un pabellón deportivo, todavía podrían considerarse aceptables (tabla 6).

Esto puede deberse a la alta reflectividad de los materiales en el pabellón, la geometría del pabellón puede estar contribuyendo a una acumulación de energía sonora y prolongando las reflexiones o la falta de materiales absorbentes adecuados, especialmente en las frecuencias bajas.

En resumen, los valores de EDT mostrados en la gráfica son anormalmente altos, especialmente en las frecuencias bajas, lo que sugiere la necesidad de mejoras en el tratamiento acústico del espacio para alcanzar una calidad sonora más adecuada y uniforme.

El valor de EDT medio es de 3,282 s.

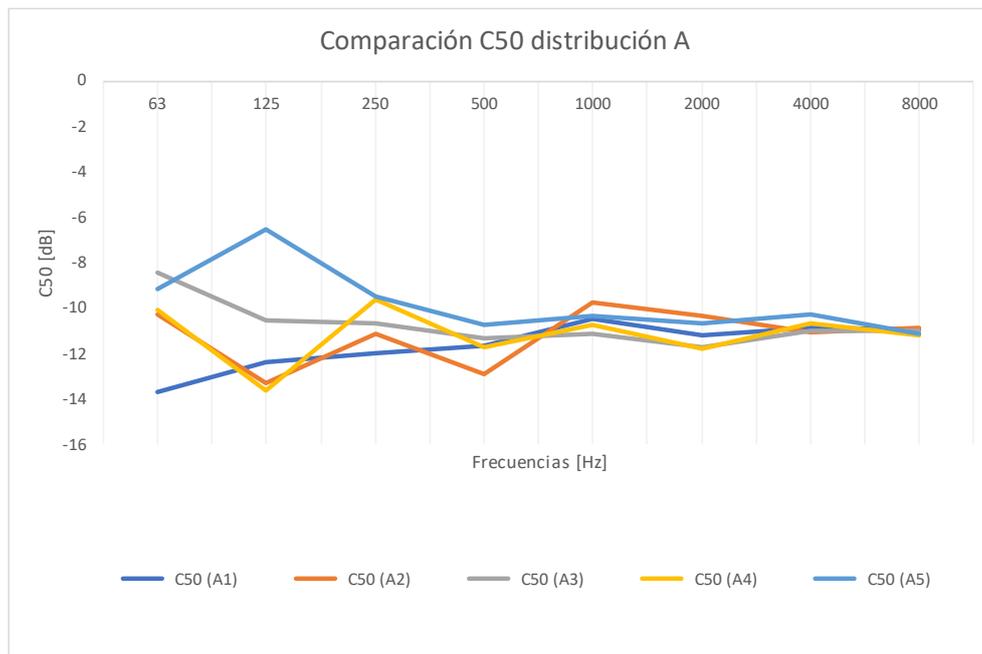


Gráfica 4. Comparación C80 distribución A. Fuente: elaboración propia

C80 es el parámetro que indica la claridad musical, donde valores más altos de C80 corresponden a una mayor claridad del sonido.

La posición de la fuente influye considerablemente sobre todo en bajas frecuencias debido a que modifica la distancia de la fuente a los receptores y la geometría de la sala.

El valor promedio de C80 calculado con la ecuación 15, es de  $-8,8$  dB, valor que significa que la claridad musical es muy deficiente.

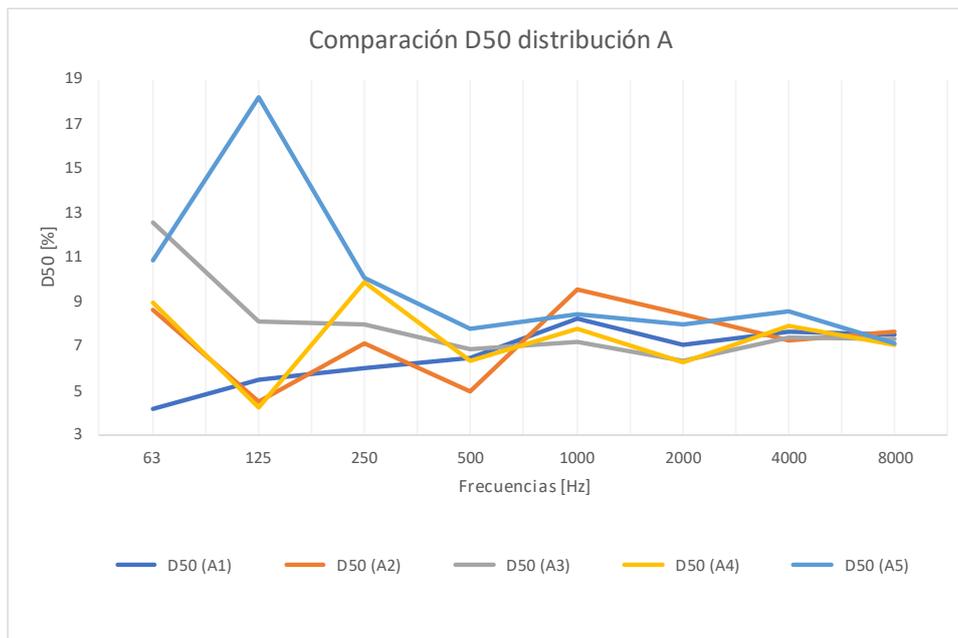


Gráfica 5. Comparación C50 distribución A. Fuente: elaboración propia

El comportamiento mostrado en la gráfica sugiere que las distribuciones tienen un impacto significativo en los valores de C50 a diferentes frecuencias, se observa una mayor estabilidad y convergencia en las frecuencias medias y altas, que indican que las reflexiones tempranas son más uniformemente distribuidas o absorbidas en estas bandas de frecuencia.

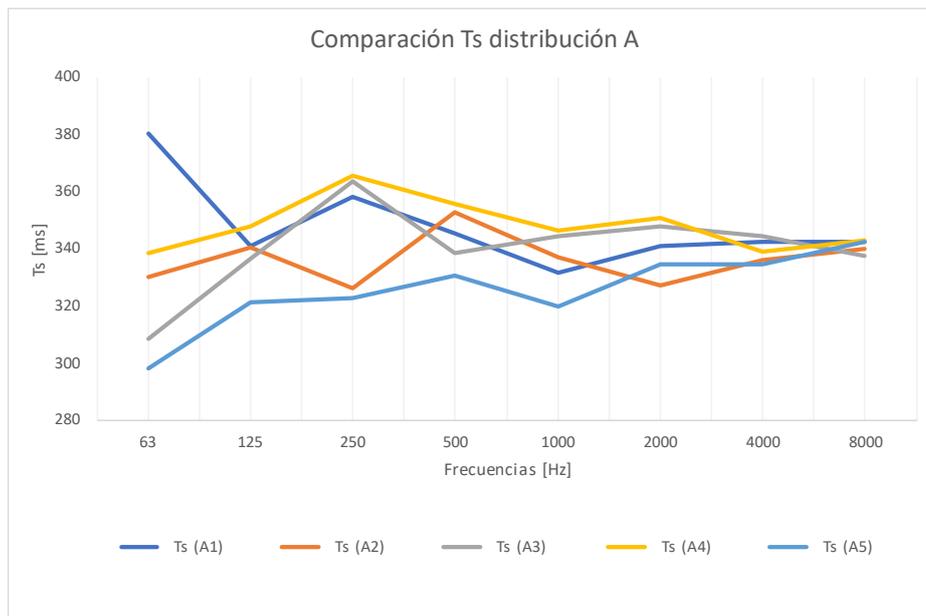
Un C50 bajo en frecuencias bajas puede resultar en una percepción de "eco" o reverberación molesta, el valor promedio de C50 calculado con la ecuación 12 es de -10,95 dB.

Los valores de C50 en la gráfica indican que la claridad del sonido en el pabellón deportivo es generalmente baja en comparación con los valores recomendados para una buena inteligibilidad del habla y calidad sonora (tabla 8). Esto sugiere que el espacio no proporciona la claridad necesaria para aplicaciones que requieren una alta inteligibilidad del habla, como conferencias y presentaciones.



Gráfica 6. Comparación D50 distribución A. Fuente: elaboración propia

Los valores de D50 en la gráfica indican que la definición del sonido en el pabellón deportivo es insuficiente, los valores oscilan entre 6 % y 9 % para todas las distribuciones, hay uniformidad con valores relativamente bajos en comparación con los valores recomendados para una buena inteligibilidad del habla y calidad sonora. Esto sugiere que el espacio no proporciona la claridad necesaria para aplicaciones que requieren una alta definición del sonido.

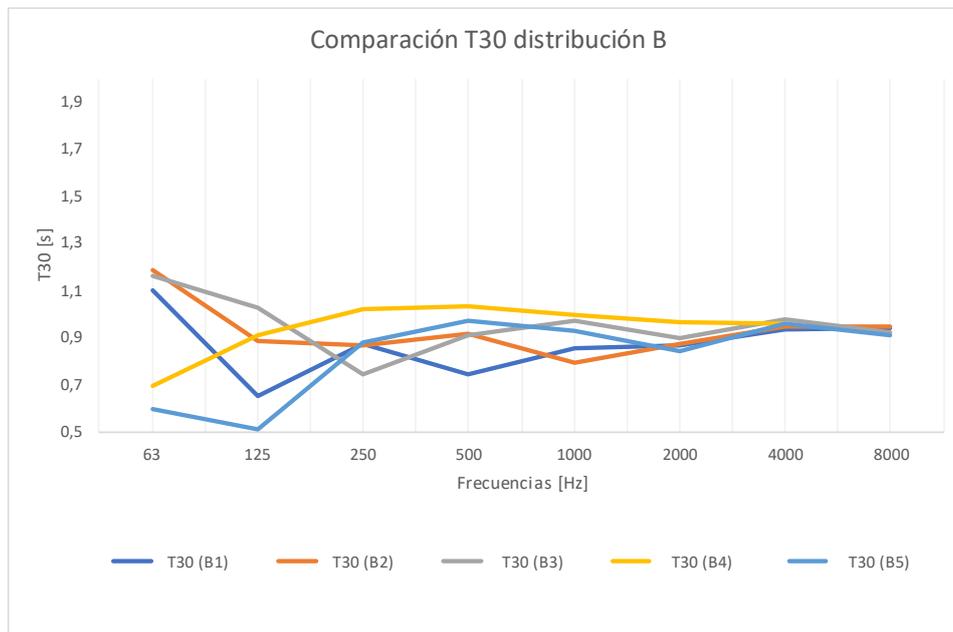


Gráfica 7. Comparación Ts distribución A. Fuente: elaboración propia

Con este parámetro ya sí que encontramos variación entre las posiciones de medida, debido a las distancias entre la fuente, los receptores y la variación de la geometría de la sala.

Los valores de Ts en las frecuencias medias oscilan entre 320 ms y 350 ms, lo que sugiere una mayor estabilidad y una buena consistencia en estas frecuencias, la uniformidad en esta banda es favorable y sugiere un equilibrio razonable en la percepción de claridad y reverberación, sin embargo, hay una variabilidad significativa en las frecuencias bajas que puede necesitar atención para asegurar una uniformidad en la calidad sonora en todo el espectro de frecuencias.

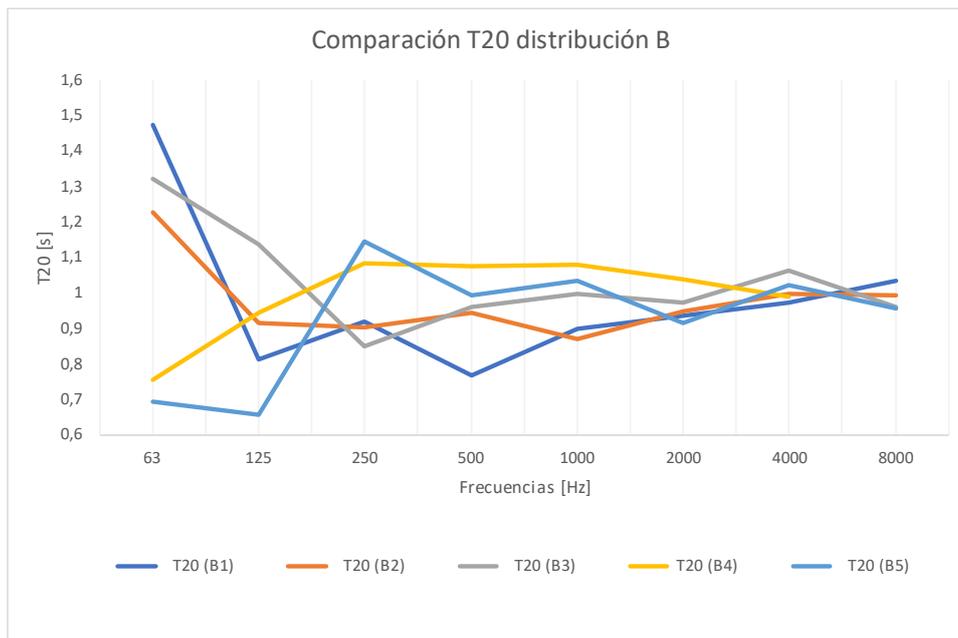
## 7.2 Mediciones B



Gráfica 8. Comparación T30 distribución B. Fuente: elaboración propia

El tiempo de reverberación es muy similar en cuanto a resultados y distribución de las posiciones de medida al de la gráfica 1, ya que, el tiempo de reverberación es una propiedad del recinto y aunque pueda variar por algunos factores es un valor independiente a la posición de la fuente.

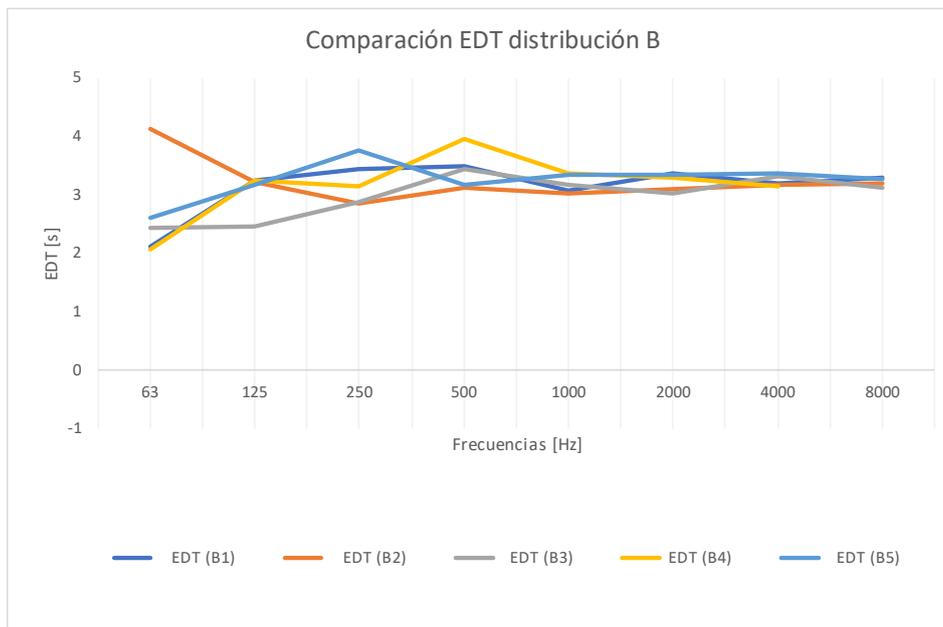
El valor de RT medio es de 0,911 s.



Gráfica 9. Comparación T20 distribución B. Fuente: elaboración propia

Se observa un comportamiento más disperso, sobre todo, en bajas frecuencias a comparación con la gráfica 8, esto puede deberse a la sensibilidad de T20 a las primeras reflexiones, la posición de la fuente sonora, los modos propios del recinto y los efectos locales.

De todos modos, en altas frecuencias se observa que las líneas convergen y obtenemos unos valores similares al tiempo de reverberación para la distribución A.



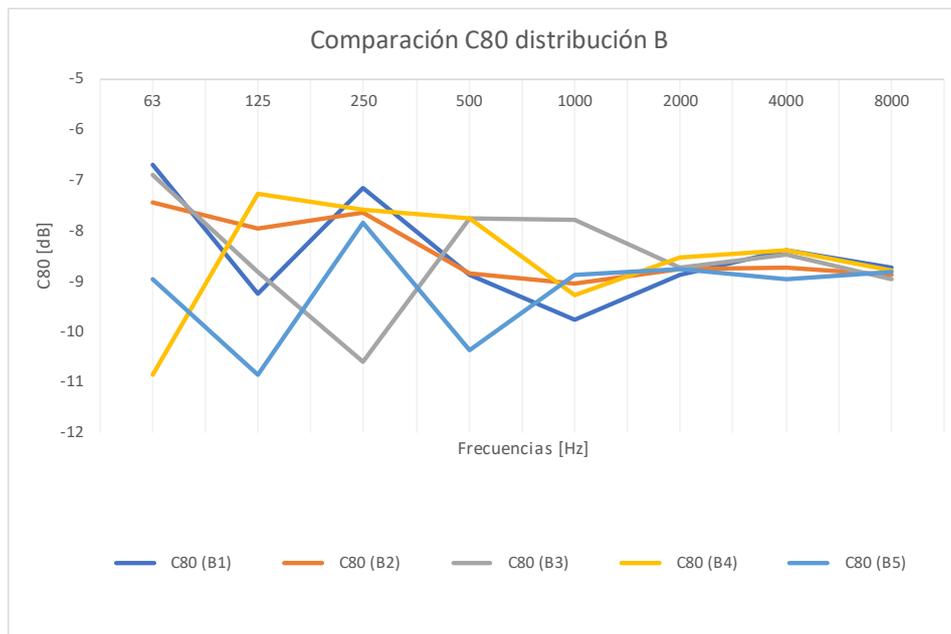
Gráfica 10. Comparación EDT distribución B. Fuente: elaboración propia

Aunque hay variabilidad, los valores se mantienen en un rango más estable en esta banda de frecuencias, lo cual es positivo para la uniformidad acústica.

La alta variabilidad en los valores de EDT en las frecuencias bajas indica diferencias en cómo las distribuciones manejan la absorción y reflexión del sonido en estas bandas. La posición B2 muestra un valor extremadamente alto en 63 Hz, lo cual sugiere una absorción insuficiente.

Los valores de EDT en las frecuencias medias oscilan entre 2.5 s y 3.5 s, que son más altos de lo recomendado para pabellones deportivos.

El valor de EDT medio es de 3,321 s



Gráfica 11. Comparación C80 distribución B. Fuente: elaboración propia

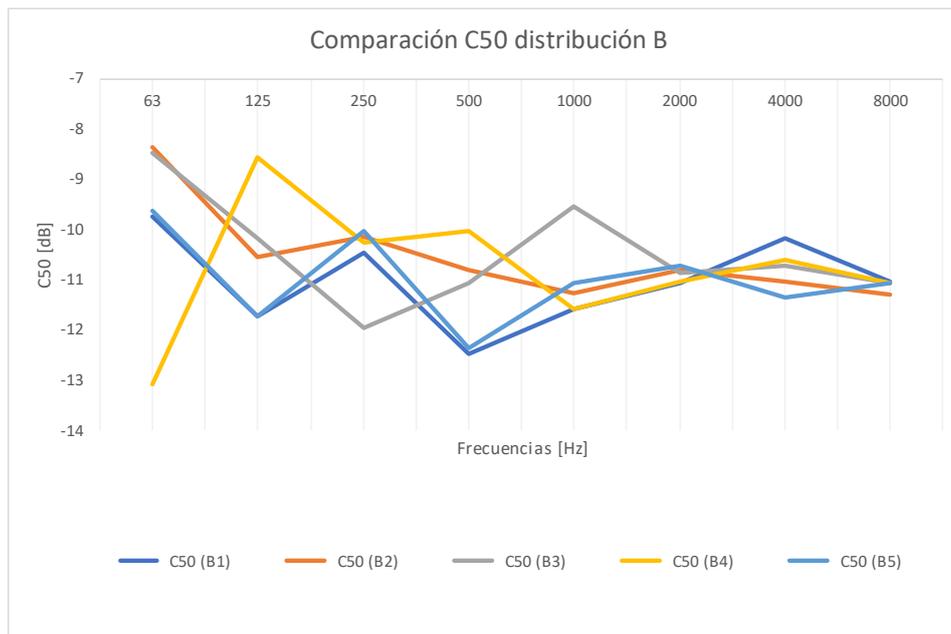
La gráfica muestra una considerable variabilidad en las frecuencias bajas, con algunas posiciones como B3 y B4 presentando fluctuaciones significativas que indican una inconsistencia en la gestión acústica en esas bandas.

En las frecuencias medias, las distribuciones tienden a estabilizarse, aunque los valores de C80 permanecen por debajo del rango recomendado, lo cual afecta la inteligibilidad del sonido.

En las frecuencias altas, la menor variabilidad sugiere una mejor uniformidad, aunque los valores siguen siendo bajos. Esta variabilidad y los valores consistentemente bajos de C80 en todo el espectro de frecuencias indican que la claridad del sonido en el pabellón deportivo es insuficiente.

Los picos en las curvas de bajas frecuencias en la gráfica de C80 pueden ser atribuidos a una combinación de modos propios del recinto, la forma y geometría del pabellón, la distribución de materiales reflectantes y absorbentes o interferencias constructivas.

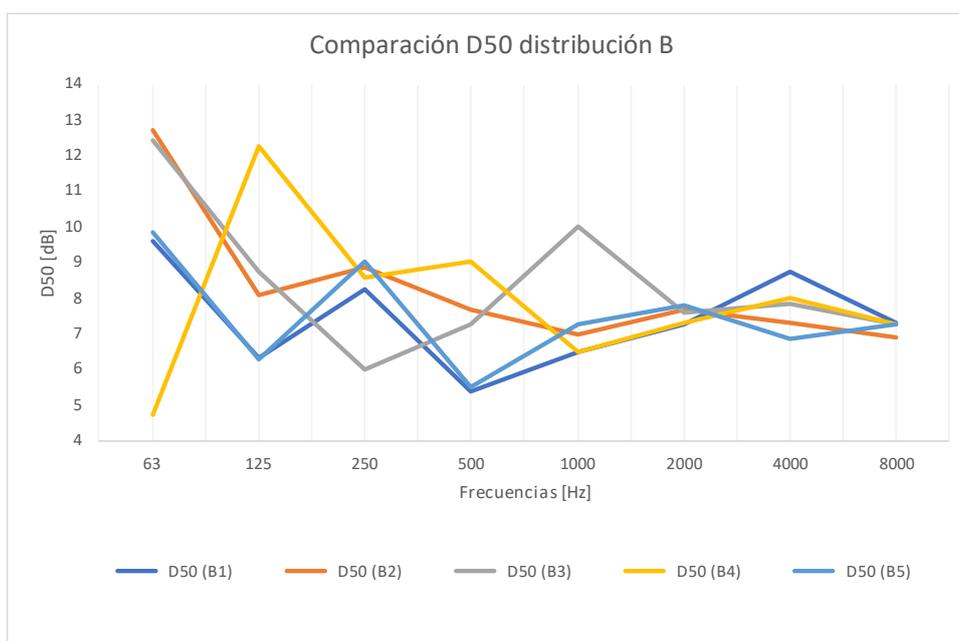
El valor de C80 para esta posición es de -8,80 dB



Gráfica 12. Comparación C50 distribución B. Fuente: elaboración propia

Los resultados para la claridad vocal tienen la misma interpretación que el parámetro C80, donde empiezan a converger las curvas en altas frecuencias, esto indica una mala inteligibilidad del habla.

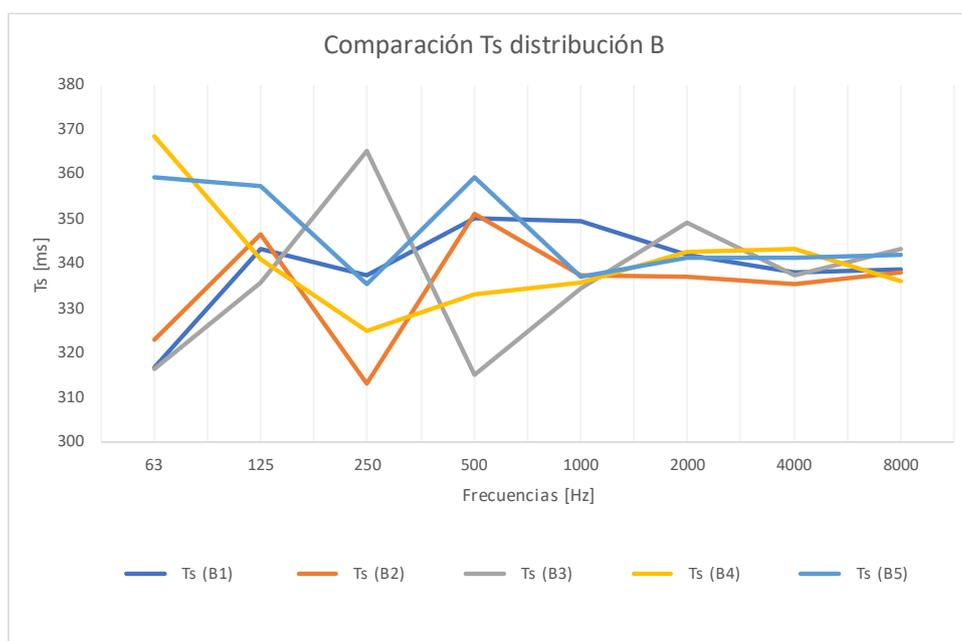
Los valores para un correcto acondicionamiento están cercanos a 0 dB, como marca la tabla 8 y para este parámetro el valor de C50 calculado es de -10,95 dB.



Gráfica 13. Comparación D50 distribución B. Fuente: elaboración propia

Los valores de D50 en la gráfica muestran un parámetro de definición muy similar al de la distribución A, los valores oscilan entre 6 % y 9 % para todas las distribuciones en altas frecuencias, un valor muy por debajo del recomendado, además, no hay uniformidad en las curvas a bajas frecuencias.

Esto sugiere que el espacio no proporciona la claridad necesaria para aplicaciones que requieren una alta definición del sonido.



Gráfica 14. Comparación Ts distribución B. Fuente: elaboración propia

Al igual que ocurría para la distribución A, encontramos variación entre las posiciones de medida, debido a las distancias entre la fuente y los receptores.

Los valores de Ts en las frecuencias medias oscilan entre 335 y 355 ms en altas frecuencias, lo que significa una buena consistencia, sin embargo, en frecuencias medias se encuentran picos de valor máximo y mínimo entre las curvas que no aparecían de manera tan exagerada en la distribución A.

### 7.3 Resultado de las mediciones

Las conclusiones que se obtiene tras estudiar los resultados de las medidas “in situ” son que el pabellón tiene una acústica deficiente, aunque entra dentro de los márgenes por el tipo de recinto y dimensiones, pero hay que implementar medidas correctivas para el uso de auditorio o sala de congresos que se desea implantar.

La solución deberá ir encaminada en que los parámetros entren dentro de los recomendados para el tipo de sala que se pretende conseguir haciendo hincapié a bajas frecuencias, que es donde más inestable es la propagación del sonido.

## 8 Diseño del pabellón

El pabellón se ha diseñado utilizando el software pCon.planner. Es un programa de diseño de interiores que cumple las necesidades de diseño por diversas características:

- Rapidez: Elementos paramétricos como muros, puertas, ventanas, entre otros.
- Extensa biblioteca de elementos estructurales
- Compatibilidad: formato .dwg nativo (Autodesk)
- Creación automática de capas acústicas.
- Buena calidad de renderizado.
- Exportación a formatos conocidos como skp, obj, fbx entre otros.

He comenzado abriendo el fichero .dwg del plano CAD suministrado del pabellón. Comprobada que la escala de importación es la correcta paso a simplificarlo eliminando las partes innecesarias dejando los elementos: muros, pilares, puertas y ventanas.

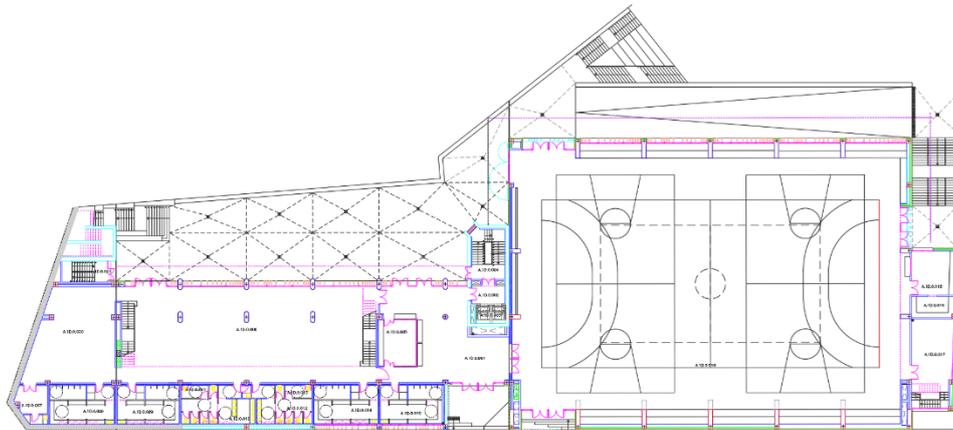


Figura 19. Plano 2D del pabellón

Tomando como referencia fotos realizadas en el pabellón para el diseño de interior.



Figura 20. Fotografía del interior del pabellón I



Figura 21. Fotografía del interior del pabellón II



Figura 22. Fotografía del interior del pabellón III

Las diferentes etapas de creación mediante pCon.planner son:

- "CALCAR" los muros del pabellón con la herramienta "Muro" en la vista Superior. Esto hace que al mismo tiempo que se crean en la vista Superior se obtenga el resultado en 3D en la vista Perspectiva.
- Creación de Pilares utilizando la referencia CAD 2D cargada inicialmente. La altura de éstos será modificada posteriormente ya que el techo es curvo.
- Creación de puertas paramétricas de 1 y 2 hojas según plano 2D desde la vista Superior. Una vez creada una puerta ésta dispone de diversas configuraciones paramétricas que podemos elegir en la ventana de "Propiedades" como sus dimensiones entre otras características.
- Creación de ventanas paramétricas desde la vista Superior. Una vez creada una ventana ésta dispone de diversas configuraciones paramétricas que podemos elegir en la ventana

de “Propiedades” como dimensiones y altura desde el suelo, número de hojas, entre otras muchas opciones.

- Utilización de la herramienta “Cuboide” para la creación de elementos como asientos y cerramientos.
- Creación del suelo del pabellón utilizando la herramienta “Polilínea” para cerrar todo el espacio. A continuación, utilizamos la herramienta Editar->Región para crear la superficie del suelo capaz de tener un material.
- Una vez acabado el modelado mostraremos el panel de Materiales y elegiremos los materiales predeterminados adecuados para cada tipo de elemento de la escena según las fotografías aportadas del pabellón real.

El resultado del diseño renderizado es el siguiente:



Figura 23. Diseño renderizado del pabellón I

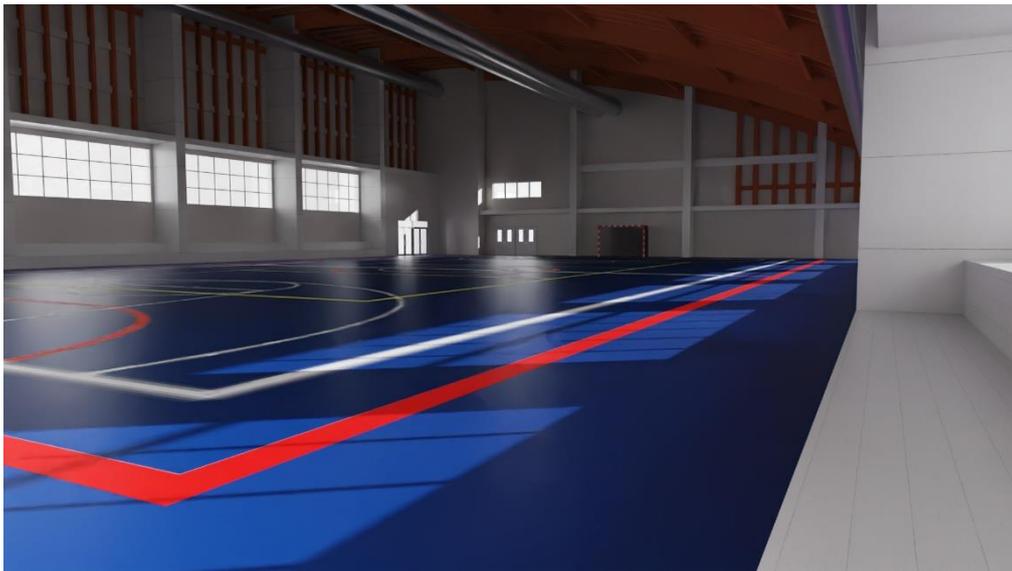


Figura 24. Diseño renderizado del pabellón II



Figura 25. Diseño renderizado del pabellón III

Una vez terminado el diseño este se exportará al software acústico donde se estudiará el comportamiento acústico.

## 9 Simulación acústica (CadnaR)

Para empezar la simulación se importa el diseño realizado en el apartado anterior en formato “.skp” (sketchup), para la simulación se han suprimido elementos estructurales del interior como, las tuberías de aire y las porterías de futbol, porque son elementos que no afectan significativamente al estudio y por su geometría provocan un cálculo más extenso de tiempo al software.

Al igual que sucede con las puertas y ventanas, estas se han simplificado sustituyéndolas por capas que simulen su área, que posteriormente se asignarán con los coeficientes de absorción correspondientes de la tabla 19.

El perímetro del pabellón está dividido en 4 partes, en función del lado en el que están situadas.

Coeficiente de absorción medio						
	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]
Pared Lateral Pádel	0,038	0,030	0,036	0,043	0,055	0,068
Pared Lateral Gimnasio	0,019	0,028	0,038	0,048	0,065	0,078
Pared Frontal Césped	0,067	0,033	0,033	0,037	0,040	0,053
Pared frontal Carretera	0,072	0,038	0,038	0,042	0,050	0,058
Techo	0,200	0,350	0,550	0,750	0,900	0,950
Suelo	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100

Tabla 24. Coeficientes de absorción media por cada lado del pabellón

En la tabla 24 podemos apreciar los coeficientes de absorción medios para cada lado del pabellón calculados mediante la ecuación 5, estos valores son los que se introducirán en el software CadnaR para el cálculo por ordenador.

En la simulación por ordenador se obtendrán 4 simulaciones, 2 de ellas serán el estudio de la distribución A y B con las condiciones actuales del recinto y “calibrar” el software con los valores obtenidos de las medidas “in situ” para trabajar en un entorno fiable.

Los otros 2 serán los resultados de las distribuciones de las soluciones propuestas para A y B, se estudiará colocando paneles fonoabsorbentes sobre las superficies de hormigón visto y comparar el comportamiento de la sala, pudiendo obtener información sobre la propuesta de mejora y medidas correctivas del pabellón.

Se conoce que el techo del pabellón ya cuenta con una medida acústica integrada, que es un panel tipo sándwich con acabado Heraklith (virutas de abeto con magnesita), y para las configuraciones de la propuesta, se colocará este material sobre las superficies de hormigón,

Al entrar al software definiremos la fuente omnidireccional, micrófonos y las posiciones de estudio, que ya realizamos en las medidas “in situ”, para recrear el mismo espacio de estudio que se realizó.

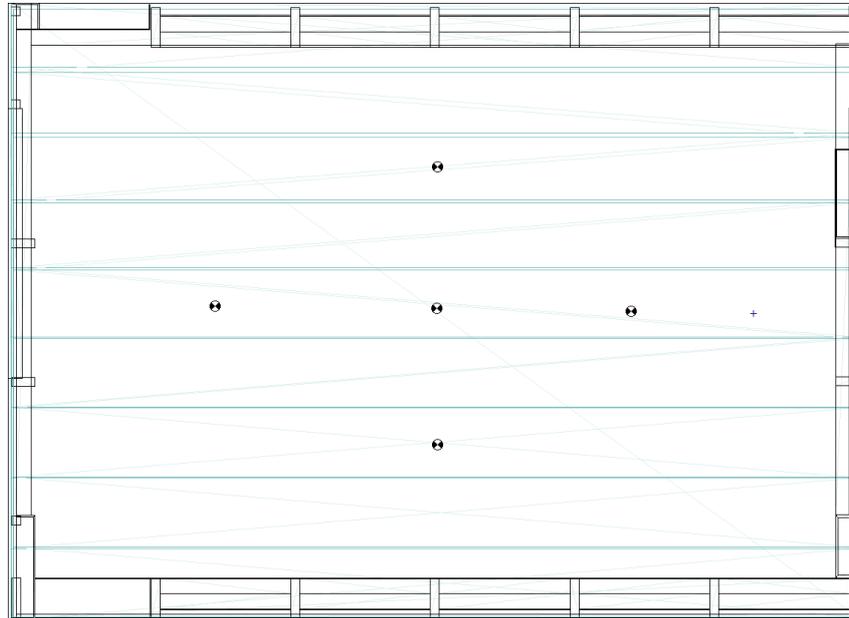


Figura 26. Espacio de trabajo en el software

Definiremos también los parámetros de la sala como la absorción acústica de todas las superficies del recinto.

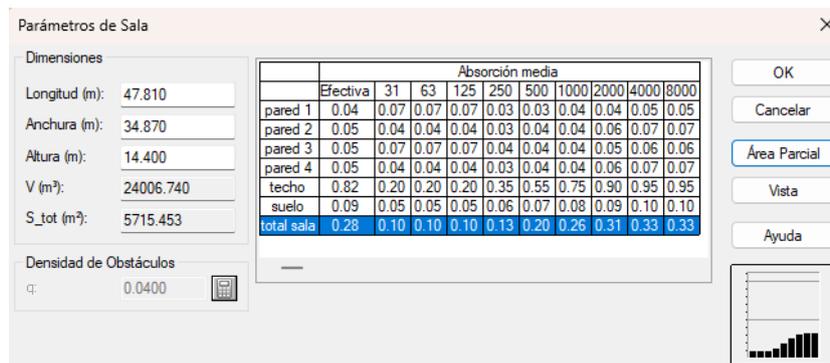


Figura 27. Pestaña de configuración para los parámetros de sala

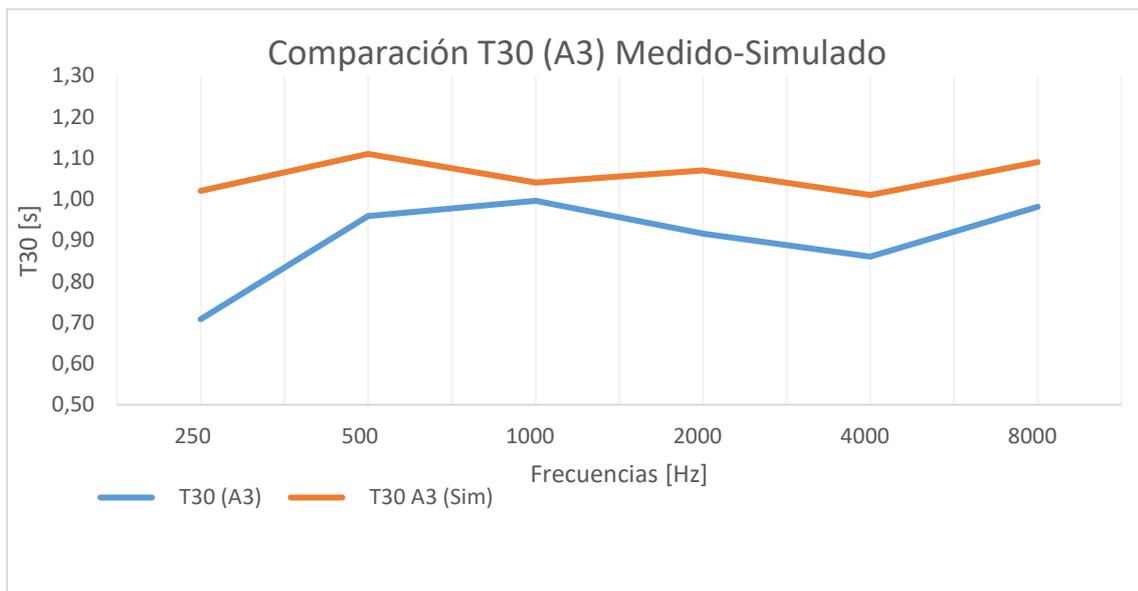
Una vez esté todo configurado se ejecutará el estudio y se compararán los resultados obtenidos en la simulación con los de las medidas tomadas, en base a eso, se comprobará la veracidad de la simulación y si esta todo correcto se procederá a realizar las simulaciones de las propuestas de mejora.

### 9.1 Comprobación del modelo CAD

Para validar el diseño se tratará de ajustar el tiempo de reverberación (T30) que depende de la absorción de los materiales y de los parámetros de claridad vocal (C50) y musical (C80) que validan la geometría de la sala, con esto validado se podrá determinar que las mediciones del modelo CAD son válidas.

Para ello compararemos gráficamente los valores de la toma A3 (punto central), de ambos estudios.

T30:



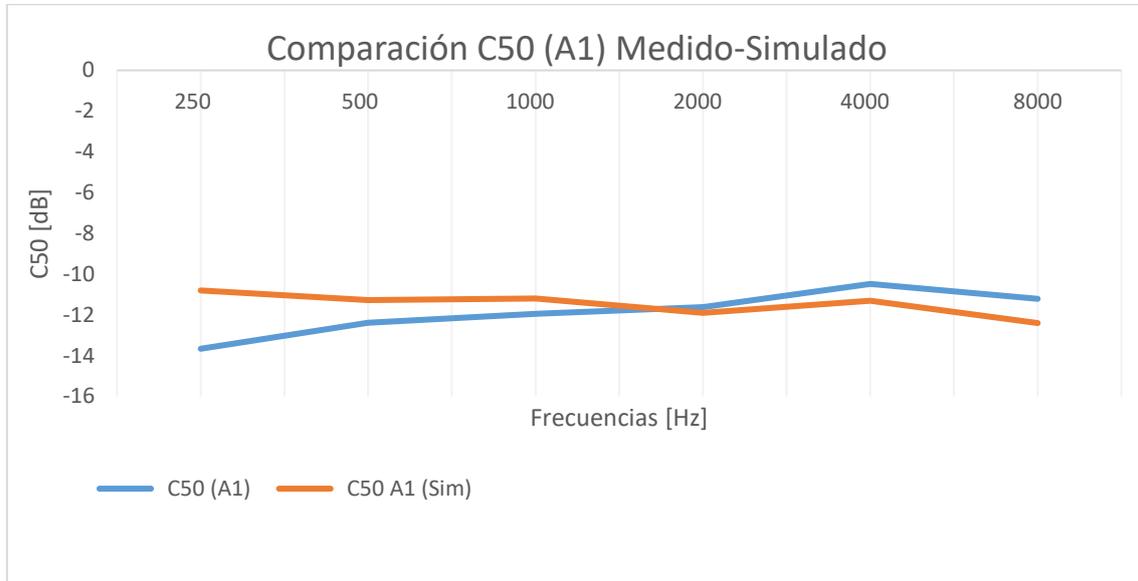
Gráfica 15. Comparación T30 (A3) medido - simulado

Se puede concluir que para el parámetro T30 las medidas tomadas y las simuladas son muy similares, por lo que, se da por válido.

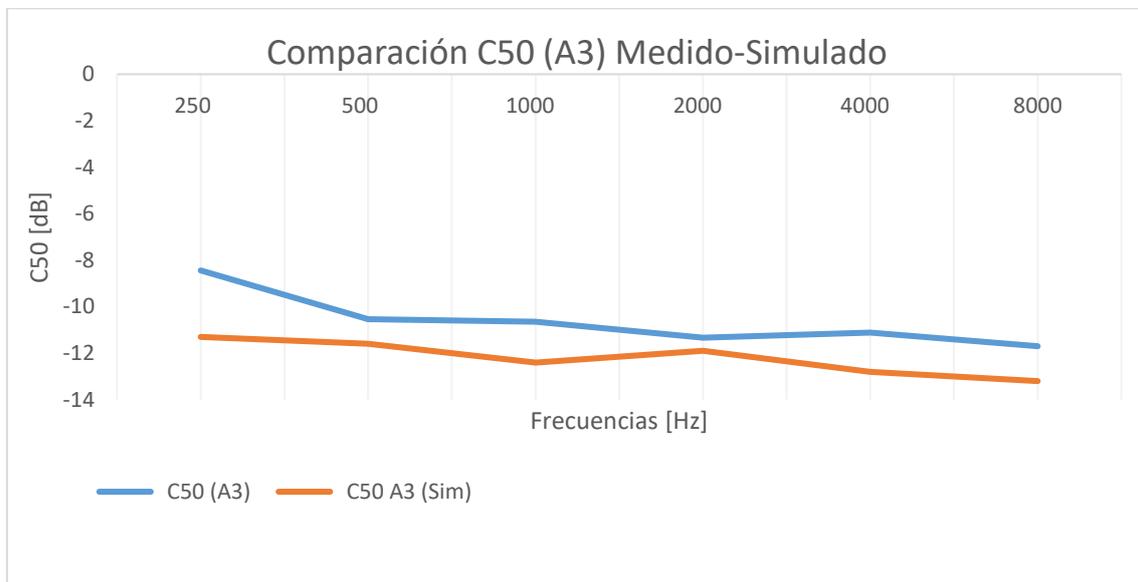
Las variaciones pueden deberse a una variación en las áreas reales de materiales con respecto a las utilizadas para el cálculo.

C50:

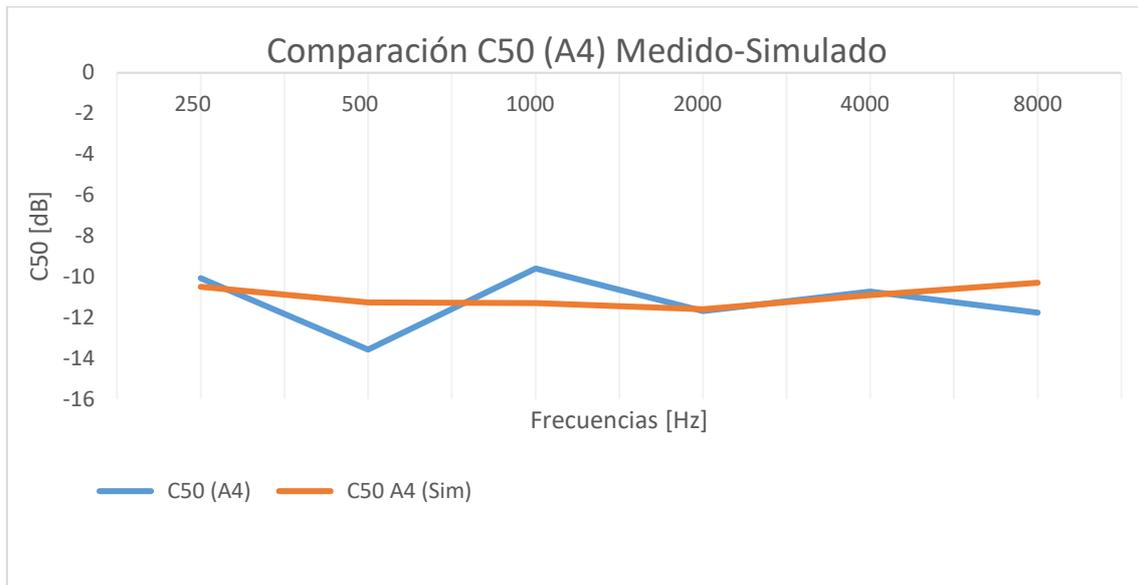
Para los parámetros C50 y C80 que dependen de la geometría cogemos más puntos de estudio para verificar las medidas, se utilizarán los puntos A1, A3 y A4.



Gráfica 16. Comparación C50 (A1) medido – simulado



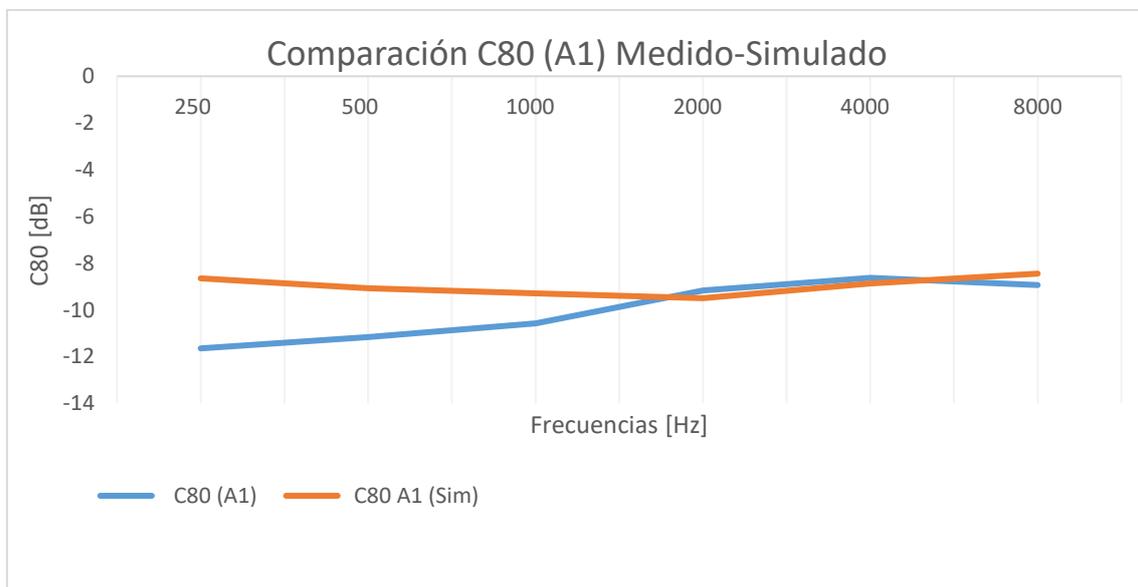
Gráfica 17. Comparación C50 (A3) medido – simulado



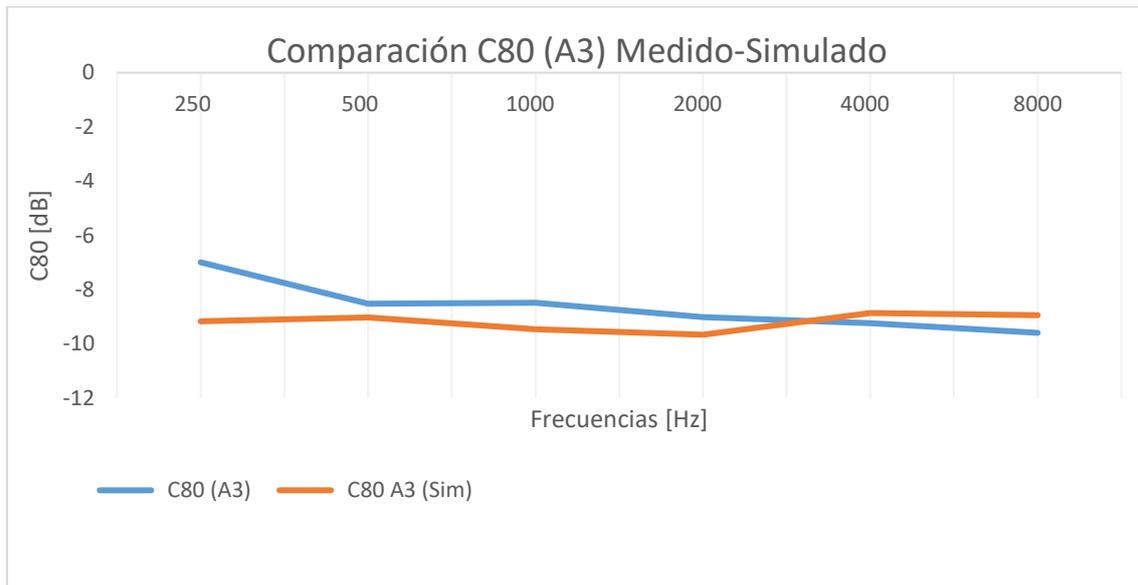
Gráfica 18. Comparación C50 (A4) medido – simulado

Con estas gráficas podemos comprobar como el modelo refleja un comportamiento adecuado.

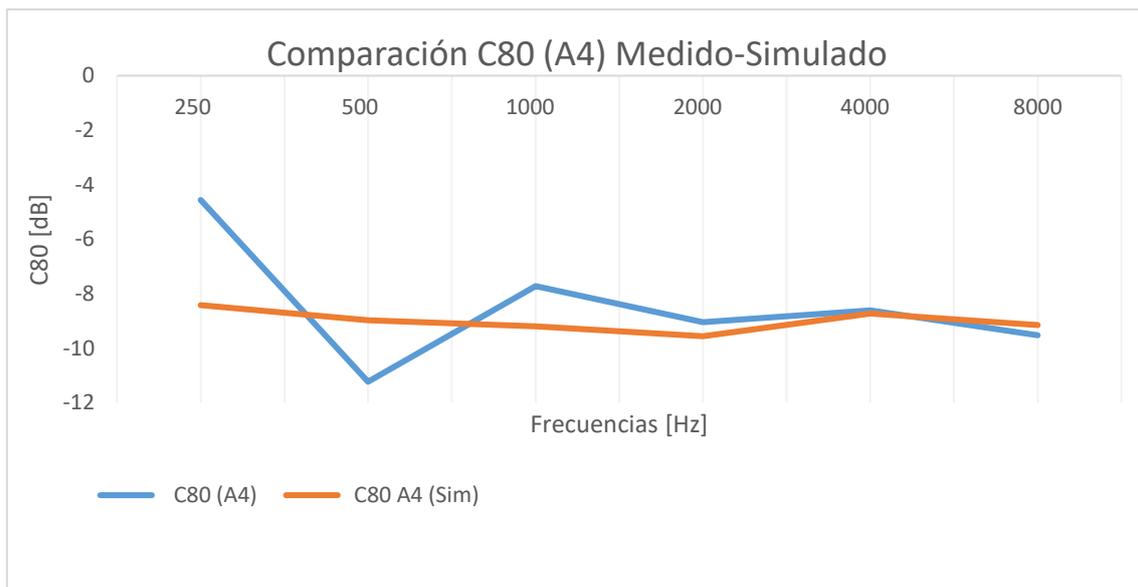
C80:



Gráfica 19. Comparación C80 (A1) medido – simulado



Gráfica 20. Comparación C80 (A3) medido – simulado



Gráfica 21. Comparación C80 (A4) medido – simulado

Observando el último parámetro podemos concluir, que el modelo de simulación es correcto y válido tanto a nivel de materiales como de geometría, ahora se procederá a analizar los resultados de la simulación incluyendo las propuestas de mejora.

## 9.2 Distribución A

Aunque para esta distribución ya se han visto y comentado los resultados, se comentará de manera gráfica como se distribuyen algunos de los parámetros.

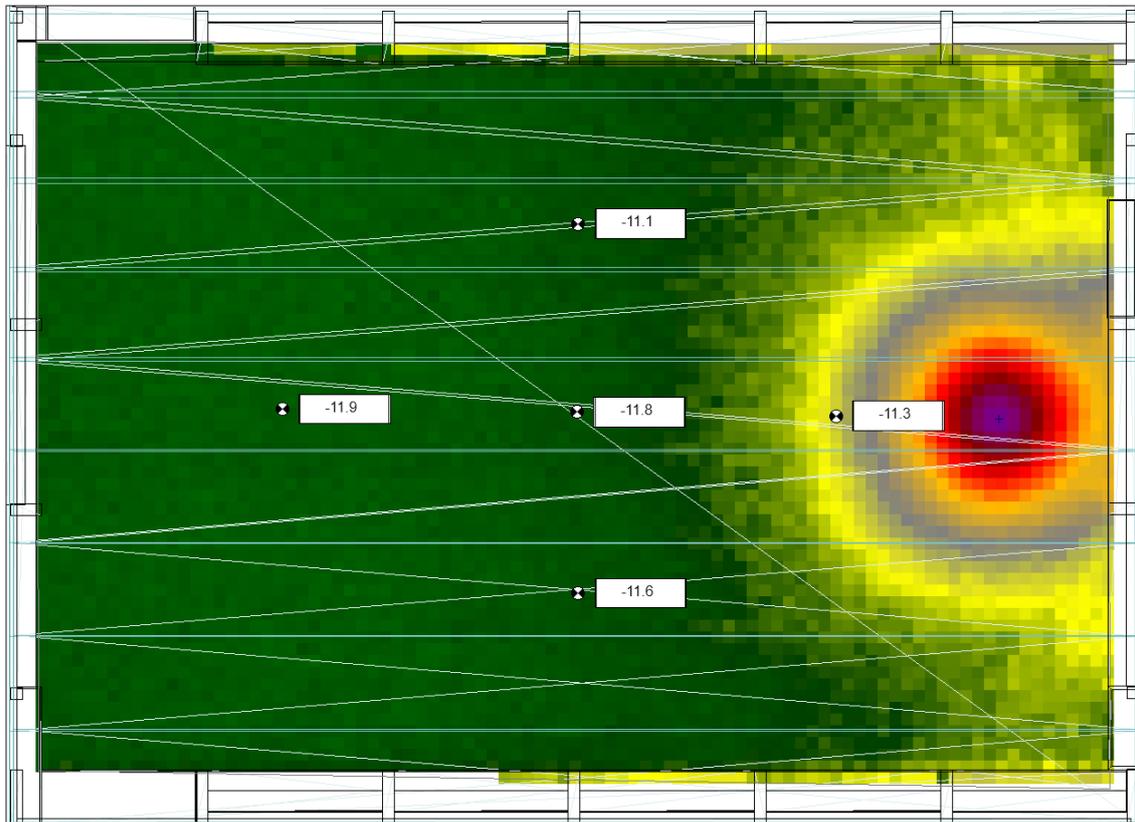


Figura 28. Distribución C50 en banda 2kHz de la distribución A

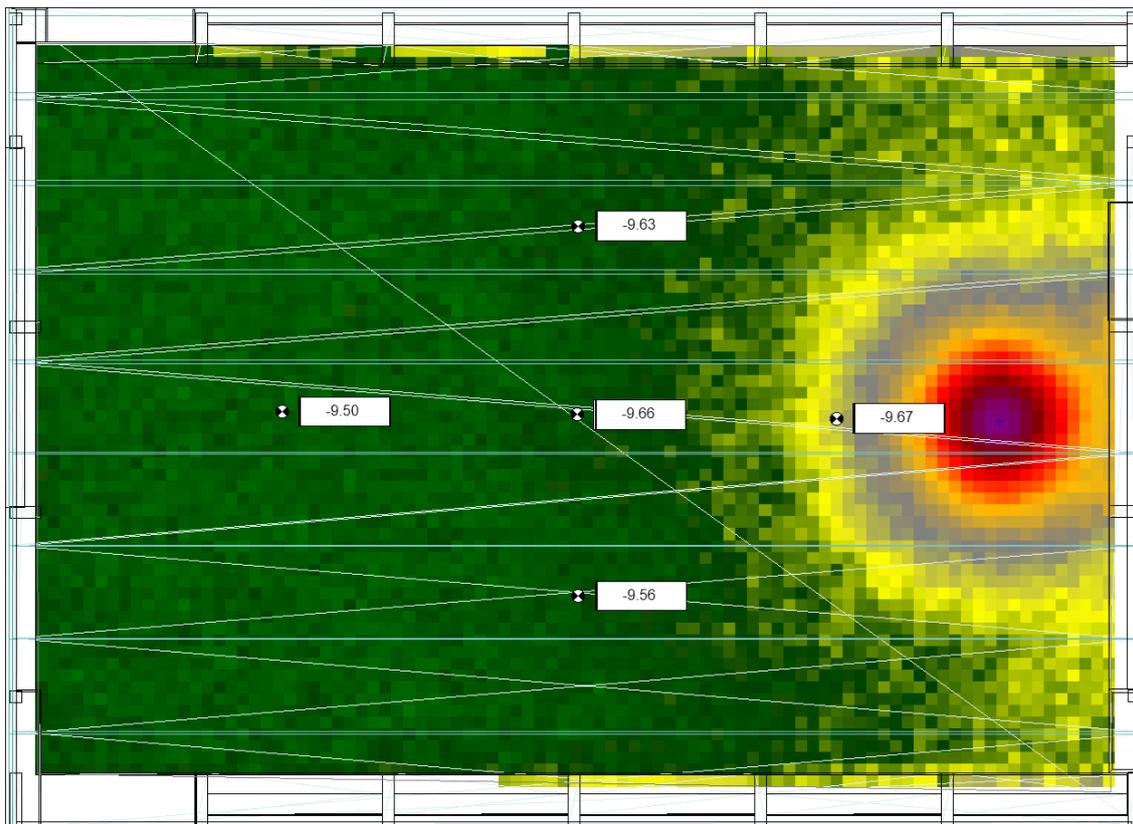


Figura 29. Distribución C80 en banda 2kHz de la distribución A

Como se puede apreciar en las figuras, los parámetros C50 (claridad vocal) y C80 (claridad musical) la distribución del sonido es muy pobre, desde la ubicación de la fuente sonora se observa un mapa de calor que define como se propaga el sonido.

No se expande por la gran parte del área del pabellón, se observa que para los puntos centrales del pabellón el sonido ya es reflejado y es considerado campo lejano (área verde).

El campo directo lo determina el área de color amarillo donde se puede determinar que la distancia crítica no es extensa y con resultado muy deficiente, por lo que también podemos determinar que en el campo directo las ondas están muy inestables y no consiguen estabilizarse provocando que los valores incluso en el campo directo sean deficientes.

Esta representación tiene coherencia revisando los datos obtenidos de las medidas “in situ” del estudio de la distribución A.

### 9.3 Distribución B

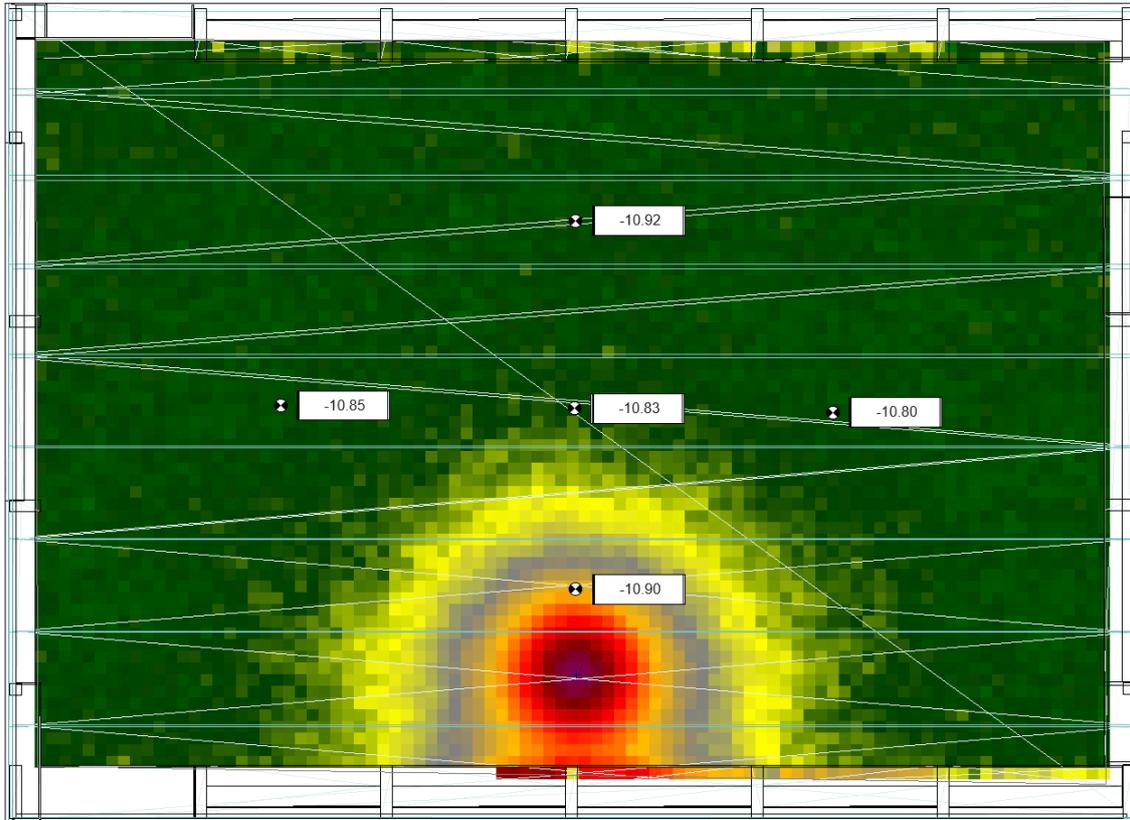


Figura 30. Distribución C50 en banda 2kHz de la distribución B

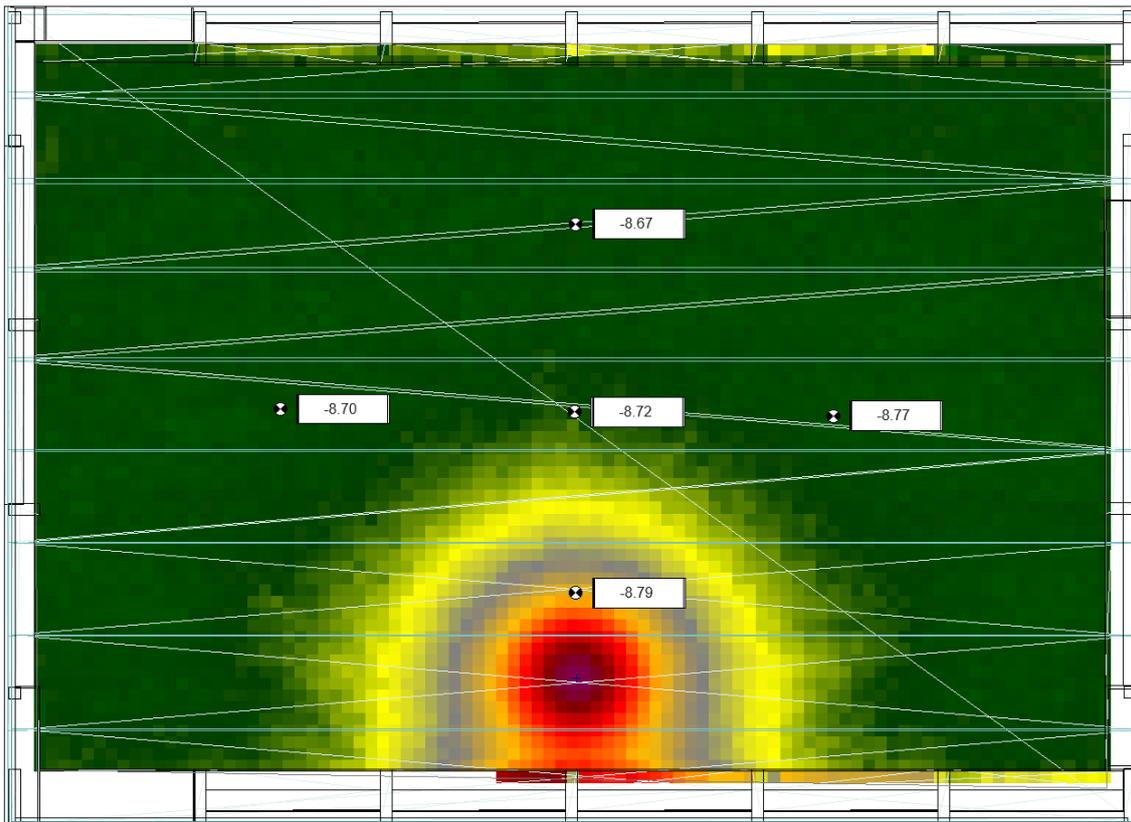


Figura 31. Distribución C80 en banda 2kHz de la distribución B

Para los parámetros de la distribución B encontramos un comportamiento similar a la distribución A, con la diferencia que el área del campo directo es más extensa y con unos valores para los parámetros C50 y C80 de mejor calidad.

Esto se debe a que la fuente sonora al estar en la mitad del pabellón longitudinalmente, las paredes están más separadas y las ondas tardan un poco más en empezar a reflejar con las superficies, provocando así un mayor campo directo y mejor difusión del sonido.

Aunque esto es solo la comparación con la distribución A, los resultados en valores deseados para el uso del pabellón son deficientes.

Lo que sacamos en conclusión del estudio entre la distribución A y B es que, aunque ambas necesiten una medida correctiva acústica para el uso que se le desea dar, la distribución B tiene un comportamiento más homogéneo de difusión del sonido.

Se espera que con las mejoras propuestas para ambas distribuciones se amplie el campo directo y las reflexiones no sean tan prolongadas sobre el pabellón, consiguiendo así una experiencia acústica deseada.

#### 9.4 Distribución A con mejora propuesta

En este punto se mostrarán los resultados de la simulación de la propuesta de mejora de la distribución A, para estudiarlas y sacar conclusiones.

##### 9.4.1 Tablas de valores para la propuesta de mejora A

F (Hz)	T30 A1 PA [s]	EDT A1 PA [s]	C80 A1 PA [dB]	C50 A1 PA [dB]	D50 A1 PA [%]	Ts A1 PA [s]
125	1,07	1,04	-2,64	-7,69	16,00	3,12
250	0,91	1,01	-1,84	-6,86	8,00	2,97
500	0,87	1,14	-1,29	-6,02	26,00	2,58
1000	0,77	1,18	-1,13	-5,72	27,00	2,74
2000	0,76	1,09	-1,07	-4,99	21,00	2,64
4000	0,75	1,18	-1,26	-4,56	25,00	2,65
8000	0,78	1,12	-1,13	-4,02	22,00	2,57

Tabla 25. Parámetros propuesta de mejora A1 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 A2 PA [s]	EDT A2 PA [s]	C80 A2 PA [dB]	C50 A2 PA [dB]	D50 A2 PA [%]	Ts A2 PA [s]
125	1,04	0,92	-2,33	-7,36	9,00	3,2
250	0,74	0,97	-1,67	-6,34	14,00	2,88
500	0,85	1,11	-1,24	-6,1	27,00	2,55
1000	0,85	1,15	-1,21	-4,98	28,00	2,69
2000	0,82	1,23	-1,11	-3,01	32,00	2,67
4000	0,83	1,03	-1,17	-1,92	22,00	2,66
8000	0,88	1,15	-1,4	-0,5	27,00	2,48

Tabla 26. Parámetros propuesta de mejora A2 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 A3 PA [s]	EDT A3 PA [s]	C80 A3 PA [dB]	C50 A3 PA [dB]	D50 A3 PA [%]	Ts A3 PA [s]
125	1,02	1,01	-0,94	-6,46	12,00	2,84
250	0,94	1,12	-1,31	-5,2	17,00	2,97
500	0,83	1,24	-1,26	-3,87	29,00	2,60
1000	0,86	1,1	-1,19	-3,4	23,00	2,71
2000	0,87	1,16	-1,17	-2,94	33,00	2,70
4000	0,76	1,14	-1,28	-0,98	23,00	2,78
8000	0,81	1,18	-1,33	0,5	30,00	2,65

Tabla 27. Parámetros propuesta de mejora A3 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 A4 PA [s]	EDT A4 PA [s]	C80 A4 PA [dB]	C50 A4 PA [dB]	D50 A4 PA [%]	Ts A4 PA [s]
125	1,12	1,17	-2,76	-5,27	14,00	3,31
250	0,95	1,22	-1,45	-4,87	11,00	3,14
500	0,82	0,97	-1,2	-4,1	28,00	2,54
1000	0,79	0,99	-1,17	-3,65	22,00	2,75
2000	0,81	1,19	-1,12	-2,98	20,00	2,61
4000	0,79	1,02	-1,19	-2,41	30,00	2,74
8000	0,86	1,11	-1,27	-1	25,00	2,87

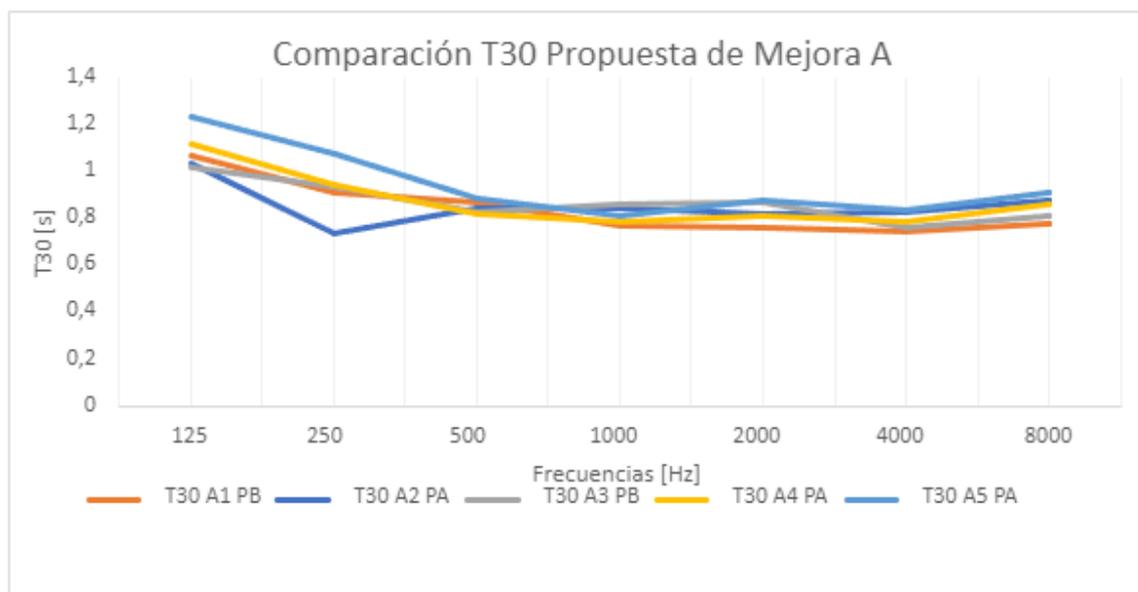
Tabla 28. Parámetros propuesta de mejora A4 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 A5 PA [s]	EDT A5 PA [s]	C80 A5 PA [dB]	C50 A5 PA [dB]	D50 A5 PA [%]	Ts A5 PA [s]
125	1,24	0,88	-1,12	1,2	17,00	3,04
250	1,08	0,94	-1,51	1,98	21,00	3,11
500	0,89	0,98	-1,3	2,3	31,00	2,57
1000	0,81	1,22	-1,23	2,86	32,00	2,73
2000	0,88	1,24	-1,19	3	35,00	2,62
4000	0,84	1,08	-1,25	3,2	32,00	2,60
8000	0,91	1,14	-1,33	3,4	39,00	2,71

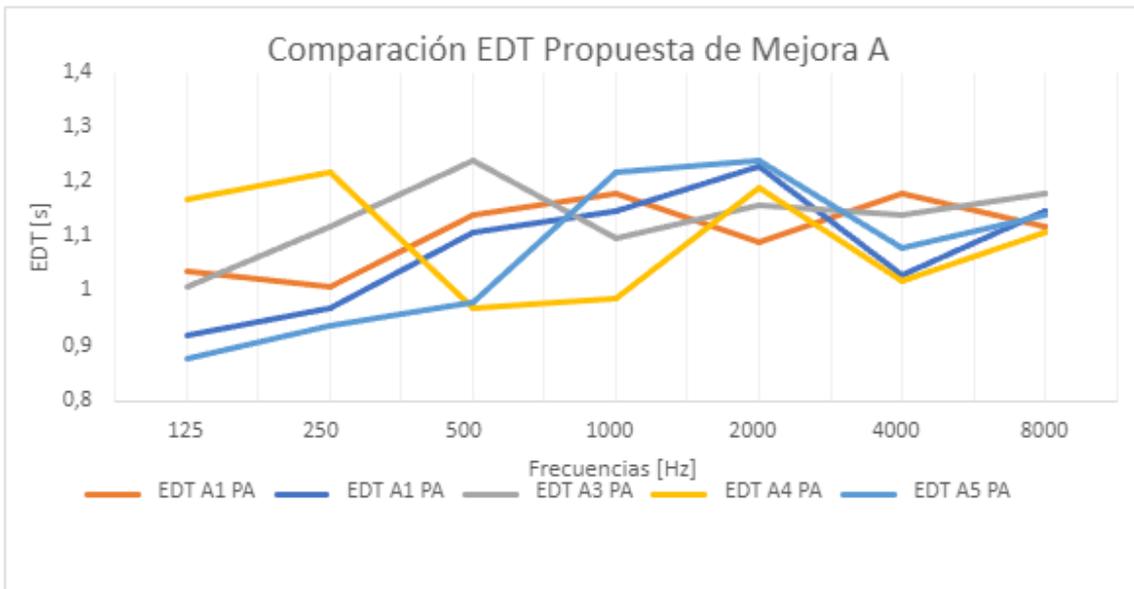
Tabla 29. Parámetros propuesta de mejora A5 (extraídos del software CadnaR)

#### 9.4.2 Gráficas de la propuesta de mejora A

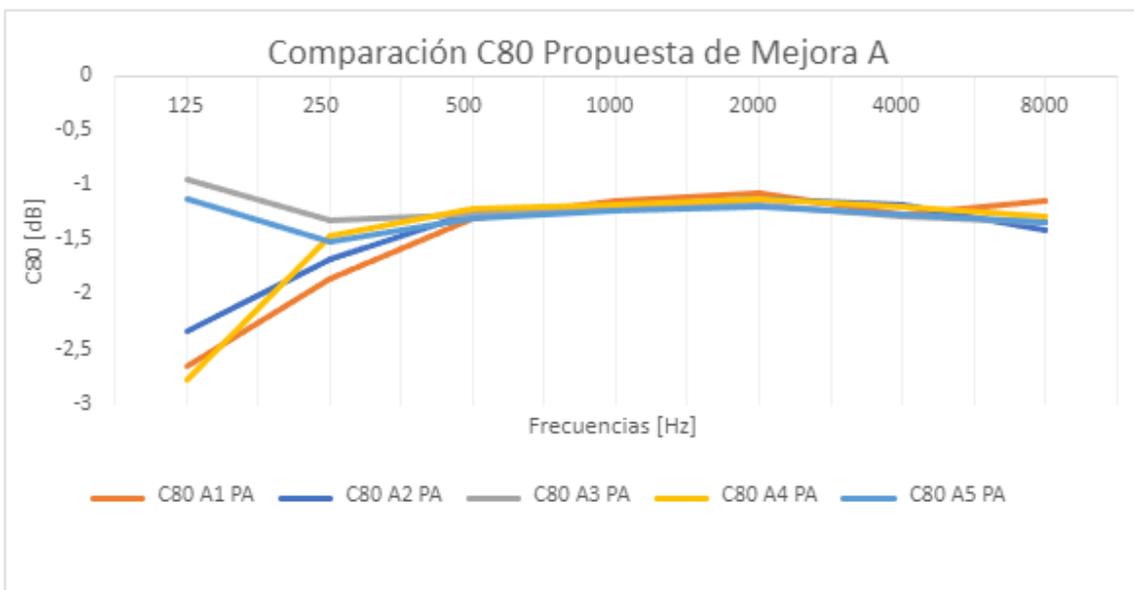
En este apartado se graficarán los datos obtenidos del software CadnaR.



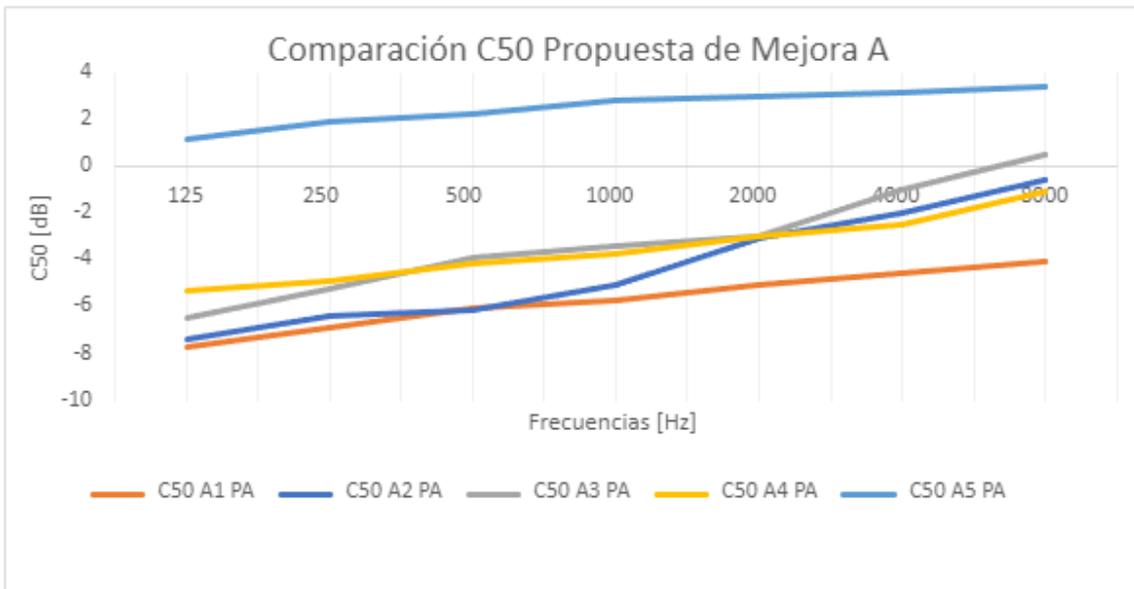
Gráfica 22. Gráfica parámetro T30 propuesta de mejora A



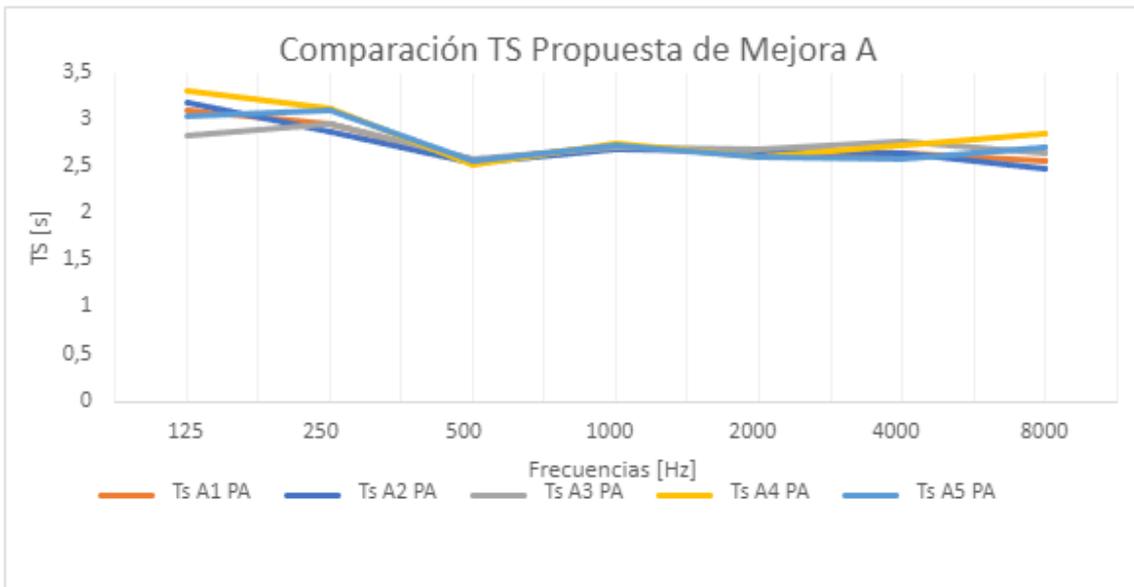
Gráfica 23. Gráfica parámetro EDT propuesta de mejora A



Gráfica 24. Gráfica parámetro C80 propuesta de mejora A



Gráfica 25. Gráfica parámetro C50 propuesta de mejora A



Gráfica 26. Gráfica parámetro TS propuesta de mejora A

La propuesta de mejora A ha logrado reducir y uniformar los parámetros en todas las frecuencias. La variabilidad se ha minimizado, resultando en un comportamiento acústico más consistente en el recinto.

Todos los parámetros se han reducido y uniformado considerablemente, tienen menor variabilidad en bajas frecuencias comparado con la distribución inicial.

La uniformidad entre las diferentes posiciones de medición es notablemente mejor, más concretamente ha tenido un impacto positivo significativo en el parámetro C50 y C80 mejorando la claridad del sonido en todo el rango de frecuencias. Esto indica que las medidas implementadas han sido efectivas en mejorar la inteligibilidad del sonido.

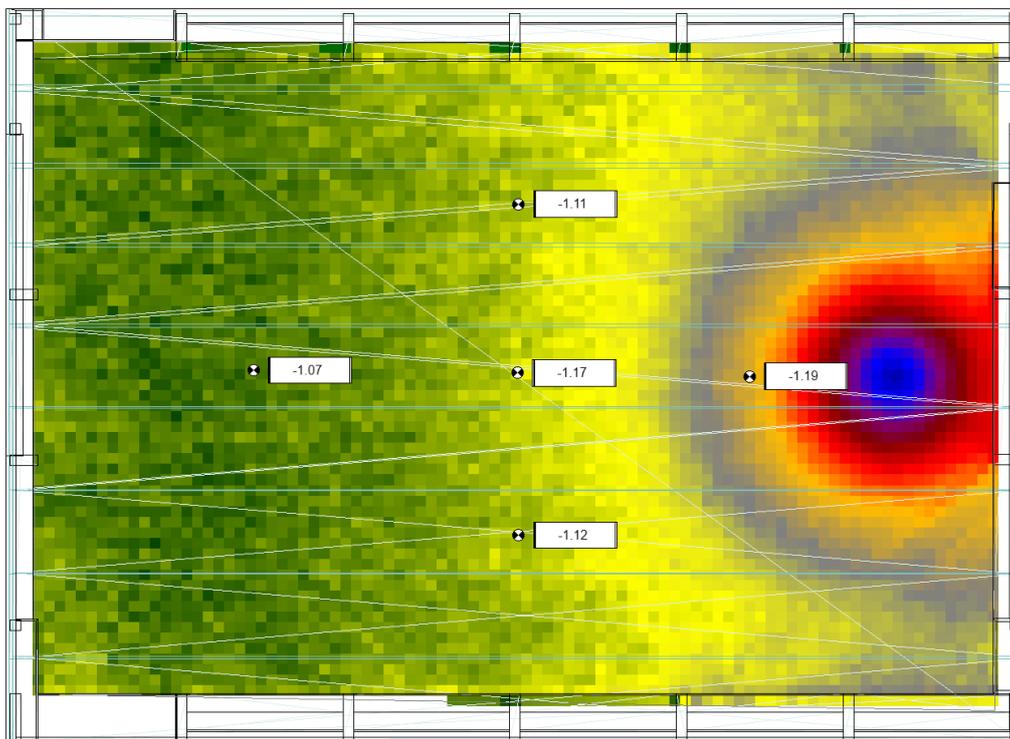


Figura 32. Distribución C80 en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta A

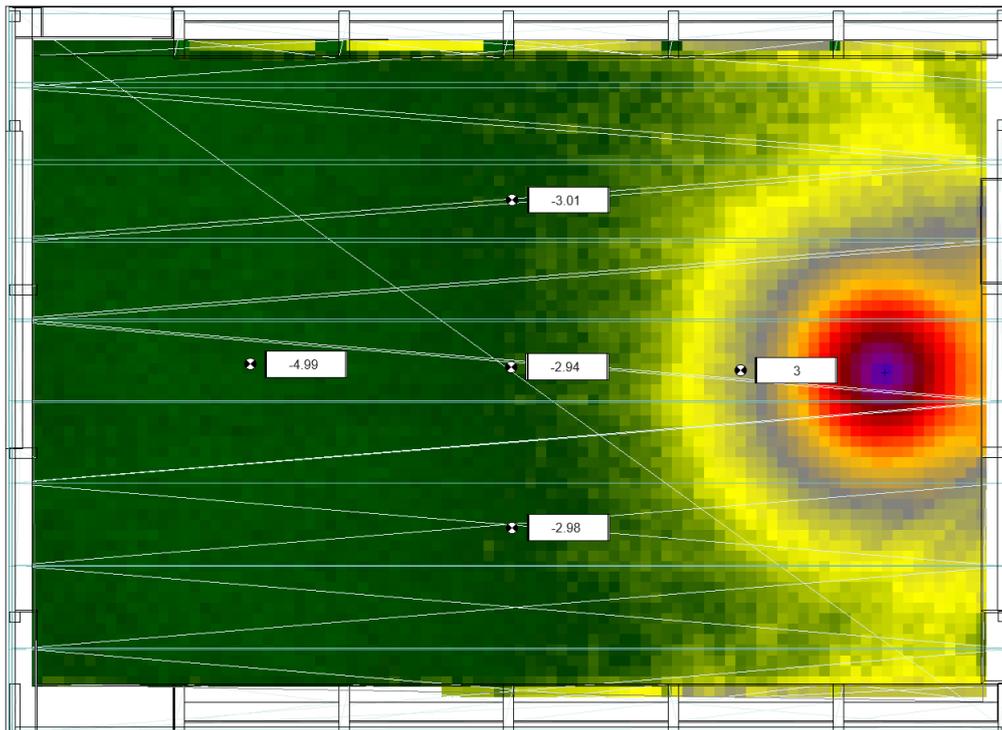


Figura 33. Distribución C50 en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta A

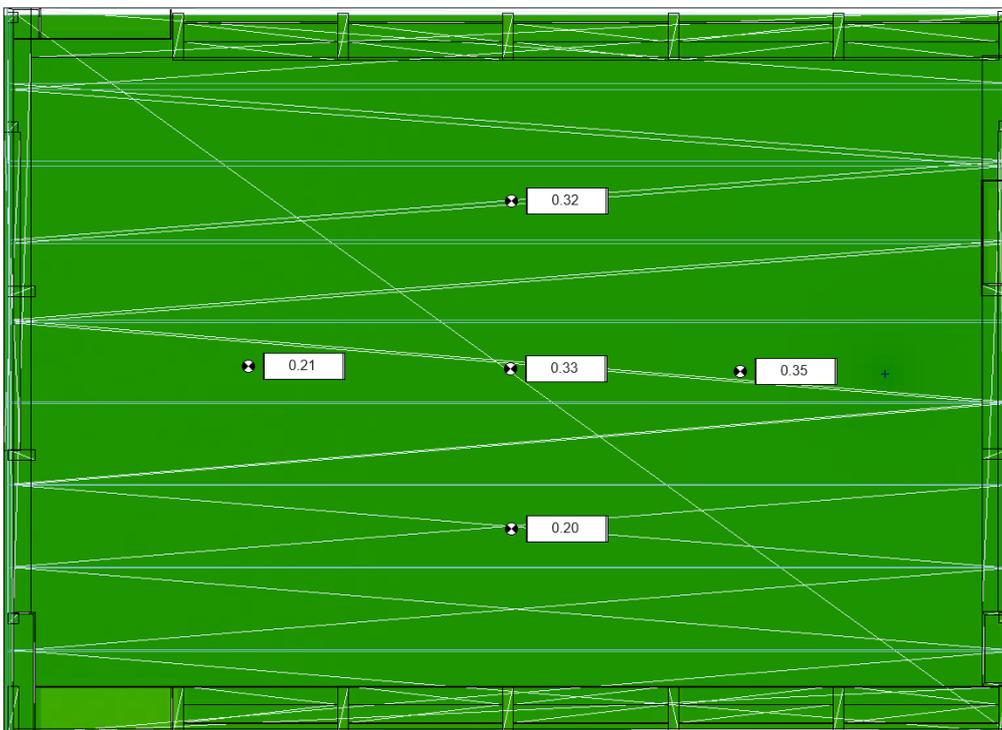


Figura 34. Distribución D50 en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta A

Si comparamos estas figuras con las obtenidas en la simulación de C50 y C80 para la distribución A, se puede observar que la distancia crítica es más amplia, por lo que, contamos con un campo directo más extenso (área amarilla intensa) y una mejor difusión del sonido.

También se observa como los valores en todo el espectro de frecuencias han mejorado notablemente consiguiendo estar cerca de los valores recomendados para el uso del pabellón como auditorio y sala de congresos.

Los valores D50 también son un claro signo de la mejora porcentual ya que la energía sonora llega rápidamente al oyente, dando a entender la amplitud del campo directo.

Se observan una ligera falta de convergencia de los valores en los parámetros a bajas frecuencias, no es algo muy significativo, pero se podría solucionar utilizando otros materiales acústicos específicos para bajas frecuencias.

Aunque los valores convergen con la solución propuesta, no en todas las posiciones se alcanzan los valores recomendados, esto es debido a la gran geometría del pabellón,

Para concluir existe una diferencia notable entre la distribución inicial y la propuesta de mejora que nos hace determinar en que es una solución viable en términos de mejora acústica.

## 9.5 Distribución B con mejora propuesta

Se repite el mismo estudio que en el apartado anterior pero la propuesta de mejora de la distribución B.

### 9.5.1 Tablas de valores para la propuesta de mejora B

F (Hz)	T30 B1 PA [s]	EDT B1 PA [s]	C80 B1 PA [dB]	C50 B1 PA [dB]	D50 B1 PA [%]	Ts B1 PA [s]
125	0,98	1,2	-7,49	-6	19	1,68
250	0,79	0,98	-10,4	-10	15	2
500	0,74	0,97	-9,04	-10,44	17	2,52
1000	0,81	1,05	-7,55	-9,3	33	2,69
2000	0,72	1,07	-4,04	-5,51	22	2,51
4000	0,71	1,07	0,69	-0,53	47	2,64
8000	0,8	1,2	0,52	-1,2	35	2,85

Tabla 30. Parámetros propuesta de mejora B1 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 B2 PA [s]	EDT B2 PA [s]	C80 B2 PA [dB]	C50 B2 PA [dB]	D50 B2 PA [%]	Ts B2 PA [s]
125	1,2	0,5	-11	-13,78	10	3
250	1	1,05	-5	-12	14	2,4
500	0,73	0,94	-10,18	-12,92	34	2,59
1000	0,85	0,91	-7,49	-10,24	27	2,75
2000	0,81	0,91	-4,37	-7,38	28	2,54
4000	0,84	1,06	1,67	-1,96	39	2,65
8000	0,93	2	-1,2	-2	24	2,34

Tabla 31. Parámetros propuesta de mejora B2 (extraídos del software CadnaR)

F (Hz)	T30 B3 PA [s]	EDT B3 PA [s]	C80 B3 PA [dB]	C50 B3 PA [dB]	D50 B3 PA [%]	Ts B3 PA [s]
125	2,3	1,5	-4	-14,7	9	1,04
250	0,87	1,09	-3,5	-8,9	14	1,98
500	0,81	0,92	-8,56	-9,76	10	2,54
1000	0,78	0,93	-4,98	-5,53	22	2,76
2000	0,82	0,92	-3,09	-3,56	31	2,57
4000	0,86	0,9	4,35	2,32	63	2,75
8000	0,84	0,76	4,5	2,4	59	2,43

Tabla 32. Parámetros propuesta de mejora B3 (extraídos del software CadnaR)

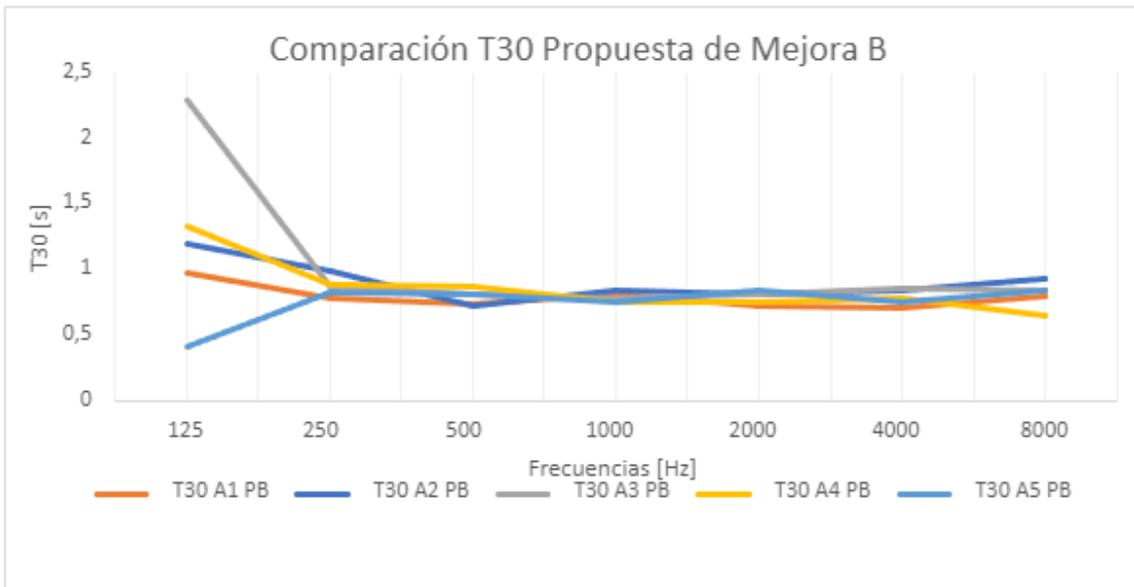
F (Hz)	T30 B4 PA [s]	EDT B4 PA [s]	C80 B4 PA [dB]	C50 B4 PA [dB]	D50 B4 PA [%]	Ts B4 PA [s]
125	1,34	1,45	-1,82	0,96	11	1,63
250	0,89	0,96	0,78	-1,6	17	1,72
500	0,87	1,01	-2,03	-2,44	32	2,60
1000	0,76	1,04	0,87	0,35	26	2,79
2000	0,75	0,96	4,55	3,89	37	2,62
4000	0,78	1,09	10,45	8,74	31	2,69
8000	0,65	0,87	11,42	8,9	40	2,8

Tabla 33. Parámetros propuesta de mejora B4 (extraídos del software CadnaR)

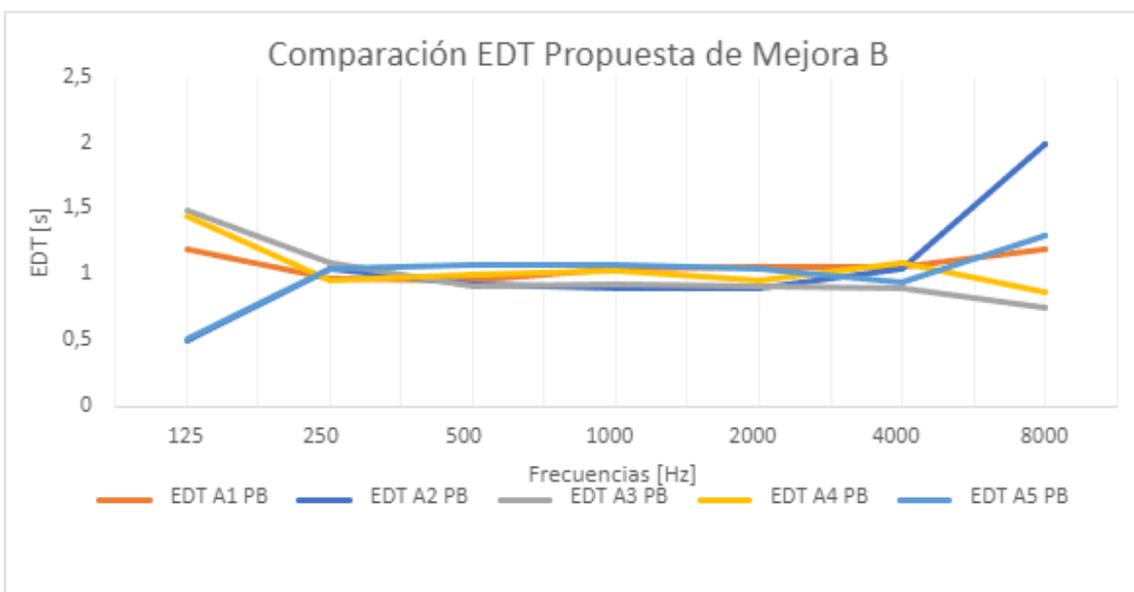
F (Hz)	T30 B5 PA [s]	EDT B5 PA [s]	C80 B5 PA [dB]	C50 B5 PA [dB]	D50 B5 PA [%]	Ts B5 PA [s]
125	0,42	0,52	-1,57	-7,3	69	1,30
250	0,83	1,06	0,023	-8,53	19,4	2,3
500	0,82	1,08	-9,32	-10,82	8	2,64
1000	0,75	1,08	-6,61	-7,86	14	2,70
2000	0,85	1,05	-3,24	-4,52	26	2,71
4000	0,76	0,95	1,64	0,59	53	2,66
8000	0,84	1,3	1,43	0,72	45	2,93

Tabla 34. Parámetros propuesta de mejora B5 (extraídos del software CadnaR)

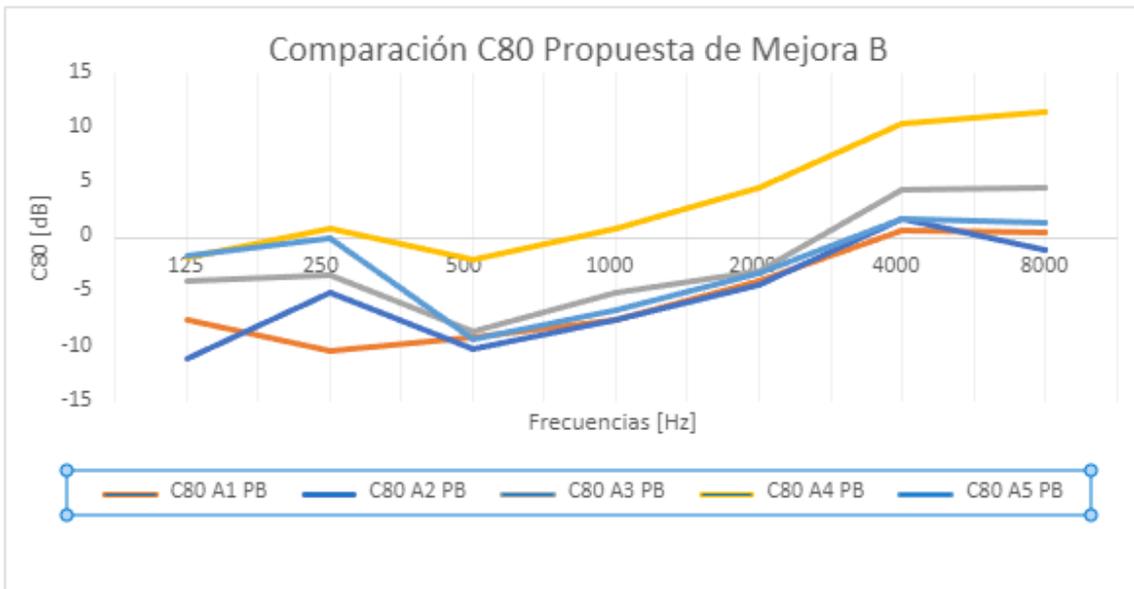
9.5.2 Gráficas de la propuesta de mejora B



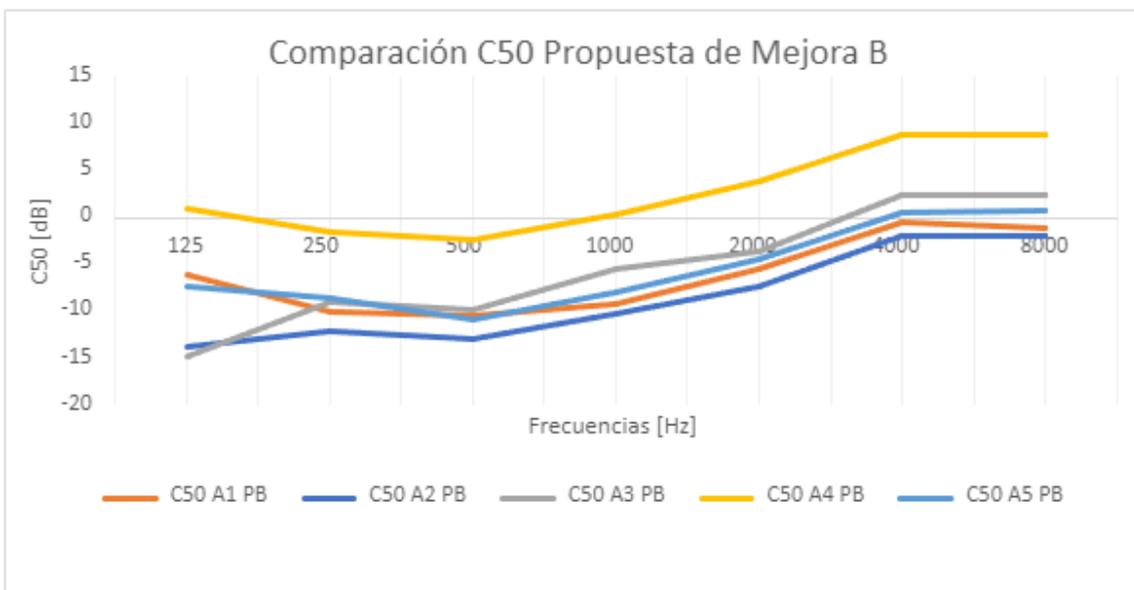
Gráfica 27. Gráfica parámetro T30 propuesta de mejora B



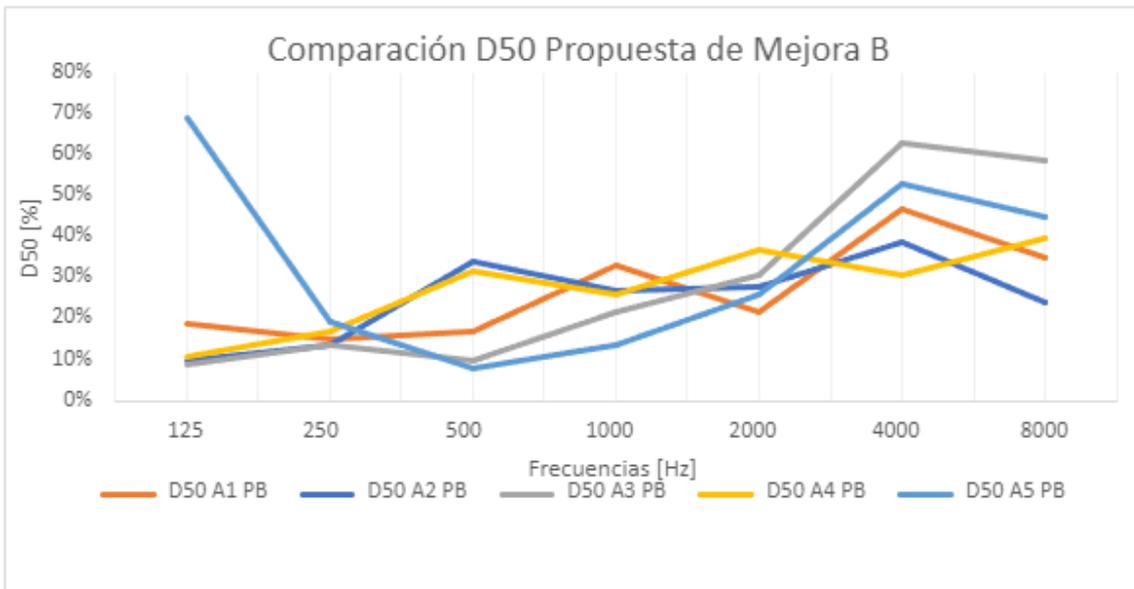
Gráfica 28. Gráfica parámetro EDT propuesta de mejora B



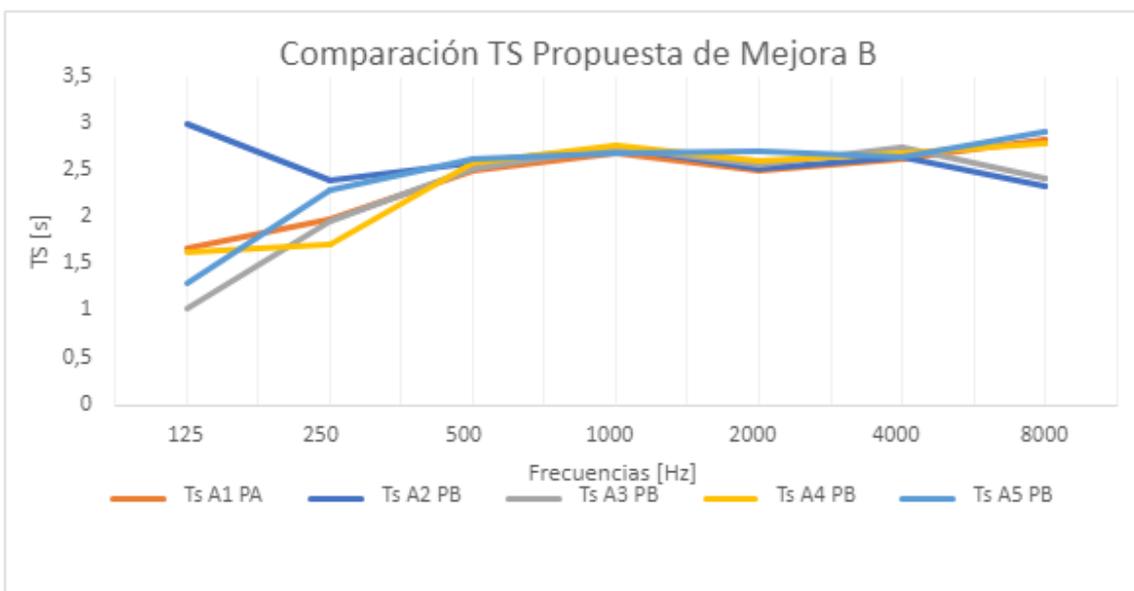
Gráfica 29. Gráfica parámetro C80 propuesta de mejora B



Gráfica 30. Gráfica parámetro C50 propuesta de mejora B



Gráfica 31. Gráfica parámetro D50 propuesta de mejora B



Gráfica 32. Gráfica parámetro TS propuesta de mejora B

Como podemos apreciar en las gráficas de la propuesta de mejora B, los resultados son parecidos a la propuesta de mejora A, es algo coherente debido a que la geometría del pabellón es un gran volumen vacío. Lo que se puede diferenciar entre ambas propuestas de mejora, es que en la propuesta B tiene una mejor difusión directa del sonido como ocurría en el estudio de las distribuciones A y B, debido a la mayor distancia de la fuente con las paredes.

Esto hace que los valores no fluctúen tanto entre las posiciones, como se puede apreciar en las tablas de valores para los parámetros de la propuesta de mejora B, con lo que se puede concluir con que ambas propuestas de mejoras son ideales para la corrección acústica del pabellón y que tenga el comportamiento deseado, sin embargo, la propuesta B es ligeramente más estable en valores en todas las posiciones.

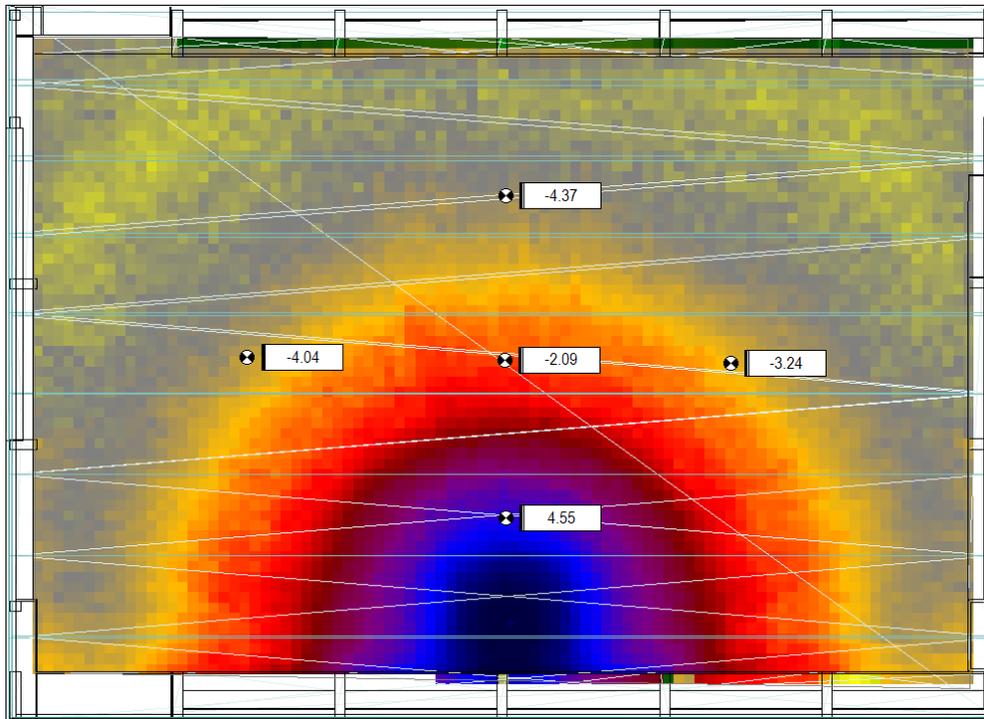


Figura 35. Distribución C80 en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta B

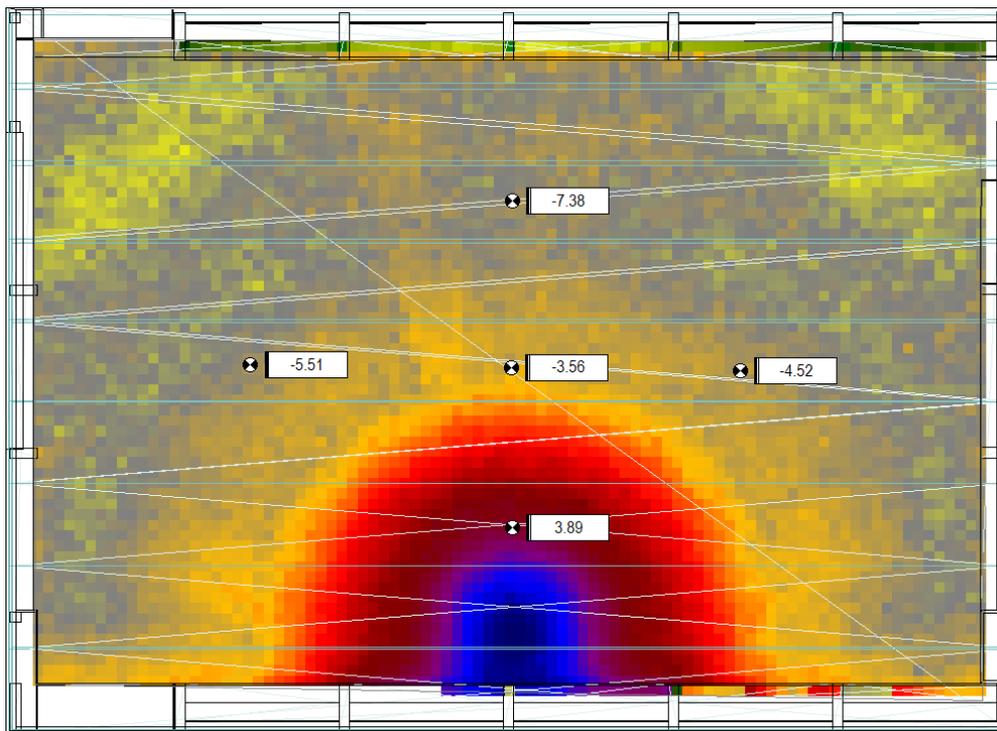


Figura 36. Distribución C50 en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta B

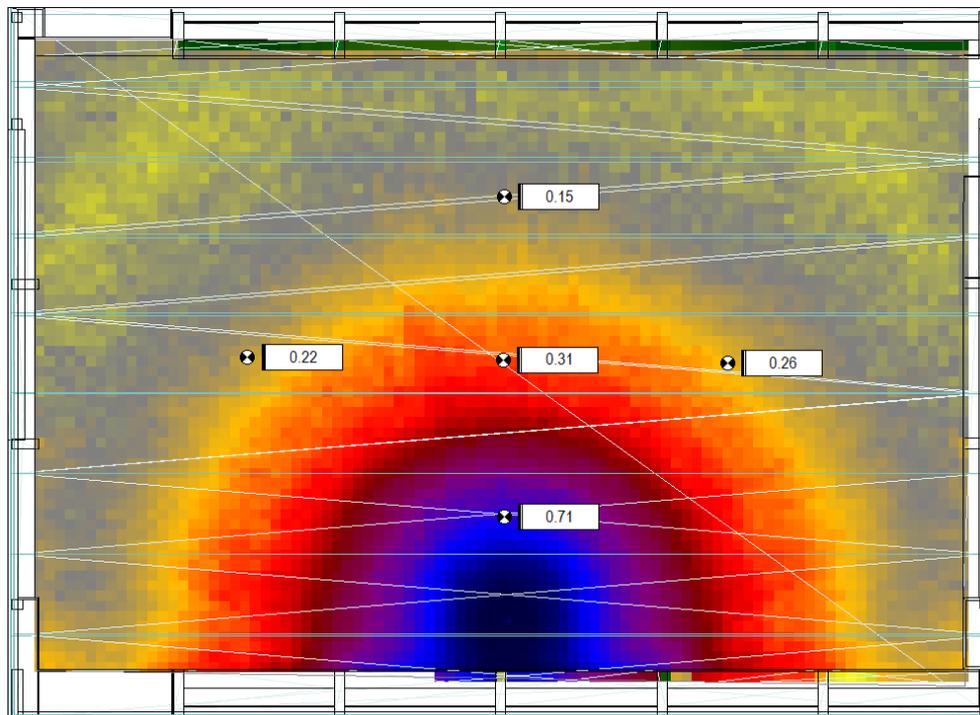


Figura 37. Distribución EDT en banda 2kHz de la distribución mejora propuesta B

## 10 Necesidades/Planteamiento del pabellón

En este punto abordaremos las necesidades del pabellón una vez realizados los estudios y habiendo sacado conclusiones sobre este.

### 10.1 Planteamiento del problema

Tras haber estudiado las alternativas propuestas podemos concluir en que la propuesta de mejora de colocar los paneles fonoabsorbentes sobre las superficies de hormigón es una solución idónea para el uso deseado del pabellón.

Aunque se observa que a bajas frecuencias el material Heraklith no termina de ser igual de efectivo que en altas frecuencias.

Las bajas frecuencias se caracterizan por tener longitudes de onda largas y una gran cantidad de energía, lo que físicamente se traduce, con que pueden viajar grandes distancias sin perder mucha de su energía inicial, por lo que, las ondas tienden a reflejarse y resonar a bajas frecuencias y obtenemos en los resultados una ligera desviación en estas frecuencias.

Para combatirlo es necesario implementar soluciones de tratamiento acústico que incluyan el uso de difusores, reflectores y materiales absorbentes selectivos.

### 10.2 Propuesta de solución

Más allá de la solución aportada de colocar los paneles de Heraklith en las superficies del pabellón, que cumple con los objetivos planteados de este trabajo, se propone también poder subsanar un ligero problema con la acústica en bajas frecuencias.

Para solucionar los problemas acústicos en bajas frecuencias, es necesario implementar una combinación de materiales y técnicas específicas que puedan absorber y difundir eficientemente las bajas frecuencias.

Las opciones correctivas son amplias, las que se valoran son las siguientes:

- Trampas de Graves: efectivos para la absorción de bajas frecuencias. Esta solución se coloca a lo largo de las uniones de paredes y techos (Auralex Acoustics MegaLENRD).
- Paneles Absorbentes de Espuma y Fibra: Son paneles de fibra de vidrio de alta densidad que se colocan en puntos de primera reflexión en paredes, techos, y grandes superficies de las paredes laterales. (Owens Corning 705).
- Paneles de Membrana y Resonadores: Son paneles de membrana sintonizados para absorber un amplio rango de frecuencias bajas, adecuados para grandes espacios. Se colocan en las paredes largas del recinto y áreas específicas donde se identifican problemas resonantes (RPG Modex Broadband).

Estas son las alternativas más adecuadas para tratar el tema de las bajas frecuencias en grandes espacios, como es el pabellón.

## **11 Conclusiones**

Tras el análisis acústico realizado del pabellón polideportivo del Edificio Georgina Blanes ha revelado una serie de deficiencias acústicas que, aunque están dentro de los márgenes esperados para un recinto de grandes dimensiones, requieren medidas correctivas para cumplir con los estándares de un auditorio o sala de congresos. Las bajas frecuencias, en particular, presentan inestabilidades significativas en la propagación del sonido debido a sus longitudes de onda largas y su alta energía, lo que provoca resonancias y reflexiones dentro del recinto.

Tras desarrollar algunas propuestas de mejora como la instalación de paneles fonoabsorbentes en las superficies de hormigón ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la calidad acústica general del pabellón. Sin embargo, estos paneles no son completamente eficaces para tratar los problemas específicos de las bajas frecuencias.

Las mejoras propuestas han logrado reducir y uniformar los parámetros acústicos en todas las frecuencias, resultando en un comportamiento acústico más consistente y una mejor claridad del sonido en todo el rango de frecuencias.

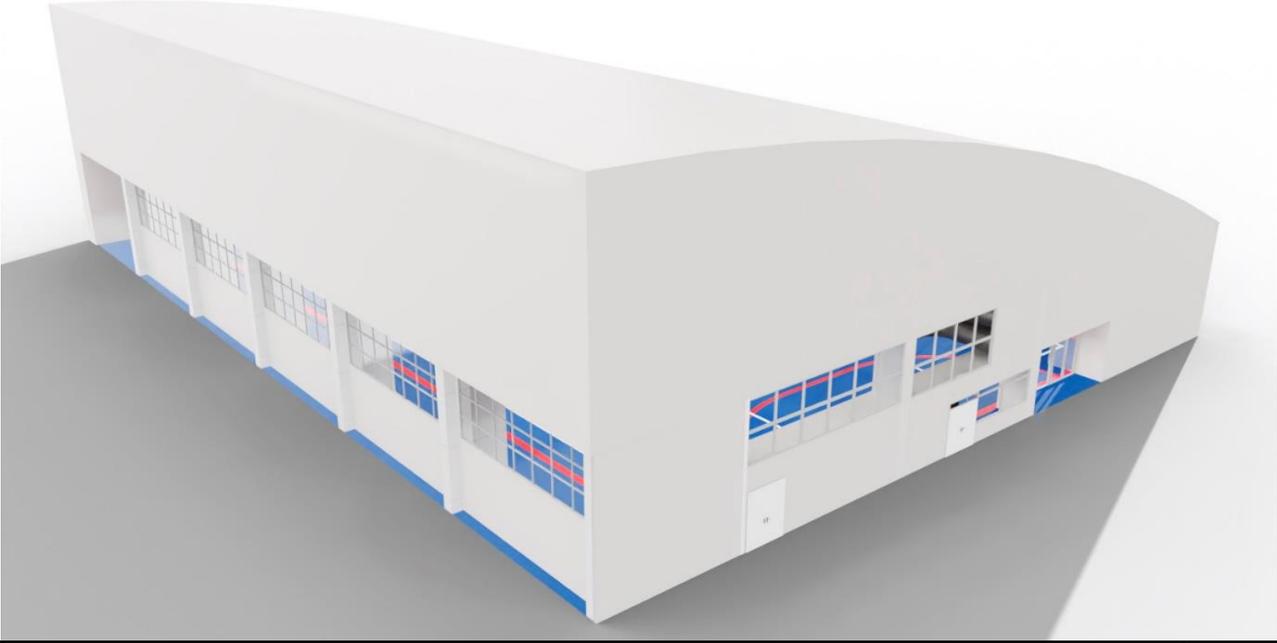
Para concluir este estudio se determina que ambas propuestas de mejora han demostrado ser viables y efectivas para mejorar la acústica del pabellón. No obstante, la distribución B mostró una estabilidad ligeramente superior en los valores de todas las posiciones evaluadas. Se recomienda la implementación de las soluciones propuestas para el tratamiento de las bajas frecuencias para lograr una uniformidad completa y una calidad acústica óptima en todo el espectro de frecuencias.

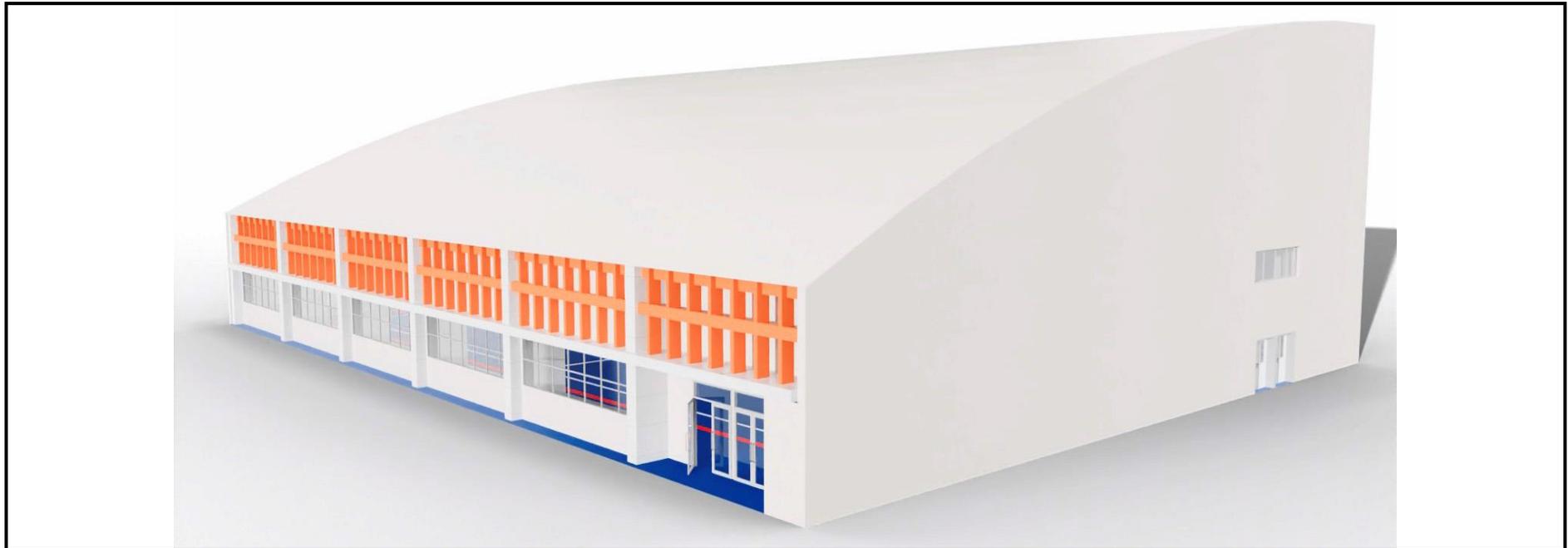
Con estas mejoras, el pabellón podrá ofrecer una experiencia acústica de alta calidad, adecuada tanto para eventos deportivos como para actividades académicas y culturales.

## 12 Referencias bibliográficas

- [1] A. C. Isbert, Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [2] Abad Sorbet, Marta. Estudio acústico y electroacústico de la sala de conciertos Ritmo y Compás (Madrid). TFM Universidad Politécnica de Madrid.
- [3] CRISTIAN D. CARRIZO, JOSE S. MELIAN y GUILLERMO STETTLER. Absorción Sonora, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba: Cátedra Fundamentos de Acústica y Electroacústica.
- [4] Jiménez Rubio, María Pilar. Ruido y grandes espacios: Acústica del Pabellón Nuevo de la ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid, junio 2022.
- [5] Segura López. Evaluación acústica del conservatorio de música Pedro Aranaz de Cuenca. Universidad de Castilla la Mancha, julio 2023.
- [6] Selva Mena, Paula María. Estudio Acústico de la Catedral de Santa María y San Julián de Cuenca. Universidad Politécnica de Cuenca, julio 2016.
- [7] Torre Sánchez, Irene. Análisis de la precisión en la medida del tiempo de reverberación y de los parámetros asociados. Universidad Politécnica de Madrid, febrero 2016.
- [8] "Tiempo de Reverberación y Fórmula de Sabine." Acoustic Lab, [www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/](http://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/).
- [9] "Índice de Claridad." Studio-22, [www.studio-22.com/blog/enciclopedia/indice-de-claridad](http://www.studio-22.com/blog/enciclopedia/indice-de-claridad).
- [10] "RT60 Calculator." Sengpiel Audio, [sengpielaudio.com/calculator-RT60.htm](http://sengpielaudio.com/calculator-RT60.htm).
- [11] "Acústica en Salas." Universidad del País Vasco, [www.ehu.es/acustica/espanol/salas/acines/acines.html](http://www.ehu.es/acustica/espanol/salas/acines/acines.html).
- [12] "Acústica II: Propagación del sonido en espacios cerrados ante obstáculos." Hispasonic, [www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367](http://www.hispasonic.com/tutoriales/acustica-ii-propagacion-sonido-espacios-cerrados-ante-obstaculos/43367).
- [13] "Sonido directo, reverberación y distancia crítica." Centro Auditivo Valencia, [www.centroauditivo-valencia.es/sonido-directo-reverberación-distancia-critica/](http://www.centroauditivo-valencia.es/sonido-directo-reverberación-distancia-critica/).
- [14] "Acondicionamiento Acústico de un Pabellón Deportivo." Absorción Acústica, [www.absorcionacustica.com/acondicionamiento-acustico-pabellon-deportivo-gimansio/](http://www.absorcionacustica.com/acondicionamiento-acustico-pabellon-deportivo-gimansio/).
- [15] Canonero, Marta. "Acústica Arquitectónica." Area, [area.fadu.uba.ar/area-2501/canero2501/](http://area.fadu.uba.ar/area-2501/canero2501/).
- [16] Saporta, José. "El Sonido: Producción y Propagación." WordPress, [josesaporta.wordpress.com/el-sonido-cualidades-del-sonido/el-sonido-produccion-y-propagacion/](http://josesaporta.wordpress.com/el-sonido-cualidades-del-sonido/el-sonido-produccion-y-propagacion/).

# PLANOS

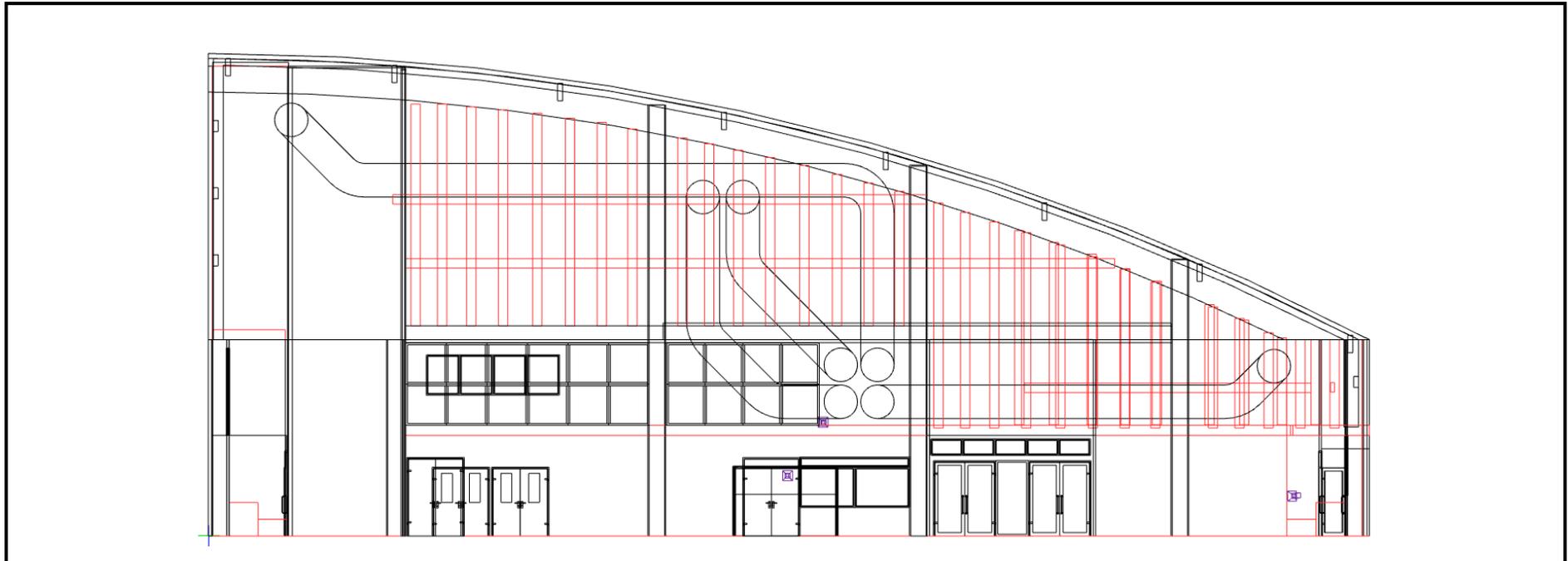
		
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Campus de Alcoy	Renderizado: 1
Vista pabellón exterior I		Fecha: 09/07/2024
Pabellón deportivo Georgina Blanes. Calle Alarcón, 03801 Alcoy, Alicante		Escala: SIN ESCALA



 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p>Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Campus de Alcoi</p>	<p>Renderizado: 2</p>
<p>Vista pabellón exterior I</p>		<p>Fecha: 09/07/2024</p>
<p>Pabellón deportivo Georgina Blanes. Calle Alarcón, 03801 Alcoi, Alicante</p>		<p>Escala: SIN ESCALA</p>

		
 <p>UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p>Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Campus de Alcoy</p>	<p>Renderizado: 3</p>
<p>Vista pabellón interior I</p>		<p>Fecha: 09/07/2024</p>
<p>Pabellón deportivo Georgina Blanes. Calle Alarcón, 03801 Alcoy, Alicante</p>		<p>Escala: SIN ESCALA</p>





# PLIEGO DE CONDICIONES

# 1 Condiciones Generales

En el pliego de condiciones aparecerán los equipos y softwares utilizados para la realización del trabajo final de grado, así como sus características y requisitos.

## 1.1 Equipos de medida

Acer Aspire 3 15.6" Intel Core i5-10210U 1.6GHz / 8GB RAM / 2TB HDD



*Figura 38. Ordenador portátil Hacer Aspire 3 (A315-54-54L5)*

- Sistema Operativo: Windows 10 Home
- Tipo de Procesador: Intel Core i5-10210U
- Velocidad del Procesador: 1.60 GHz (base), hasta 4.20 GHz (turbo)
- RAM: 8 GB DDR4 SDRAM
- Disco Duro: 2TB HDD
- Modelo de Gráficos: Intel UHD Graphics

### Tarjeta de sonido Komplete Audio 6



Figura 39. Tarjeta de sonido Komplete Audio 6

- Sistema operativo: Windows: 10, 11
- Frecuencia de Respuesta: 20 Hz – 20 kHz +/-0,1 dB
- Máx. Frecuencia de muestreo: 192 kHz
- Conversores AD/DA: 4 canales AD, 4 canales DA, hasta 192 kHz / 24 bits
- Alimentación: A través de USB
- Dimensiones: 55,6 × 200 × 136,55 mm
- Peso: 850 g

### Micrófono Behringer ECM 8000



*Figura 40. Micrófono Behringer ECM 8000*

- Tipo: condensador electret.
- Patrón polar: omnidireccional.
- Impedancia: 200 Ohms.
- Sensibilidad: 70 dB.
- Frecuencia: 20-20000 Hz.
- Conexión: XLR chapado en oro.

### Generador - amplificador de potencia IAG DD400A



Figura 41. Generador - amplificador de potencia modelo DD400A

- Generador interno de ruido rosa
- Generador interno de ruido blanco
- Entradas EXTERNAS Balanceadas XLR combo (bicanal), con ajuste de volumen independiente para cada canal, para conexión de señales de audio externas.
- Rango en frecuencia de 10 Hz a 20KHz.
- Sensibilidad de entrada: 0,94V/1,7 dBu
- Máximo nivel de entrada: +22 dBu.
- Impedancia de entrada: 10 K $\Omega$  balanceada
- Cables de conexión speakon-speakon de 3m y cable de alimentación.
- Dimensiones exteriores máximas: 37 x 16 x 11 cm

### Fuente sonora omnidireccional IAG DD14



*Figura 42. Fuente Sonora Omnidireccional IAG DD14*

- Nivel de potencia acústica: 127,5 dBC (ref. 1pW) a ruido rosa.
- Rango en frecuencia: 50 Hz -10.000 Hz.
- Radiación omnidireccional y uniforme conforme a: apdo. 4.2.1 de ISO 3382-1 e ISO 3382-2; anexo A1 de ISO 140-4; anexo A2 de ISO16283-1: 2014 y anexo D2 de ISO 10140-5, entre otras.
- Potencia eléctrica admisible: 2 x 450 W r.m.s.
- Impedancia: 2 x 5,3  $\Omega$
- Conector de entrada normalizado tipo «speakON».
- Dimensiones: 31 cm (distancia entre caras opuestas).
- Peso: 13,4 kg.

## 1.2 Software

### AutoCAD

AutoCAD 2024 es una aplicación de diseño asistido por computadora (CAD) utilizada para el dibujo, diseño y modelado 2D y 3D. Incluye herramientas especializadas para diversas disciplinas de ingeniería y arquitectura.



Figura 43. Logo AutoCAD 2024

- Sistema operativo: Windows 10 (64-bit) versión 1809 o posterior
- Procesador: Básico: 2.5–2.9 GHz (recomendado: 3+ GHz)
- Memoria RAM: Básico: 8 GB (recomendado: 16 GB)
- Tarjeta gráfica: Básico: GPU con 1 GB VRAM y soporte DirectX 11 (recomendado: GPU con 4 GB VRAM y soporte DirectX 12)

### pCon.planner

Es un software de modelado 3D utilizado para crear y diseñar modelos tridimensionales en arquitectura, ingeniería y diseño de interiores, permitiendo visualizar y modificar proyectos de forma intuitiva y eficiente.



Figura 44. Logo pCon.planner

- Sistema operativo: Windows 10 o posterior
- Procesador: Intel Core i3
- Memoria RAM: 4 GB
- Tarjeta gráfica: Compatible con DirectX 11, con al menos 1 GB de memoria

## ARTA

Es un software utilizado para medir y analizar la respuesta acústica de sistemas de audio y salas, permitiendo realizar pruebas de audio detalladas y obtener datos precisos sobre la acústica de un entorno o equipo de sonido.



Figura 45. Logo ARTA

- Sistemas operativos: Windows 98/Me/2000/XP o superior
- Procesador Pentium, Pentium III o superior, con una frecuencia de reloj de 400 MHz o superior, y una memoria de 256MB
- Tarjeta de sonido dúplex completa con reloj sincrónico para conversores AD y DA
- Tarjeta de vídeo de alta calidad

## CadnaR

Es un software utilizado para la predicción y evaluación acústica en interiores, permitiendo analizar y optimizar el sonido en habitaciones, auditorios y espacios de trabajo.



Figura 46. Logo CadnaR

- Sistema operativo: Windows 7 (SP1) / 8 / 8.1 / 10 (64 bits recomendados).
- Procesador: Intel Pentium, equivalente o superior.
- Memoria RAM: 4 GB o más (para sistemas operativos de 64 bits).
- Tarjeta gráfica: Compatible con OpenGL 3.3 o superior.

### Microsoft Office 365

Paquete de programas de ofimática básicos como Word, Excel, Power Point.



*Figura 47. Logo Microsoft Office 365*

- Sistema operativo: Windows 10 (versión 20H2 o posterior)
- Procesador: Procesador con 4 núcleos o más.
- Memoria RAM: 4 GB.
- Tarjeta gráfica: Aceleración de hardware gráfico requiere DirectX 9 o posterior, con WDDM 2.0 o superior.

# PRESUPUESTO

## Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
1	días AUTOCAD.El sistema requiere un sistema operativo Windows 10 (64-bit) versión 1809 o posterior, un procesador de 2.5-2.9 GHz (recomendado de 3+ GHz), una memoria RAM de 8 GB (recomendado 16 GB), y una tarjeta gráfica con 1 GB VRAM y soporte DirectX 11 (recomendado 4 GB VRAM y soporte DirectX 12).	6,46	SEIS EUROS CON CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS
2	Uds Generador - amplificador de potencia.Las características técnicas de las entradas externas incluyen un rango en frecuencia de 10 Hz a 20 kHz, una sensibilidad de entrada de 0,94V/1,7 dBu, un máximo nivel de entrada de +22 dBu, una impedancia de entrada de 10 k $\Omega$ balanceada, y un THD+N de $\pm$ 0,05% a potencia máxima. Estas especificaciones aseguran una alta fidelidad y precisión en la reproducción y medición del sonido, haciendo del DD5 una herramienta flexible y precisa para diversas aplicaciones acústicas.	1.250,00	MIL DOSCIENTOS CINCUENTA EUROS
3	días Cadnar.El sistema requiere un sistema operativo Windows 7 (SP1), 8, 8.1 o 10 (se recomiendan 64 bits), un procesador Intel Pentium o equivalente o superior, una memoria RAM de 4 GB o más para sistemas operativos de 64 bits, y una tarjeta gráfica compatible con OpenGL 3.3 o superior.	14,19	CATORCE EUROS CON DIECINUEVE CÉNTIMOS
4	Uds Acer Aspire 3 15.6" Intel Core i5-10210U 1.6GHz / 8GB RAM / 2TB HDD.	449,00	CUATROCIENTOS CUARENTA Y NUEVE EUROS
5	Uds IAG DD14.ste dispositivo ofrece un nivel de potencia acústica de 127,5 dBC (referencia lpW) a ruido rosa, y un rango de frecuencia que abarca desde los 50 Hz hasta los 10.000 Hz. Su radiación es omnidireccional y uniforme, cumpliendo con las normativas de los apartados 4.2.1 de ISO 3382-1 e ISO 3382-2, el anexo A1 de ISO 140-4, el anexo A2 de ISO 16283-1: 2014 y el anexo D2 de ISO 10140-5, entre otras. La potencia eléctrica admisible es de 2 x 450 W r.m.s., con una impedancia de 2 x 5,3 $\Omega$ . Además, cuenta con un conector de entrada normalizado tipo «speakON». El dispositivo tiene dimensiones de 31 cm (distancia entre caras opuestas) y un peso de 13,4 kg.	3.490,00	TRES MIL CUATROCIENTOS NOVENTA EUROS
6	h Horas de realización de proyecto	16,37	DIECISEIS EUROS CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS

**Cuadro de precios nº 1**

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
7	Uds BEHRINGER ECM8000. Este dispositivo es ideal para la ecualización de espacios, grabación en estudio de alta resolución y aplicaciones en vivo, gracias a su respuesta de frecuencia excepcionalmente plana y su resolución de sonido ultra alta. Presenta un patrón polar omnidireccional, lo que lo hace perfecto para su uso con UltraCurve u otros analizadores. Funciona con alimentación phantom desde +15V hasta +48V, eliminando distorsiones de baja frecuencia. El cuerpo del micrófono está construido en metal resistente y cuenta con una conexión XLR chapada en oro, asegurando una conexión fiable y duradera. Además, sus especificaciones técnicas incluyen un tipo de micrófono condensador electret, una impedancia de 200 Ohms, una sensibilidad de 70 dB y una respuesta de frecuencia que abarca desde los 20 Hz hasta los 20,000 Hz.	35,00	TREINTA Y CINCO EUROS
8	Uds STANLEY STHT1-77140. Alcance de 5 cm a 100 metros y una alarma audible que resalta las mediciones realizadas. Su pantalla iluminada de 3 líneas y teclado a prueba de agua facilitan su uso en diversas condiciones. Las funciones incluyen medición de distancia, área, volumen, y varios modos de Pitágoras, así como medición mínima/máxima, inclinación, ángulo y medidas parciales. El terminal plegable multifuncional permite mediciones precisas en esquinas y marcos, y cuenta con una conexión de 1/4'' para uso con trípode, además de bloqueo de teclado y memoria de historial con recuperación de hasta 20 mediciones. La precisión típica es de ±1 mm. El paquete incluye una batería, manual y funda con clip para cinturón. Funciona con 2 pilas AAA (1,5 V), con una duración de hasta 5000 mediciones con el láser encendido, y es operativo en un rango de temperatura de -10° a 50°C	172,50	CIENTO SETENTA Y DOS EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS
9	dias Microsoft Office365	0,27	VEINTISIETE CÉNTIMOS
10	dias Pcom planner.El sistema requiere un sistema operativo Windows 10 o posterior, un procesador de 2 GHz o superior, una memoria RAM de 8 GB, y una tarjeta gráfica moderna con al menos 1 GB de memoria y compatibilidad con OpenGL 3.1 o superior.	1,30	UN EURO CON TREINTA CÉNTIMOS
11	Uds KOMPLTE AUDIO 6 MK2. Esta interfaz cuenta con alimentación phantom, permitiendo la conexión de micrófonos de condensador, y ofrece una resolución de 24 bits con una frecuencia de muestreo de hasta 192 kHz, garantizando una calidad de audio excepcional. La conectividad se realiza a través de USB, facilitando la integración con sistemas informáticos modernos. Además, dispone de un control de volumen y soporta un total de seis entradas y seis salidas, incluyendo dos entradas de micrófono y una toma para auriculares. También incluye capacidades MIDI, ampliando su versatilidad para el control y la sincronización de equipos musicales y otros dispositivos de audio.	145,00	CIENTO CUARENTA Y CINCO EUROS

**Cuadro de precios nº 1**

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
12	<p>Ud Ensayos para la medición del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto. Ruido aéreo: en separación entre área protegida y de actividad según UNE-EN ISO 140-4, en separación entre área protegida y cualquier otra según UNE-EN ISO 140-4, en separación entre área habitable y cualquier otra según UNE-EN ISO 140-4, en elemento horizontal según UNE-EN ISO 140-4, 5 de fachada según UNE-EN ISO 140-5. Ruido de impacto: 3 en elemento horizontal según UNE-EN ISO 140-7. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.</p> <p>Incluye: Desplazamiento a obra. Realización de ensayos "in situ".</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.</p>	1.827,39	MIL OCHOCIENTOS VEINTISIETE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
	<p>Alcoy Ingeniero</p> <p>Jose Ignacio Fresneda Medina</p>		

## Cuadro de precios nº 2

**Advertencia:** Los precios del presente cuadro se aplicarán única y exclusivamente en los casos que sea preciso abonar obras incompletas cuando por rescisión u otra causa no lleguen a terminarse las contratadas, sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la establecida en dicho cuadro.

Nº	Designación	Importe																									
		Parcial (Euros)	Total (Euros)																								
	<p><b>1 Control de calidad y ensayos</b></p> <p><b>1.1 Conjunto de pruebas y ensayos</b></p> <p><b>1.1.1 Conjunto de pruebas y ensayos</b></p> <p>1.1.1.1 Ud Ensayos para la medición del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto. Ruido aéreo: en separación entre área protegida y de actividad según UNE-EN ISO 140-4, en separación entre área protegida y cualquier otra según UNE-EN ISO 140-4, en separación entre área habitable y cualquier otra según UNE-EN ISO 140-4, en elemento horizontal según UNE-EN ISO 140-4, 5 de fachada según UNE-EN ISO 140-5. Ruido de impacto: 3 en elemento horizontal según UNE-EN ISO 140-7. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados. Incluye: Desplazamiento a obra. Realización de ensayos "in situ". Criterio de medición de proyecto: Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.</p> <p>(Materiales)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ensayo para la medición de aislamiento ac...</td> <td style="width: 10%;">4,000 Ud</td> <td style="width: 10%;">121,500</td> <td style="width: 10%;">486,00</td> </tr> <tr> <td>Ensayo para la medición de aislamiento ac...</td> <td>5,000 Ud</td> <td>121,500</td> <td>607,50</td> </tr> <tr> <td>Ensayo para la medición de aislamiento ac...</td> <td>3,000 Ud</td> <td>121,500</td> <td>364,50</td> </tr> <tr> <td>Informe de resultados de los ensayos de a...</td> <td>1,000 Ud</td> <td>181,940</td> <td>181,94</td> </tr> <tr> <td>Desplazamiento de personal y equipo a obr...</td> <td>1,000 Ud</td> <td>151,620</td> <td>151,62</td> </tr> <tr> <td colspan="3">(Resto obra)</td> <td>35,83</td> </tr> </table>	Ensayo para la medición de aislamiento ac...	4,000 Ud	121,500	486,00	Ensayo para la medición de aislamiento ac...	5,000 Ud	121,500	607,50	Ensayo para la medición de aislamiento ac...	3,000 Ud	121,500	364,50	Informe de resultados de los ensayos de a...	1,000 Ud	181,940	181,94	Desplazamiento de personal y equipo a obr...	1,000 Ud	151,620	151,62	(Resto obra)			35,83		
Ensayo para la medición de aislamiento ac...	4,000 Ud	121,500	486,00																								
Ensayo para la medición de aislamiento ac...	5,000 Ud	121,500	607,50																								
Ensayo para la medición de aislamiento ac...	3,000 Ud	121,500	364,50																								
Informe de resultados de los ensayos de a...	1,000 Ud	181,940	181,94																								
Desplazamiento de personal y equipo a obr...	1,000 Ud	151,620	151,62																								
(Resto obra)			35,83																								
	<p><b>2 Equipamiento</b></p> <p><b>2.1 Equipamiento acústico</b></p> <p>2.1.1 Uds KOMPLATE AUDIO 6 MK2. Esta interfaz cuenta con alimentación phantom, permitiendo la conexión de micrófonos de condensador, y ofrece una resolución de 24 bits con una frecuencia de muestreo de hasta 192 kHz, garantizando una calidad de audio excepcional. La conectividad se realiza a través de USB, facilitando la integración con sistemas informáticos modernos. Además, dispone de un control de volumen y soporta un total de seis entradas y seis salidas, incluyendo dos entradas de micrófono y una toma para auriculares. También incluye capacidades MIDI, ampliando su versatilidad para el control y la sincronización de equipos musicales y otros dispositivos de audio. Sin descomposición</p>		1.827,39																								
	<p>2.1.2 Uds BEHRINGER ECM8000. Este dispositivo es ideal para la equalización de espacios, grabación en estudio de alta resolución y aplicaciones en vivo, gracias a su respuesta de frecuencia excepcionalmente plana y su resolución de sonido ultra alta. Presenta un patrón polar omnidireccional, lo que lo hace perfecto para su uso con UltraCurve u otros analizadores. Funciona con alimentación phantom desde +15V hasta +48V, eliminando distorsiones de baja frecuencia. El cuerpo del micrófono está construido en metal resistente y cuenta con una conexión XLR chapada en oro, asegurando una conexión fiable y duradera. Además, sus especificaciones técnicas incluyen un tipo de micrófono condensador electret, una impedancia de 200 Ohms, una sensibilidad de 70 dB y una respuesta de frecuencia que abarca desde los 20 Hz hasta los 20,000 Hz. Sin descomposición</p>		145,00																								
			35,00																								
			35,00																								

**Cuadro de precios nº 2**

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
2.1.3	Uds IAG DD14.ste dispositivo ofrece un nivel de potencia acústica de 127,5 dBC (referencia 1pW) a ruido rosa, y un rango de frecuencia que abarca desde los 50 Hz hasta los 10.000 Hz. Su radiación es omnidireccional y uniforme, cumpliendo con las normativas de los apartados 4.2.1 de ISO 3382-1 e ISO 3382-2, el anexo A1 de ISO 140-4, el anexo A2 de ISO 16283-1: 2014 y el anexo D2 de ISO 10140-5, entre otras. La potencia eléctrica admisible es de 2 x 450 W r.m.s., con una impedancia de 2 x 5,3 ?. Además, cuenta con un conector de entrada normalizado tipo «speakON». El dispositivo tiene dimensiones de 31 cm (distancia entre caras opuestas) y un peso de 13,4 kg. Sin descomposición	3.490,00	
2.1.4	Uds Generador - amplificador de potencia.Las características técnicas de las entradas externas incluyen un rango en frecuencia de 10 Hz a 20 kHz, una sensibilidad de entrada de 0,94V/1,7 dBU, un máximo nivel de entrada de +22 dBU, una impedancia de entrada de 10 k? balanceada, y un THD+N de ?0,05% a potencia máxima. Estas especificaciones aseguran una alta fidelidad y precisión en la reproducción y medición del sonido, haciendo del DD5 una herramienta flexible y precisa para diversas aplicaciones acústicas. Sin descomposición	1.250,00	3.490,00
	<b>2.2 Equipamiento auxiliar</b>		1.250,00
2.2.1	Uds Acer Aspire 3 15.6" Intel Core i5-10210U 1.6GHz / 8GB RAM / 2TB HDD. Sin descomposición	449,00	
2.2.2	Uds STANLEY STHT1-77140. Alcance de 5 cm a 100 metros y una alarma audible que resalta las mediciones realizadas. Su pantalla iluminada de 3 líneas y teclado a prueba de agua facilitan su uso en diversas condiciones. Las funciones incluyen medición de distancia, área, volumen, y varios modos de Pitágoras, así como medición mínima/máxima, inclinación, ángulo y medidas parciales. El terminal plegable multifuncional permite mediciones precisas en esquinas y marcos, y cuenta con una conexión de 1/4" para uso con trípode, además de bloqueo de teclado y memoria de historial con recuperación de hasta 20 mediciones. La precisión típica es de ±1 mm. El paquete incluye una batería, manual y funda con clip para cinturón. Funciona con 2 pilas AAA (1,5 V), con una duración de hasta 5000 mediciones con el láser encendido, y es operativo en un rango de temperatura de -10° a 50°C Sin descomposición	172,50	449,00
	<b>3 Software</b>		172,50
3.1	días AUTOCAD.El sistema requiere un sistema operativo Windows 10 (64-bit) versión 1809 o posterior, un procesador de 2.5–2.9 GHz (recomendado de 3+ GHz), una memoria RAM de 8 GB (recomendado 16 GB), y una tarjeta gráfica con 1 GB VRAM y soporte DirectX 11 (recomendado 4 GB VRAM y soporte DirectX 12). Sin descomposición	6,46	
3.2	días Pcom planner.El sistema requiere un sistema operativo Windows 10 o posterior, un procesador de 2 GHz o superior, una memoria RAM de 8 GB, y una tarjeta gráfica moderna con al menos 1 GB de memoria y compatibilidad con OpenGL 3.1 o superior. Sin descomposición	1,30	6,46
3.3	días Cadnar.El sistema requiere un sistema operativo Windows 7 (SP1), 8, 8.1 o 10 (se recomiendan 64 bits), un procesador Intel Pentium o equivalente o superior, una memoria RAM de 4 GB o más para sistemas operativos de 64 bits, y una tarjeta gráfica compatible con OpenGL 3.3 o superior. Sin descomposición	14,19	1,30
3.4	días Microsoft Office365 Sin descomposición	0,27	14,19
			0,27

## Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
4.1	<b>4 Horas de ingeniería</b> h Horas de realización de proyecto Sin descomposición	16,37	
	Alcoy Ingeniero  Jose Ignacio Fresneda Medina		16,37

# Resumen de presupuesto

Proyecto: PRESUPUESTO TFG

Capítulo	Importe	%
Capítulo 1 Control de calidad y ensayos.....	1.827,39	14,71
Capítulo 1.1 Conjunto de pruebas y ensayos.....	1.827,39	14,71
Capítulo 1.1.1 Conjunto de pruebas y ensayos.....	1.827,39	14,71
Capítulo 2 Equipamiento.....	5.541,50	44,62
Capítulo 2.1 Equipamiento acústico.....	4.920,00	39,61
Capítulo 2.2 Equipamiento auxiliar.....	621,50	5,00
Capítulo 3 Software.....	140,57	1,13
Capítulo 4 Horas de ingeniería.....	4.911,00	39,54
<b>Presupuesto de ejecución material .....</b>	<b>12.420,46</b>	
0% de gastos generales.....	0,00	
0% de beneficio industrial.....	0,00	
Suma .....	12.420,46	
21% IVA.....	2.608,30	
<b>Presupuesto de ejecución por contrata .....</b>	<b>15.028,76</b>	

## Honorarios de Ingenier

Proyecto	8,00% sobre PEM .....	993,64
IVA	21% sobre honorarios de Proyecto .....	208,66
	<b>Total honorarios de Proyecto .....</b>	<b>1.202,30</b>
Dirección de obra	0,00% sobre PEM .....	0,00
IVA	21% sobre honorarios de Dirección de obra .....	0,00
	<b>Total honorarios de Dirección de obra .....</b>	<b>0,00</b>
	<b>Total honorarios de Ingenier .....</b>	<b>1.202,30</b>
	<b>Total honorarios .....</b>	<b>1.202,30</b>
	<b>Total presupuesto general .....</b>	<b>16.231,06</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DIECISEIS MIL DOSCIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON SEIS CÉNTIMOS.

Alcoy  
Ingeniero

Jose Ignacio Fresneda Medina