

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO GEOMÉTRICO PARA EL ESTUDIO ACÚSTICO DEL CORRAL DE COMEDIAS DE ALMAGRO (CIUDAD REAL)

AUTOR/A: BEATRIZ RAMOS GARCÍA

TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA DE SONIDO E IMAGEN

DIRECTOR/A:

TUTOR/A: JUAN JOSÉ GÓMEZ ALFAGEME

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA AUDIOVISUAL Y COMUNICACIONES

VºBº TUTOR/A

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE/A: RAQUEL ÁGUEDA MATÉ

TUTOR/A: JUAN JOSÉ GÓMEZ ALFAGEME

SECRETARIO/A: ELENA BLANCO MARTÍN

Fecha de lectura: Lunes 24 de junio de 2024

Calificación:

El Secretario/La Secretaria,

RESUMEN

En el presente proyecto se muestra de forma detallada el proceso llevado a cabo en el diseño y validación de un modelo virtual del Corral de Comedias de Almagro. El Corral está situado en la Plaza Mayor de Almagro, Ciudad Real. Declarado Monumento Nacional en 1955, es el único teatro que mantiene la estructura original de los Corrales de Comedias del siglo XVII. Fue construido en 1628 por Leonardo de Oviedo en el patio de un antiguo mesón, por este motivo es un recinto con doble funcionalidad, como mesón y como teatro.

En primer lugar, se realizan las medidas *in situ*, realizadas mediante el software de medición acústica *DIRAC*, siguiendo la normal UNE- EN ISO 3382-1:2010. Estos datos se trasladan a *Excel* para su procesado.

Después, a partir de los planos 2D en AutoCAD descargados de la base de datos de la página Proyecto MIRE (Mapa Informatizado de Recintos Escénicos), se crea un modelo 3D del recinto mediante el software *SketchUp*. Este modelo debe ser lo más preciso posible, con las dimensiones y características arquitectónicas y acústicas del Corral, ya que será la base utilizada más adelante en el software de simulación acústica.

Una vez completado el modelo, se exporta al programa de simulación acústica *EASE*. En el programa, se designan los materiales acústicos, se ajusta la configuración del modelo geométrico y se realizan las modificaciones necesarias hasta lograr un ajuste de parámetros similares a los parámetros medidos *in situ*.

Finalmente, al obtener todos los datos procesados de las medidas *in situ* y la simulación se procede la evaluación de resultados, comparándolos y validándolos mediante la métrica JND (*Just Noticeable Difference*), se estudia y añaden observaciones sobre el comportamiento del recinto.

Los resultados obtenidos en este proyecto final de grado se incluyen en una base de datos general donde están registrados varios proyectos de recintos similares, pertenecientes a otros teatros y construcciones repartidos por España.

ABSTRACT

This project shows in detail the process carried out in the design and validation of a virtual model of the Corral de Comedias de Almagro. The Corral is located in the Plaza Mayor of Almagro, Ciudad Real. Declared a National Monument in 1955, it is the only theatre that maintains the original structure of the Corrales de Comedias of the 17th century. It was built in 1628 by Leonardo de Oviedo in the courtyard of an old inn, which is why it has a dual function: as an inn and as a theatre.

Firstly, in situ measurements were taken using DIRAC acoustic measurement software, following the UNE- EN ISO 3382-1:2010 standard. These data are transferred to Excel for processing.

Then, from the 2D AutoCAD plans downloaded from the database of the MIRE Project (Mapa Informatizado de Recintos Escénicos) website, a 3D model of the venue is created using the SketchUp software. This model should be as accurate as possible, with the dimensions and architectural and acoustic characteristics of the Corral, as it will be the basis used later in the acoustic simulation software.

Once the model is completed, it is exported to the acoustic simulation program EASE. In the program, the acoustic materials are designated, the configuration of the geometric model is adjusted and the necessary modifications are made until a similar parameter setting to the parameters measured in situ is achieved.

Finally, after obtaining all the processed data from the in situ measurements and the simulation, the results are evaluated, compared and validated using the JND (Just Noticeable Difference) metric, and observations on the behaviour of the enclosure are studied and added.

The results obtained in this final degree project are included in a general database where several projects of similar enclosures are registered, belonging to other theatres and buildings throughout Spain.

Índice de contenidos

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	OBJETIVOS.....	11
3.	CONTEXTO HISTÓRICO	13
3.1.	CORRALES DE COMEDIAS	13
3.2.	CORRAL DE COMEDIAS DE ALMAGRO	14
4.	INTRODUCCIÓN TEÓRICA.....	19
4.1.	CONCEPTOS GENERALES	19
4.2.	TEORÍAS ACÚSTICAS	20
4.2.1.	ACÚSTICA ESTADÍSTICA.....	20
4.2.2.	ACÚSTICA GEOMÉTRICA	20
4.3.	PARÁMETROS ACÚSTICOS	21
4.3.1.	PARÁMETROS TEMPORALES.....	21
4.3.2.	PARÁMETROS ENERGÉTICOS.....	22
4.3.3.	PARÁMETROS ESPACIALES.....	23
4.3.4.	PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD	24
4.4.	MÉTRICA JND	25
5.	OBTENCIÓN DE MEDIDAS <i>IN SITU</i>	27
5.1.	NORMA UNE EN-ISO 3382-1:2010.....	27
5.2.	INSTRUMENTACIÓN.....	28
5.3.	PROCEDIMIENTO DE MEDIDA	31
6.	DISEÑO 3D DEL MODELO GEOMÉTRICO DEL CORRAL	37
6.1.	AUTOCAD	37
6.2.	SKETCH UP	40
7.	CONFIGURACIÓN DEL MODELO EN EASE	51
8.	PROCESADO DE DATOS	55
8.1.	CRITERIOS DE PROCESAMIENTO	55
8.2.	RESULTADO DE PARÁMETROS MEDIDOS <i>IN SITU</i>	60
8.2.1.	PARÁMETROS TEMPORALES.....	61
8.2.2.	PARÁMETROS ENERGÉTICOS.....	66
8.2.3.	PARÁMETROS ESPACIALES.....	71
8.2.4.	PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD	73
9.	VALIDACIÓN DEL MODELO ACÚSTICO/GEOMÉTRICO	75
9.1.	PROCESO DE CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS	75
9.2.	MODIFICACIONES	79
9.2.1.	MODIFICACIÓN 1.....	79
9.2.2.	MODIFICACIÓN 2.....	83
9.2.3.	MODIFICACIÓN 3.....	84

9.2.4. MODIFICACIÓN 4.....	85
9.2.5. MODIFICACIÓN 5.....	86
9.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN	87
9.3.1. PARÁMETROS TEMPORALES.....	89
9.3.2. PARÁMETROS ENERGÉTICOS.....	94
9.3.3. PARÁMETROS ESPACIALES.....	98
9.3.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD	100
9.3.5. MÉTRICA JND.....	102
10. PRESUPUESTO.....	105
11. IMPACTO DEL PROYECTO.....	107
12. CONCLUSIÓN.....	109
13. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	111
ANEXO 1. RUIDO DE FONDO	113
ANEXO 2. ESTUDIO ACÚSTICO DEL CORRAL DE COMEDIAS DE ALMAGRO	115

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se va a detallar de forma exhaustiva un Proyecto Fin de Grado de Ingeniería de Sonido e Imagen, abordando el ámbito de la acústica arquitectónica.

Este proyecto se encuentra dentro de un programa del grupo de investigación GAMMA, con la finalidad de generar una base de datos que recoja modelos de edificios o construcciones, en su mayoría teatros, en formato digital. Esta base de datos ofrece el estudio de cada uno de los recintos registrados, presentando su medición, simulación, procesamiento de datos y comparación de estos.

En un recinto de espectáculos, la acústica es una característica muy importante, ya que de ella depende la calidad de escucha de la actuación por parte del público. Dependiendo del diseño interior del recinto, se puede ajustar la acústica requerida de acuerdo con el tipo de espectáculo que va a desempeñarse en dicho recinto. Por ejemplo, se aprecian notables diferencias entre la configuración acústica de una sala de conciertos, un teatro o una iglesia.

El recinto elegido para la realización del estudio acústico es El Corral de Comedias de Almagro, situado en la provincia de Ciudad Real. Es el único teatro que mantiene la estructura original de los Corrales de Comedias del siglo XVII.

Para su desarrollo, el proyecto pasa por varias etapas. La primera consiste en la medición de diversos parámetros acústicos *in-situ* en el Corral. A continuación, se crea el modelo 3D del recinto y se realiza la simulación acústica del recinto con el software de simulación. Por último, se realiza el procesamiento de datos, validación y comparación del modelo con las medidas obtenidas.

Este proceso se documenta detalladamente en esta memoria, presentando primero un contexto histórico sobre el recinto y conceptos teóricos básicos para poder comprender el análisis de datos de los parámetros estudiados. Esta memoria tiene como objetivo poder seguir el proceso de forma sencilla y obtener una comparación de resultados clara y coherente.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y la validación de un modelo acústico del Corral de Comedias de Almagro que recree de la forma más precisa posible las condiciones acústicas reales del recinto.

Para la validación de este modelo geométrico, se parte de un modelo arquitectónico 3D simplificado y se desarrolla un modelo acústico/geométrico. Los parámetros obtenidos a partir de las mediciones *in situ* se comparan con los generados en este modelo acústico.

Partiendo del objetivo principal, se puede dividir el proyecto en dos grandes bloques o sub-objetivos:

- Toma de medidas *in situ* y procesado de estas.
- Creación, simulación y validación del modelo geométrico.

Para conseguir estos sub-objetivos, se van a diferenciar diferentes etapas que incluyen las siguientes tareas:

Etapas 1:

- Documentación sobre el recinto: elección del recinto, estudio y recopilación de la documentación necesaria para la realización del proyecto. Lectura de normas, manejo de los equipos de medida y familiarización con el entorno software.
- Medidas in situ: obtención de las medidas *in situ* de parámetros acústicos en el recinto siguiendo la norma UNE- EN ISO 3382-1:2010 [1].

Etapas 2:

- Procesado de datos en Excel: procesamiento de datos obtenidos a partir de las medidas *in situ*.

Etapas 3:

- Diseño y simplificación de planos en AutoCAD: a partir de los planos proporcionados por el arquitecto municipal se procede a estudiar y simplificar lo necesario para ajustarlos a los requisitos que se necesitan en los programas de modelado que se van a emplear posteriormente.
- Modelo arquitectónico simplificado 3D en SketchUp: diseño del modelo geométrico 3D a partir de los planos 2D en AutoCAD.

Etapas 4:

- Diseño y simulación del modelo acústico/geométrico en EASE: exportación del modelo arquitectónico 3D desde SketchUp y diseño del modelo acústico en EASE. Obtención y procesamiento de parámetros acústicos simulados en dicho modelo.

Etapas 5:

- Validación del modelo acústico/geométrico: validación del modelo acústico generado a partir de la comparación de los parámetros acústicos obtenidos en las medidas *in situ* y los simulados.
- Memoria final: escritura de la memoria final del proyecto.

A continuación, se muestra un listado de especificaciones y restricciones que deben tenerse en cuenta durante la realización del proyecto:

Especificaciones:

- Disposición de los planos del recinto, proporcionados por el arquitecto municipal del ayuntamiento de Almagro.
- El diseño y simplificación de los planos del recinto se llevará a cabo con herramientas de representación gráfica 2D.
- El modelo arquitectónico simplificado se realizará mediante herramientas de representación gráfica 3D.
- El modelo acústico/geométrico y el análisis acústico del diseño realizado se obtendrá mediante un software específico de simulación acústica.
- Las medidas *in situ* del recinto seguirán la norma UNE-EN ISO 3382-1: “Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos”.
- El modelo acústico/geométrico será validado según las medidas *in situ*.

Restricciones:

- El modelo arquitectónico simplificado en 3D contendrá restricciones arquitectónicas que corresponden a criterios acústicos, siempre pensando en la herramienta de simulación que se va a emplear, con el fin de minimizar el número de caras del modelo.
- El software de simulación acústica solo permite trabajar con bandas de frecuencia comprendidas entre 100 Hz y 10 kHz, por lo que no dispondremos de información de parámetros acústicos en las bandas fuera de ese rango.
- Será necesario adaptar los requisitos contenidos en la norma UNE-EN ISO 3382-1 a la geometría y disposición específica del recinto en el momento de la toma de medidas *in situ*.
- La validación del modelo se realizará con respecto a los valores promedio de los parámetros acústicos medidos *in situ*.

3. CONTEXTO HISTÓRICO

Este apartado trata sobre la historia, arquitectura y características del Corral de Comedias de Almagro, sobre el que se realiza el estudio acústico. Es importante tener conocimiento de la historia de los corrales de comedias para poder comprender su función y comportamiento acústico.

3.1. CORRALES DE COMEDIAS

Antes de la década de 1560 en España no existía el concepto de edificio dedicado exclusivamente a las representaciones de teatro. Hasta entonces, las representaciones tenían lugar en palacios, iglesias, plazas y calles de las ciudades, en ciertas ocasiones podía haber pequeñas representaciones en salones o patios de particulares o en posadas y patios de hospitales.

En los siglos XVI y XVII, surge el corral de comedias como modelo de teatro público permanente construido al descubierto en los patios y corrales interiores de los edificios. Sirvieron como escenario central de la dramaturgia del Siglo de Oro, albergando a destacados autores como Lope de Vega, Calderón de la Barca y Tirso de Molina. En estos recintos, el público común compartía las experiencias teatrales con monarcas, nobles y prelados.

El nombre de estos recintos deriva de su localización en el entorno urbano y del hecho de que todas las representaciones teatrales profanas eran conocidas como “comedias”, incluso si abarcaban los tres géneros: tragedia, drama y comedia en el sentido estricto del término.

El número de corrales de comedias fue en aumento a partir del año 1600, como respuesta al entusiasmo del público y el apoyo de los monarcas Felipe III y Felipe IV. El único corral que se conserva en España que mantiene la estructura original de los Corrales de Comedias del siglo XVII es el de Almagro, donde se celebra de forma anual el Festival Internacional de Teatro Clásico de Almagro.

La disposición de un corral de comedias puede ser descrita de manera esquemática de la forma siguiente: un tablado ubicado en la parte trasera del patio sirve como escenario, con gradas y galerías a ambos lados, y áreas reservadas para reyes, familias nobles y otros personajes. En frente del escenario, separado por el patio de piedra del corral, se eleva una estructura de un modesto hemicírculo con dos niveles; en el superior, conocido como la tertulia, solía situarse el clero y también era el lugar de alcaldes o corregidores. Justo debajo de la curia municipal se encontraba la cazuela de mujeres y debajo de ella, los palcos alojeros, ubicados en la galería baja, en la zona cercana al zaguán de entrada al corral, en el porche situado al fondo del patio. Los hombres presenciaban el espectáculo de pie, al aire libre en el patio.

En algunas ocasiones, los balcones y las ventanas de las casas colindantes funcionaban como aposentos reservados para nobles, tanto hombres como mujeres.

El escenario y las gradas o palcos laterales podían estar parcialmente cubiertos por un tejadillo voladizo. Una de las primeras mejoras consistió en la instalación de un toldo que protegía al público del sol, evitando así áreas iluminadas y otras en penumbra, tanto en el tablado como en el patio. Se pueden observar algunas similitudes con el modelo del teatro isabelino en Inglaterra.

3.2. CORRAL DE COMEDIAS DE ALMAGRO

El Corral de Comedias de Almagro está situado en la Plaza Mayor de Almagro, Ciudad Real. Declarado Monumento Nacional en 1955, es el único teatro que mantiene la estructura original de los Corrales de Comedias del siglo XVII. Fue construido en 1628 por Leonardo de Oviedo en el patio de un antiguo mesón, por este motivo es un recinto de doble funcionalidad, como mesón y como teatro.

Se trata de una edificación barroca que consta de un patio interior rodeado por 54 pies rectos de madera, sobre los que se sostiene el edificio. Posee dos pisos con palcos privados y un pozo situado en la entrada del patio. Estos palcos están situados a los laterales del escenario y poseen entradas independientes del resto del edificio. Las galerías laterales de ambas plantas son diáfanas, donde se habilitan sillas para el público. La cazuela está situada en frente del escenario, en la primera planta del edificio. El escenario está situado en la parte opuesta de la entrada y detrás se encuentran los camerinos.

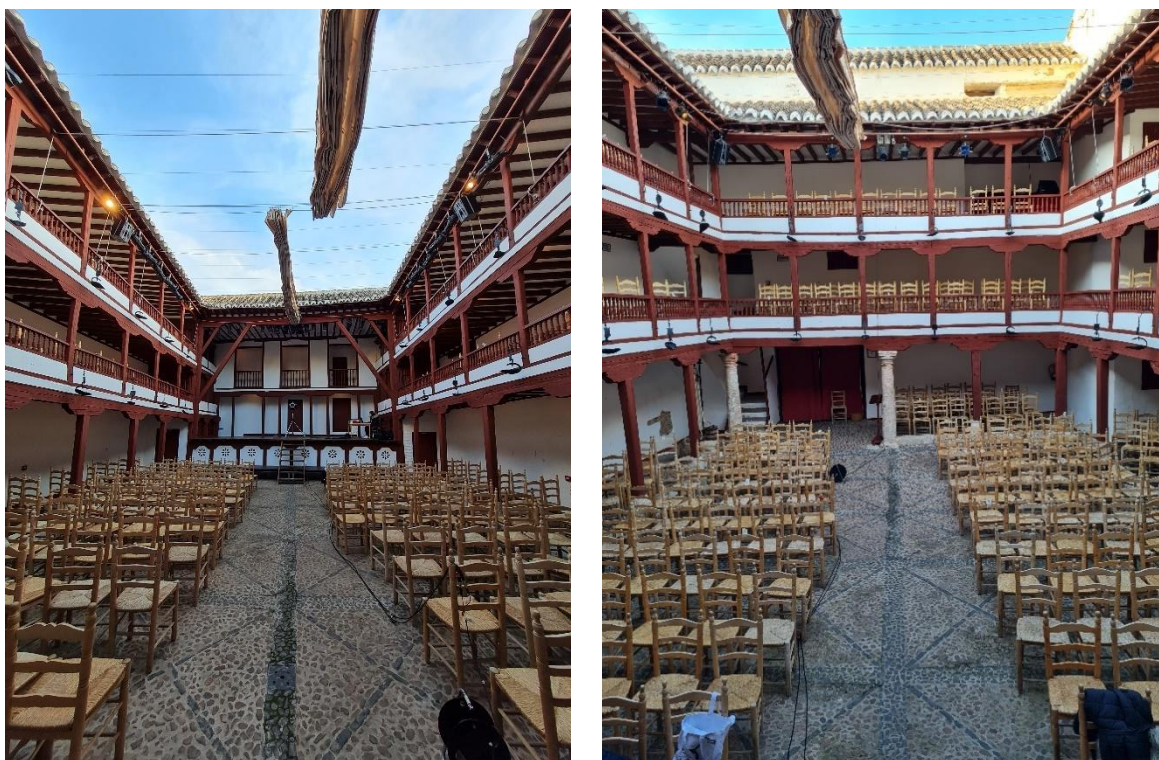


*Figura 1. Izq. Corral de Comedias de Almagro vista desde la entrada (Producción propia)
Dcha. Corral de Comedias de Almagro vista desde escenario (Producción propia)*

En la actualidad el recinto cuenta con un aforo de 287 espectadores, todos ellos en sillas.

Pese a la forma rectangular que aparenta tener el Corral, se trata de un recinto asimétrico (*Figura 2*). Situándose en frente del escenario, se aprecia que la zona de la derecha tiene la hilera de columnas y unos tabiques perpendiculares al escenario, sin embargo, la zona de la izquierda está ligeramente inclinada hacia el centro del Corral.

La cazuela está compuesta por un suelo de piedra, sin pendiente, y en sus laterales tiene unas galerías separadas por columnas de madera situadas sobre una pequeña base de piedra.

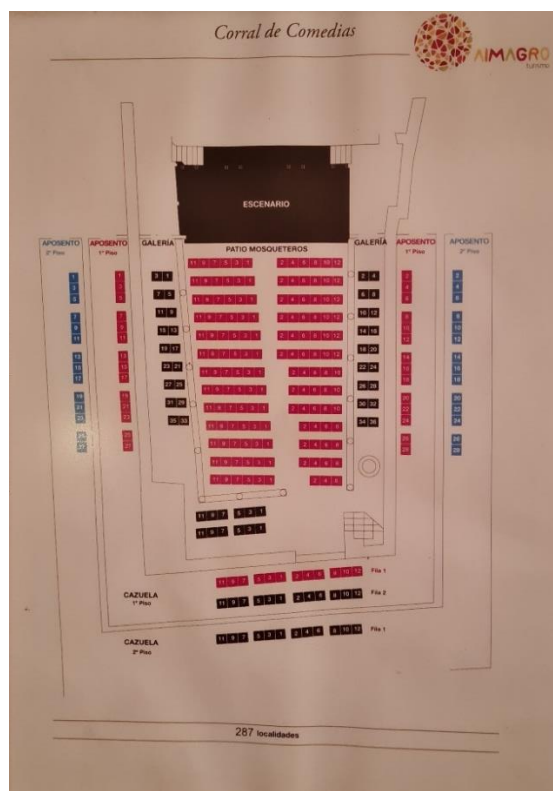


Figura 2. Planos del Corral de Comedias de Almagro

El recinto se encuentra abierto, aunque consta de un toldo plegable para el sol que no afecta en la acústica del Corral. Los palcos no tienen ningún tipo de separación entre ellos y son estrechos, por lo que tienen una única fila de sillas (Figura 3).



Figura 3. Palcos del Corral de Comedias (Producción propia)

Las galerías de los palcos están conectadas mediante puertas de madera con la zona técnica del escenario donde se controla la iluminación de las representaciones (*Figura 4*).



Figura 4. Zona técnica de los laterales del escenario (Producción propia)

El escenario es de madera, no presenta pendiente y está conectado con los camerinos y la zona técnica mediante escaleras situadas en ambos laterales. Debajo del escenario hay un sótano que se utiliza por los actores a modo de camerino y que se conecta con los laterales mediante una pequeña escalera de piedra (*Figura 6*).



Figura 5. Vista frontal del escenario (Producción propia)



Figura 6. Sótano situado debajo del escenario (Producción propia)

El Corral experimentó una última rehabilitación en 1995 por parte del arquitecto José Manuel Valcárcel.

Las dimensiones de la sala son:

- Ancho máximo: 11.80 m
- Fondo desde boca: 15.70 m
- Alturas a pisos:
 - Nº 1: 2.00 m
 - Nº 2: 1.65 m
 - Nº 3: 1.75 m

Las dimensiones del escenario son:

- ANCHO:
- Boca: 7.90 m
- FONDO:
- Desde Boca : 4.75 m
- ALTO:
- Boca: 5.30 m
 - Escenario a Peine: 5.30 m
 - Escenario a Platea: 1.44 m
- Pendiente de escenario: 0%

4. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

En este apartado se van a explicar los conceptos generales sobre la teoría de acústica arquitectónica de salas, que tiene en cuenta el acondicionamiento del recinto. La acústica arquitectónica permite estudiar fenómenos acústicos en cualquier recinto: locales, viviendas, teatros, etc.

Se van a explicar las técnicas y parámetros necesarios para comprender el comportamiento del recinto acústico y, a partir de ellos, se va a validar el modelo.

4.1. CONCEPTOS GENERALES

En física, el sonido es cualquier fenómeno que involucre la propagación de ondas mecánicas a través de un medio fluido o sólido con una frecuencia dentro del rango audible, en el caso de los humanos el rango va de 20 Hz a 20 kHz.

El nivel de presión sonora (SPL: *Sound Pressure Level*), es la presión sonora existente en un punto y tiempos determinados, expresado en unidades logarítmicas. Este parámetro está directamente relacionado con la sonoridad que percibe el oyente.

$$SPL = 20 \cdot \log \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right) [dB] \quad (1)$$

p_{rms} : Presión sonora rms

p_{ref} : Presión sonora de referencia (20 μPa)

En este proyecto, se va a estudiar la propagación de ondas en el recinto del Corral de Comedias. El medio de propagación es el aire. Aunque no se trate de un recinto cerrado ya que tiene el techo abierto, hay elementos en la sala que provocan reflexiones (paredes, columnas, etc). Por tanto, se tiene campo directo y campo reverberante.

- **Campo directo:** consta de las ondas que provienen directamente de la fuente. Se trata de ondas de orden de reflexión 0, es decir, aquellas que no se han topado con ningún obstáculo y no sufren ninguna reflexión.
- **Campo reverberante:** compuesto por todas las ondas que recibe el oyente tras sufrir una o más reflexiones. Las reflexiones pueden ser de orden bajo, pocas reflexiones, u orden alto, muchas reflexiones.

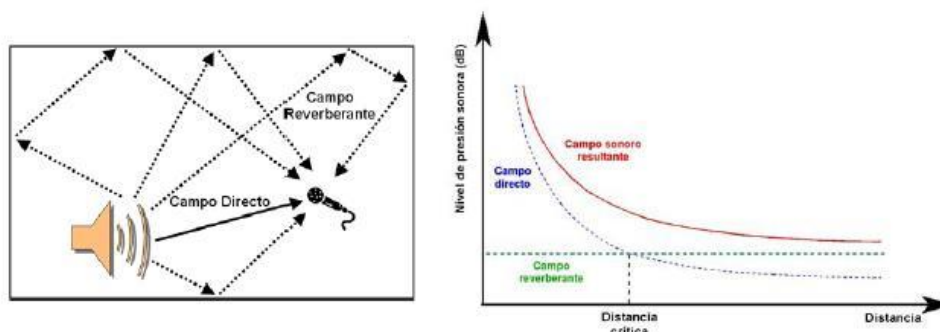


Figura 7. Izq. Esquema sobre Campo directo y Campo reverberante.
Dcha. Representación gráfica del Campo directo y campo reverberante.

(ref. <https://acusticarquitectonicaymedioambiental.blogspot.com/2010/06/conceptos-acustica-arquitectonica-campo.html>)

La absorción es la capacidad que tienen los materiales de atenuar la energía sonora de las ondas incidentes. Es fundamental a la hora de realizar el estudio acústico del recinto y se representa mediante el parámetro α (coeficiente de absorción). Toma valores entre 0 y 1, siendo el 0 el mínimo de absorción (0%) y 1 el máximo de absorción (100%). La absorción de un material depende de su composición, grosor y colocación, y cómo se comporta cada frecuencia (altas, medias y bajas) ante cada material.

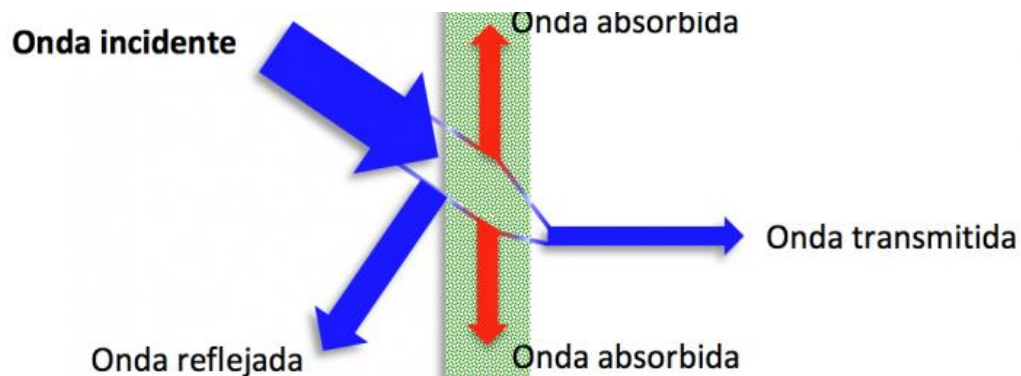


Figura 8. Esquema de comportamiento de un material absorbente.
(ref. <https://ia2.es/un-coeficiente-de-absorcion-acustica-mayor-que-la-unidad/>)

4.2. TEORÍAS ACÚSTICAS

En el estudio de la acústica se establecen tres métodos de cálculo a la hora de estudiar el comportamiento acústico de una sala: ondulatoria, estadística y geométrica. En este proyecto, se va a estudiar el comportamiento acústico siguiendo las aproximaciones de acústica estadística y acústica geométrica, que son las aproximaciones con las que trabaja el software de simulación que se va a emplear posteriormente.

4.2.1. ACÚSTICA ESTADÍSTICA

La acústica estadística se utiliza principalmente en espacios cerrados. En esta sala se establece una fuente sonora que genera sonido que se propaga en frentes de onda esféricos (radio igual en todas las direcciones), provocando reflexiones en las diferentes superficies del recinto y generando un campo sonoro difuso, es decir, la energía en cada punto del recinto es la misma y es la suma de todas las energías de las ondas que llegan a este.

Tiene un método de cálculo sencillo comparado con las otras aproximaciones, lo que implica una menor exactitud en los resultados. Se trata de un estudio estadístico de las reflexiones, el valor de su energía se obtiene mediante el promedio de todos los rayos que llegan al punto y las fases de las ondas que llegan a éste se suponen en una distribución aleatoria.

En el caso del software utilizado en este proyecto, EASE, esta teoría utiliza el método de Eyring para el cálculo del tiempo de reverberación.

4.2.2. ACÚSTICA GEOMÉTRICA

La acústica geométrica tiene como concepto fundamental el frente de onda, ya que, a una frecuencia dada, un frente de onda es un lugar geométrico (superficie) en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una onda determinada y, por tanto, donde la presión sonora está en fase en todas partes. Es decir, todos los puntos del frente de onda tienen el mismo estado de vibración. El frente de onda se desplaza con el tiempo, por lo que a la línea descrita en el espacio se le denomina *rayo sonoro*.

El trazado de estos rayos sonoros da origen a la acústica geométrica. El campo sonoro se considera como una combinación de este trazado, se tiene en cuenta el recorrido que sigue cada rayo después de cada choque. Al chocar con un determinado material, el rayo pierde energía debido a las propiedades absorbentes de los materiales que acondicionan la sala. Cuanto menor sea la longitud de onda del rayo respecto a las superficies de la sala, más fiables serán los resultados.

Este método tiene resultados más fiables debido a la complejidad de los cálculos y da un enfoque más útil a la hora de localizar y modificar aspectos negativos de las reflexiones trazadas. En este proyecto, el software EASE es capaz de realizar estos cálculos a partir de la respuesta al impulso para cada posición emisor/receptor, lo que facilita la selección de materiales para las diferentes superficies del recinto. Mediante esta simulación se pretende obtener un tiempo de reverberación similar al tiempo de reverberación medido *in situ*.

4.3. PARÁMETROS ACÚSTICOS

Los parámetros acústicos representan, en función de su valor, la calidad de ciertas características acústicas que tiene el recinto. Para el estudio y validación acústica de nuestro recinto los parámetros más importantes se dividen en cuatro tipos: parámetros temporales, energéticos, espaciales y de inteligibilidad. A continuación, en este apartado, se van a detallar cada uno de estos parámetros:

4.3.1. PARÁMETROS TEMPORALES

Los parámetros temporales son aquellos que dependen del tiempo que tarda la energía sonora en extinguirse dentro de un recinto.

Para una mejor comprensión del análisis de estos parámetros, es necesario definir el concepto de tiempo de reverberación (RT):

- Tiempo de reverberación: tiempo necesario para el que el nivel de presión sonora disminuya 60 dB por debajo del valor inicial del sonido (esto es equivalente a una disminución de la presión sonora a una millonésima parte del valor inicial. El valor del tiempo de reverberación en un recinto dependerá del uso específico que vaya a tener ese recinto y puede variar desde 0.4 segundos en una sala de cine, 0.8 segundos en una sala destinada a reproducción de voz, 1.3 segundos en una sala de música de cámara, 2.1 segundos en un auditorio de música sinfónica, 2.5 segundos en una sala de ópera o más de 5.0 segundos en una iglesia.

Para la obtención del tiempo de reverberación, se utilizan las siguientes fórmulas provenientes de la teoría estadística:

- Tiempo de Reverberación por el método de Sabine:

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{A} = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} [s] \quad (2)$$

- Tiempo de Reverberación por el método de Eyring:

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} [s] \quad (3)$$

V: Volumen del recinto

A: Área de absorción sonora equivalente

S: Superficie del recinto

$\bar{\alpha}$: Coeficiente de absorción medio del recinto

A la hora de calcular una caída del nivel de presión sonora de 60 dB se necesita una gran cantidad de potencia, lo que implica que sea una tarea difícil de realizar. Por tanto, ante estas dificultades se establecen los estimadores T_{20} y T_{30} , que indican el tiempo transcurrido hasta que la energía cae desde su valor estacionario 20 dB y 30 dB respectivamente, dejando un margen de 5 dB desde el nivel de señal estacionario.

Con los valores de estos estimadores solo es necesario multiplicar por 3 a T_{20} y por 2 a T_{30} para obtener el valor equivalente a la caída de 60 dB.

Otro parámetro temporal a tener en cuenta para el estudio acústico de la sala es el tiempo de caída temprana o tiempo de reverberación temprano, EDT.

El EDT se define como el tiempo que tarda la energía del sonido en caer 10 dB desde que la fuente deja de emitir y se calcula multiplicando por 6 la caída de esos 10 dB desde el nivel estacionario. En este caso no se deja margen de 5 dB como en el caso de los estimadores anteriores.

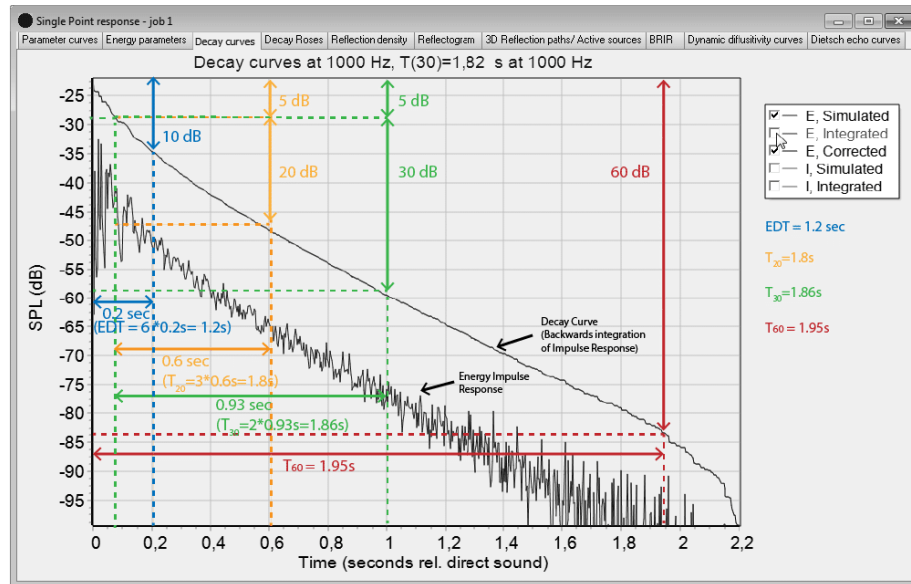


Figura 9. Estimadores del tiempo de reverberación
(ref. <https://odeon.dk/learn/articles/room-acoustics/>)

4.3.2. PARÁMETROS ENERGÉTICOS

Los parámetros energéticos van asociados a las reflexiones y miden la energía sonora de la señal útil. Cuanto mayor sea su valor, mayor será la inteligibilidad y sonoridad del recinto.

- Claridad de voz, C_{50} : relación entre la energía sonora directa y la tardía. Energía sonora directa es la que llega al oyente durante los primeros 50 ms tras la señal directa y la tardía es la energía que llega posterior a esos 50 ms. El valor debe ser superior a 2 dB en cada uno de los puntos de medida.

$$C_{50} = \frac{\text{Energía primeros 50 ms}}{\text{Energía después de 50 ms}} [dB] \quad (4)$$

$$C_{50} = 10 \cdot \log \left(\frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB] \quad (5)$$

- Claridad musical, C_{80} : relación entre la energía sonora directa y la tardía. Energía sonora directa es la que llega al oyente durante los primeros 80 ms tras la señal directa y la tardía es la energía que llega posterior a esos 80 ms. El valor óptimo de este parámetro se encuentra entre -2 dB y 6 dB.

$$C_{80} = \frac{\text{Energía primeros 80 ms}}{\text{Energía después de 80 ms}} [dB] \quad (6)$$

$$C_{80} = 10 \cdot \log \left(\frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB] \quad (7)$$

Cuanto mayor sea el valor de estos parámetros, mayor será la cantidad de energía que llega al oyente en el denominado campo temprano, que puede asimilarse por lo que se entiende como campo directo, formado por la señal directa emisor/receptor y las reflexiones tempranas.

- Definición, D_{50} : relación entre la energía sonora que llega al oyente en los primeros 50 ms y la energía total que se recibe. Para que sea óptimo, sus valores deben ser superiores a 0,5. Este parámetro evalúa la definición del habla y la perceptibilidad.

$$D_{50} = \frac{\text{Energía primeros 50 ms}}{\text{Energía total recibida}} [-] \quad (8)$$

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [-] \quad (9)$$

- Tiempo central, T_s : es el tiempo central de la respuesta al impulso cuadrática. Es el instante donde el nivel de energía anterior y posterior a este son iguales, catalogado como centro de gravedad de la curva de decaimiento energético. Se utiliza para expresar la nitidez que tiene una sala. El valor óptimo de este parámetro debe ser cercano a los 130 ms (aunque depende del uso específico del recinto).

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [ms] \quad (10)$$

4.3.3. PARÁMETROS ESPACIALES

Los parámetros espaciales se basan en la cantidad de energía captada desde los laterales del oyente, para obtener esta medida se utiliza un micrófono bidireccional.

- Eficiencia lateral, LF : relación entre la energía captada en los laterales del oyente y la energía que llega en todas las direcciones en un periodo de 80 ms. Para obtener la medida de energía en todas las direcciones se utiliza un micrófono omnidireccional.

$$LF = \frac{\text{Energía laterales antes de 80 ms}}{\text{Energía total antes de 80 ms}} [-] \quad (11)$$

$$LF = \frac{\int_0^{80} p_L^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [-] \quad (12)$$

- Eficiencia lateral coseno, LFC : se trata de una corrección sobre el parámetro anterior (LF), varía en el coseno del ángulo con el que inciden las ondas.

$$LFC = \frac{\int_0^{80} |p_L(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{80} p^2(t) dt} [ms] \quad (13)$$

p_L : Presión captada por micrófono bidireccional

p : Presión captada por micrófono bidireccional

4.3.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD

Estos parámetros se encargan de estudiar el grado de comprensión de una señal emitida por la fuente y captada por los oyentes.

- Pérdida de articulación de consonantes (*Articulation Loss of Consonants*), *Alcons*: indica el porcentaje de consonantes perdidas del mensaje original. Cuanto mayor sea su valor, peor es la inteligibilidad del recinto. Se obtiene a partir del tiempo de reverberación y la diferencia de niveles de sonora entre el campo directo y el campo reverberante en cada punto, utilizando las siguientes fórmulas (14 y 15) y la gráfica de Peutz (Figura 10).

$$Alcons = \frac{\text{Consonantes entendidas}}{\text{Consonantes totales emitidas}} [\%] \quad (14)$$

$$L_D - L_R = 10 \cdot \log \left(\frac{Q \cdot R}{r^2} \right) - 17 [dB] \quad (15)$$

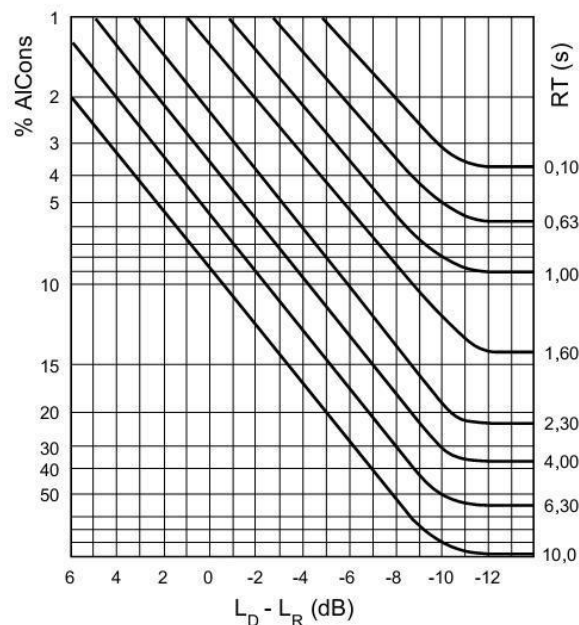
L_D : Nivel de presión sonora del campo directo

L_R : Nivel de presión sonora del campo reverberante

Q : Factor de directividad de la fuente

R : Constante de la sala [m^2]

r : Distancia entre el punto y la fuente [m]



Obtención del %ALCons a partir de RT y de $L_D - L_R$

Figura 10. Gráfica de Peutz para la obtención del % Alcons

(ref. "Diseño acústico de espacios arquitectónicos", A. Carrión Isbert, pp67, 1998)

El valor de Alcons disminuye con la proximidad fuente-receptor y con un menor tiempo de reverberación, es decir, aumenta la inteligibilidad.

La inteligibilidad se puede clasificar en diferentes escalones de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 1. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad. % Alcons
(ref. <https://enixnicole.wixsite.com/arquinex-bo/post/inteligibilidad-de-la-palabra>)

% ALCons (Peutz LF)	Valoración Subjetiva
0% a 7%	Muy Buena
7% a 11%	Buena
11% a 15%	Aceptable
15% a 18%	Pobre
> 18%	Inaceptable

- Índice de transmisión del habla (*Speech Transmission Index*), *STI*: este parámetro sirve para cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra. Su valor oscila entre los valores 0 y 1, siendo 0 inteligibilidad nula y 1 la óptima.

Tabla 2. Valoración subjetiva del grado de inteligibilidad. *STI*
(ref. <https://enixnicole.wixsite.com/arquinex-bo/post/inteligibilidad-de-la-palabra>)

raSTI (Peutz LF)	Valoración Subjetiva
0,6 a 1	Muy Buena
0,45 a 0,6	Buena
0,3 a 0,45	Pobre
0 a 0,3	Inaceptable

4.4. MÉTRICA JND

El umbral diferencial o *Just Noticeable Difference* (JND) se utiliza para catalogar cuantitativamente el grado de variación mínimamente perceptible por el oyente. En el grupo de investigación GAMMA, se ha decidido expresar mediante una métrica lineal en “escalones”, que permite utilizar esta métrica JND única para comparar el umbral diferencial de parámetros de diferentes tipos que se miden y expresan de forma muy diferente.

Dependiendo del parámetro sobre el que se va a aplicar el escalón o métrica JND, se va a aplicar una fórmula distinta, aunque siempre va a ser a partir de la desviación estándar y dividiendo entre el escalón correspondiente.

Tabla 3. Relación entre parámetros acústicos y umbral diferencial JND extraída de la ISO 3382 (Producción propia)

PARÁMETROS ACÚSTICOS	UMBRAL DIFERENCIAL (JND)
RT, EDT, T_{20}, T_{30}	5%
C_{50}, C_{80}	1 dB
D_{50}, LF, LFC	0,05
T_s	10 ms
Alcons	2
STI	0,03

Tabla 4. Definición de la métrica JND para cada parámetro (Producción propia)

PARÁMETROS ACÚSTICOS	CÁLCULO
RT, EDT, T_{20}, T_{30}	$JND = \frac{\left(\left \frac{Medido - Simulado}{Medido}\right \right)}{5} \cdot 100$
C_{50}, C_{80}	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{1}$
D_{50}, LF, LFC	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{0,05}$
T_S	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{10}$
Alcons	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{2}$
STI	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{0,03}$

La métrica mostrada en las *Tablas 3 y 4* nos va a permitir tanto expresar la desviación estándar de las medidas realizadas de un parámetro para analizar la dispersión de los datos, como comparar la “distancia” entre los parámetros medidos y simulados para poder validar el modelo.

Para facilitar la comprensión de la métrica lineal JND se determina una serie de 10 “escalones” JND clasificados por colores, como se muestra en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Métrica JND lineal en “escalones”

ESCALONES JND	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

En el caso de la estimación de la “distancia” entre los parámetros medidos y simulados, que se empleará en la validación del modelo geométrico, si nos encontramos en métrica JND “escalón” 1, no apreciaríamos diferencia perceptible alguna entre los datos comparados; si nos encontramos en métrica JND “escalones” 2 y 3, la diferencia perceptible sería pequeña en la mayoría de los casos y se considera aceptable; si está en métrica JND “escalón” 4 la diferencia perceptible es clara, pero se podría justificar mejorando algún parámetro concreto; si nos encontramos en métrica JND “escalones” 5 o superior, la diferencia perceptible entre el valor objetivo y el simulado es muy grande y no considera como un resultado válido. De igual manera se podría interpretar la aplicación de la métrica JND en la estimación de la desviación estándar de los parámetros medidos o simulados, en términos de clasificar la dispersión de estos.

5. OBTENCIÓN DE MEDIDAS *IN SITU*

En este apartado se va a mostrar todo el proceso de preparación y obtención de las medidas *in situ* realizadas en el Corral de Comedias de Almagro (Ciudad Real) el 13 de marzo de 2023. Este proceso implica el montaje de varios instrumentos de medida, así como la utilización de un software determinado, lo que va a permitir la medida, recogida y clasificación de parámetros acústicos para su posterior procesado.

Estas medidas se han de realizar de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 3382-1:2010 [1], que detalla los criterios, materiales y condiciones con los cuales se deben realizar las mediciones.

5.1. NORMA UNE EN-ISO 3382-1:2010

La norma UNE EN-ISO 3382-1:2010, en su primera parte se ocupa de la medición acústica *in situ* en salas de espectáculos. Las condiciones especificadas son:

- Medida de temperatura y humedad relativa con precisión de ± 1 °C y $\pm 5\%$ respectivamente.
- La fuente utilizada debe ser omnidireccional (lo máximo posible) y capaz de generar un nivel de presión sonora suficiente para medir el tiempo de reverberación. Parámetro INR superior a 45 dB.
- La fuente debe cubrir de 100 Hz a 5 kHz en octavas de frecuencia, para una mayor exactitud.
- La relación señal-ruido deber ser al menos de 50 dB en todas las bandas.
- El recinto se puede excitar mediante respuesta al impulso integrada o ruido interrumpido.
- Se miden al menos 2 posiciones de fuente a 1,5 metros de altura. Se deben situar donde normalmente se sitúen las fuentes naturales. En el caso de nuestro recinto, solo se ha utilizado una posición de la fuente debido al reducido tamaño del escenario.
- Se deben utilizar varios micrófonos: uno debe ser omnidireccional, lo más pequeño posible y otro bidireccional de respuesta en forma de ocho, para medir los parámetros LF y LFC.
- Los micrófonos deben estar colocados a 1,2 metros del suelo y repartidos de forma uniforme y representativa por toda la zona de audiencia del recinto.
- La distancia entre una posición de micrófono y otra debe ser de al menos 2 metros.
- La distancia entre el micrófono y cualquier superficie reflectante debe ser al menos de 1 metro.

Tabla 6. Desviación máxima de directividad de la fuente, en dB, medida en campo libre para una excitación por ruido rosa en bandas de octava (ref.[1])

Frecuencia, hercios	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Desviación máxima, decibelios	± 1	± 1	± 1	± 3	± 5	± 6

Tabla 7. Número mínimo de posiciones del receptor en función del tamaño del auditorio (ref. [1])

Número de asientos	Número mínimo de posiciones de micrófono
500	6
1 000	8
2 000	10

5.2. INSTRUMENTACIÓN

El equipo de instrumentación utilizado en el proceso de medición y que cumple con la norma explicada en el apartado anterior es el siguiente.

Todo este equipamiento ha sido aportado por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

- Ordenador portátil con software DIRAC 6.0. (Figura 11). Mediante el software DIRAC, el ordenador genera la señal de excitación y recoge en un registro la señal captada por los micrófonos. Con este software se obtienen los parámetros necesarios para el estudio del recinto. Estos datos se van a exportar para su posterior procesado.



Figura 11. Izq. Ordenador portátil. Drcha. Software DIRAC 6.0

- Interfaz MOTU UltraLite MK3 (Figura 12). Dispositivo que permite al ordenador la transmisión de la señal digitalizada, canaliza la señal de excitación generada por DIRAC hasta el amplificador de potencia. Se configura con una frecuencia de muestreo a 48 kHz y con una ganancia de salida a 0 dB. El dispositivo cuenta con dos amplificadores de micro-línea y ocho salidas analógicas, con opción de alimentación Phantom +48V.



Figura 12. Interfaz MOTU UltraLite MK3

- Amplificador de potencia Crown XLS 2002 Drivecore (Figura 13). Dispositivo que se encarga de amplificar la señal que proviene de la MOTU, con el fin de conseguir un rango dinámico que se ajuste a la norma. El amplificador cuenta con dos canales o entradas de 650W/4Ω cada una o un canal de 1300W/8Ω si se utiliza como *bridge*.



Figura 13. Amplificador de potencia Crown XLS 2002 DriveCore

- Sonómetro Brüel & Kjaer 2260 (Figura 14). Instrumento utilizado para medir ruido de fondo y calibración de micrófonos. Este tipo de sonómetro cuenta con un micrófono, sistema de filtros, conversor y analizador. Sonómetro de tipo 1 según la norma UNE EN-61672-1 [2].



Figura 14. Sonómetro Brüel & Kjaer 2260

- Calibrador Brüel & Kjaer 4231 (Figura 15). Dispositivo utilizado para verificar la correcta calibración del sonómetro de la Figura 14, antes y después de las medidas. Calibrador de tipo 1 según la norma UNE EN-60942 [3].



Figura 15. Calibrador Brüel & Kjaer 4231

- Fuente omnidireccional AVM DO-12 (Figura 16). Fuente sonora dodecaédrica formada por doce altavoces, cada uno situado en una cara del dodecaedro. Cuenta con una potencia máxima de entrada de 600W, una impedancia de 10Ω y una potencia sonora de emisión de 120 dB con máxima eficiencia entre 80 Hz y 6,3 kHz. La fuente genera un campo difuso que se propaga de manera esférica de acuerdo con la norma UNE EN-ISO 140.



Figura 16. Fuente omnidireccional AVM DO-12

- Micrófono AKG CK92 (Figura 17). Es un micrófono de condensador omnidireccional con sensibilidad 13 mV/Pa. Tiene una relación señal-ruido de 77 dBA y una impedancia de 200Ω. El micrófono se encuentra calibrado a 94 dB y mide en todo el rango de frecuencias de 20 Hz a 20kHz.



Figura 17. Micrófono AKG CK92

- Micrófono AKG CK94 (Figura 18). Es un micrófono de condensador bidireccional con sensibilidad 10 mV/Pa. Tiene una relación señal-ruido de 72 dBA y una impedancia de 200Ω. El micrófono se encuentra calibrado a 94 dB y mide en todo el rango de frecuencias de 20 Hz a 20kHz.



Figura 18. Micrófono AKG CK94

- Módulo preamplificador AKG SE-300B (Figura 19). Dispositivo que va conectado entre los micrófonos y el analizador de señal, se conecta a los micrófonos mediante la cápsula microfónica. Tiene una relación señal-ruido de 77 dBA, cuenta con un switch de atenuación y un filtro paso alto. Tiene una respuesta en frecuencia plan y una frecuencia de corte de 75 Hz.



Figura 19. Preamplificador AKG SE-300B

A continuación, se muestra de forma esquemática un diagrama del conexionado de todos los instrumentos de medida explicados en este apartado.

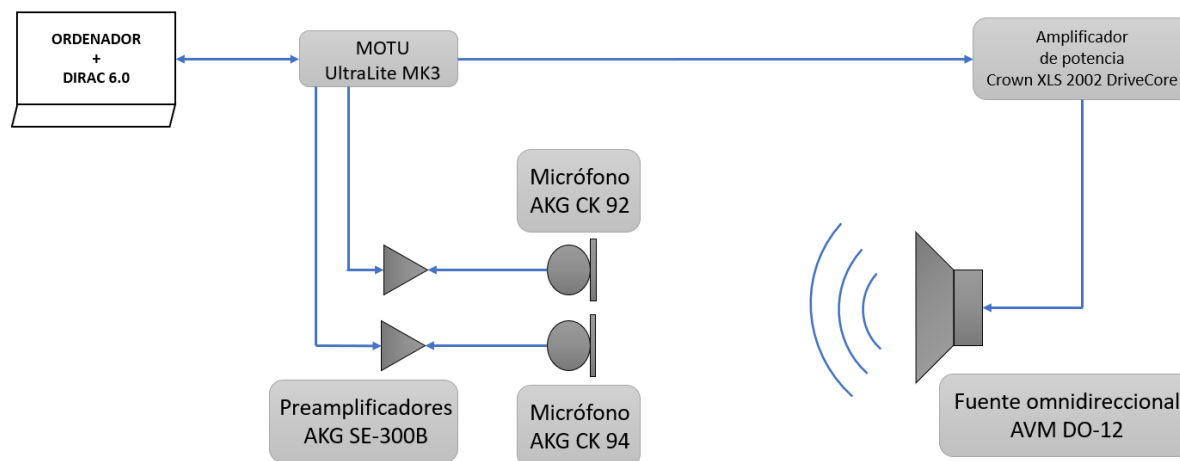


Figura 20. Diagrama de bloques de la conexión entre equipos para mediciones in situ

5.3. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

El 13 de marzo de 2023 se realizan las medidas *in situ* en el Corral de Comedias de Almagro, Ciudad Real, con el montaje de todos los instrumentos de medida descritos en el apartado anterior y siguiendo la norma UNE EN-ISO 3382-1:2010. El transporte de todo el material se realiza en coche desde la ETS de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación un día antes de realizar las mediciones (12 de marzo de 2023).

A la hora de realizar las medidas, se va a utilizar el método de ingeniería y precisión. Se obtiene una respuesta al impulso integrada de una señal emitida por la fuente. La señal de excitación de la fuente sonora es un barrido exponencial de tonos puros con frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz con una duración de 5.48 segundos, considerando como una medida válida cuando los valores del parámetro de relación impulso a ruido (INR) es superior a 35 dB. El software de medida calcula el promedio de dos respuestas al impulso en cada posición emisor/receptor. Asimismo, se realizan dos medidas independientes en cada posición.

Antes de empezar a medir, tienen lugar una serie de trabajos previos, realizados el 12 de marzo. Con los planos de Corral se calculan cuántas posiciones de fuente y micrófono son las necesarias para el estudio del recinto, así mismo, sobre el plano se sitúan las posiciones tanto de la fuente como de los micrófonos.

Dada la dimensión del Corral de Comedias, se establece solo una posición de la fuente y 35 posiciones de micrófono. Para la fuente se utiliza la nomenclatura F01, para los micrófonos M + Posición que ocupa (por ejemplo: M01, M33). Se toma como eje de coordenadas (0, 0, 0) el centro de la boca del escenario.

Se empieza a medir a las 18:18 y se finaliza a las 20:37. Las medidas de ambiente que se toman tanto al empezar como al acabar son:

Tabla 8. Resumen condiciones ambientales el día de las medidas in situ

Temperatura	17,2 °C
Humedad relativa	53,3%
Presión	1018 hPa

Como el recinto no es simétrico, no se puede comprobar la hipótesis de simetría del campo acústico, por tanto, no se van a utilizar micrófonos de control (micrófonos utilizados en las salas simétricas para comprobar la correcta realización de las medidas). Según la posición en la que se coloque el micrófono, su nomenclatura es la siguiente:

- Micrófonos “normales”: repartidos por asientos de la sala, ocupan el espacio que ocupa el oyente. Se sitúan repartidos por la platea y en los palcos. Utilizan la nomenclatura: M01, M02, M03...M33, M34 y M35.



Figura 21. Micrófono M06 situado en la platea del Corral. Fila 7 – Silla 7 (Producción propia)



*Figura 22. Izq. Micrófono M05 situado en el palco 5 (planta baja).
Drcha. Micrófono M24 situado en el palco 16 (planta 1) (Producción propia)*

- Micrófonos de eje: colocados a lo largo del eje del recinto, dos en la planta baja y uno en cada planta. Utilizan la nomenclatura: ME01, ME02, ME03 y ME04.

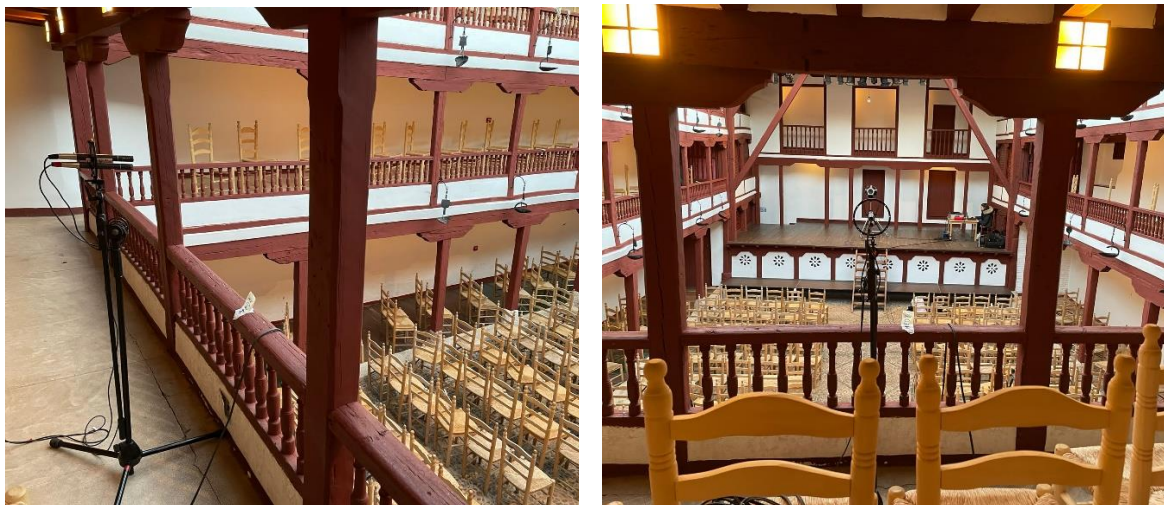


Figura 23. Micrófono de eje ME03, situado en la planta1 (Producción propia)

- Micrófonos de escenario: colocados en el escenario. Como en este caso solo se ha utilizado una posición de la fuente (F01) se colocarán 2 micrófonos de escenario: MST01 y MST02.

Tabla 9. Posiciones de la fuente F01 y los micrófonos de escenario MST01 y MST02

	X	Y	Z
F01	0,00	-1,50	1,50
MST01	2,20	-1,50	1,20
MST02	-2,20	0,00	1,20

En la siguiente tabla (Tabla 10) se muestran las coordenadas de la fuente y todos los micrófonos del recinto.

Tabla 10. Coordenadas de la fuente y todos los micrófonos

PLANTA	N.º MICRO	FILA	BUTACA	PALCO	COORDENADAS		
					X	Y	Z
0	F01	-	-	-	0,00	-1,50	1,50
	M01	1	3	-	1,65	2,86	-0,35
	M02	-	-	1	5,07	4,09	-0,35
	M03	3	9	-	3,15	4,53	-0,35
	M04	5	1	-	1,18	6,11	-0,35
	M05	-	-	3	4,30	7,00	-0,35
	M06	7	7	-	2,67	7,80	-0,35
	M07	9	5	-	2,16	9,50	-0,35
	M08	11	11	-	3,76	10,98	-0,35
	M09	-	-	7	0,79	13,77	-0,35
	M10	-	-	6	2,65	14,82	-0,35
	M11	10	10	-	-1,88	10,41	-0,35
	M12	-	-	9	-5,17	9,44	-0,35
	M13	8	4	-	-3,29	8,63	-0,35
	M14	6	8	-	-1,69	6,96	-0,35
	M15	4	10	-	-1,76	5,36	-0,35
	M16	-	-	11	-5,14	6,47	-0,35
	M17	2	6	-	-2,49	3,69	-0,35
	ME01	-	-	-	0,00	6,24	-0,35
	ME02	-	-	-	0,00	10,77	-0,35
	MST01	-	-	-	2,20	-1,50	1,20
	MST02	-	-	-	-2,20	0,00	1,20
1	M18	-	-	2	4,88	2,32	2,65
	M19	-	-	4	4,72	6,56	2,65
	M20	-	-	6	4,96	10,35	2,65
	M21	-	-	8	3,30	13,61	2,65
	ME03	-	-	-	0,00	13,00	2,65
	M22	-	-	12	-1,70	13,83	2,65
	M23	-	-	14	-3,93	10,72	2,65
	M24	-	-	16	-4,38	6,35	2,65
	M25	-	-	18	-4,73	3,00	2,65
2	M26	-	-	1	4,84	0,89	4,80
	M27	-	-	3	4,84	5,00	4,80
	M28	-	-	5	4,84	8,45	4,80
	M29	-	-	7	4,84	12,00	4,80
	M30	-	-	9	2,40	14,20	4,80
	ME04	-	-	-	0,00	13,00	4,80
	M31	-	-	11	-1,00	14,30	4,80
	M32	-	-	13	-3,83	11,28	4,80
	M33	-	-	15	-4,20	7,69	4,80
	M34	-	-	17	-4,50	4,00	4,80
	M35	-	-	19	-4,80	1,58	4,80

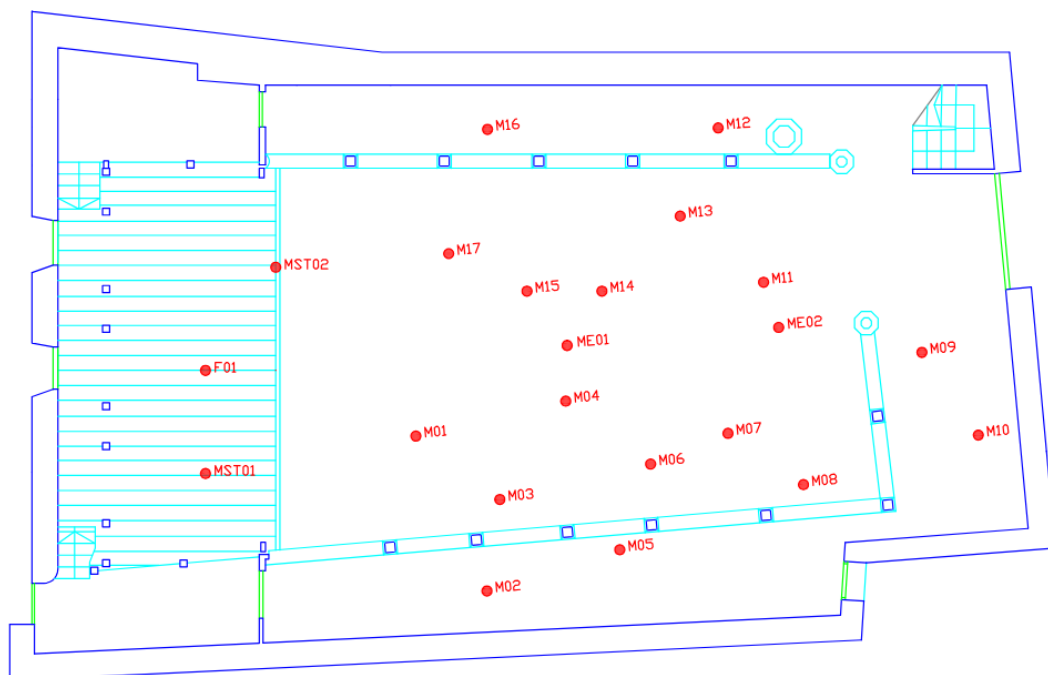


Figura 24. Posiciones de la fuente y micrófonos en planta baja

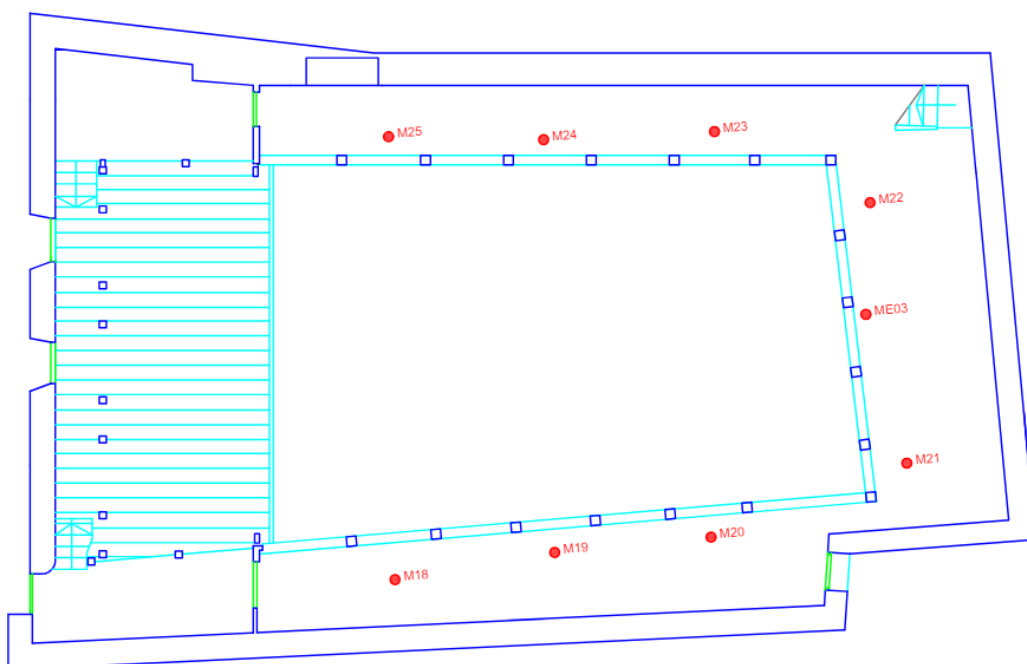


Figura 25. Posiciones micrófonos en planta 1

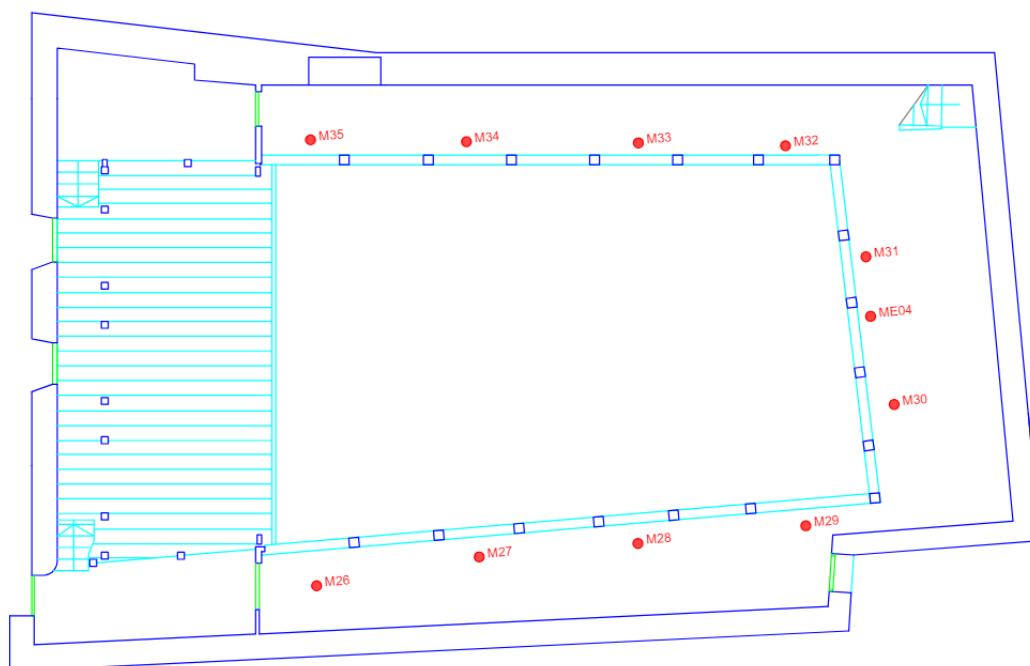


Figura 26. Posiciones micrófonos en planta 2

6. DISEÑO 3D DEL MODELO GEOMÉTRICO DEL CORRAL

En este apartado se va a explicar cómo se ha diseñado el modelo geométrico en 3 dimensiones (3D) del recinto. Partiendo de los planos en 2 dimensiones (2D) en formato AutoCAD, se realizan modificaciones para simplificar su aspecto de cara al diseño en 3D, que se va a realizar mediante la herramienta de software SketchUp.

6.1. AUTOCAD

Los planos en 2D se han descargado de la página Proyecto Mire [4], ya que después de contactar con el arquitecto municipal, nos informa de que no se tienen unos planos oficiales del recinto.

Desde Proyecto Mire, se obtienen unos planos en formato AutoCAD que proporcionan una información general acerca del recinto, solo de la planta baja, el perfil y el alzado.

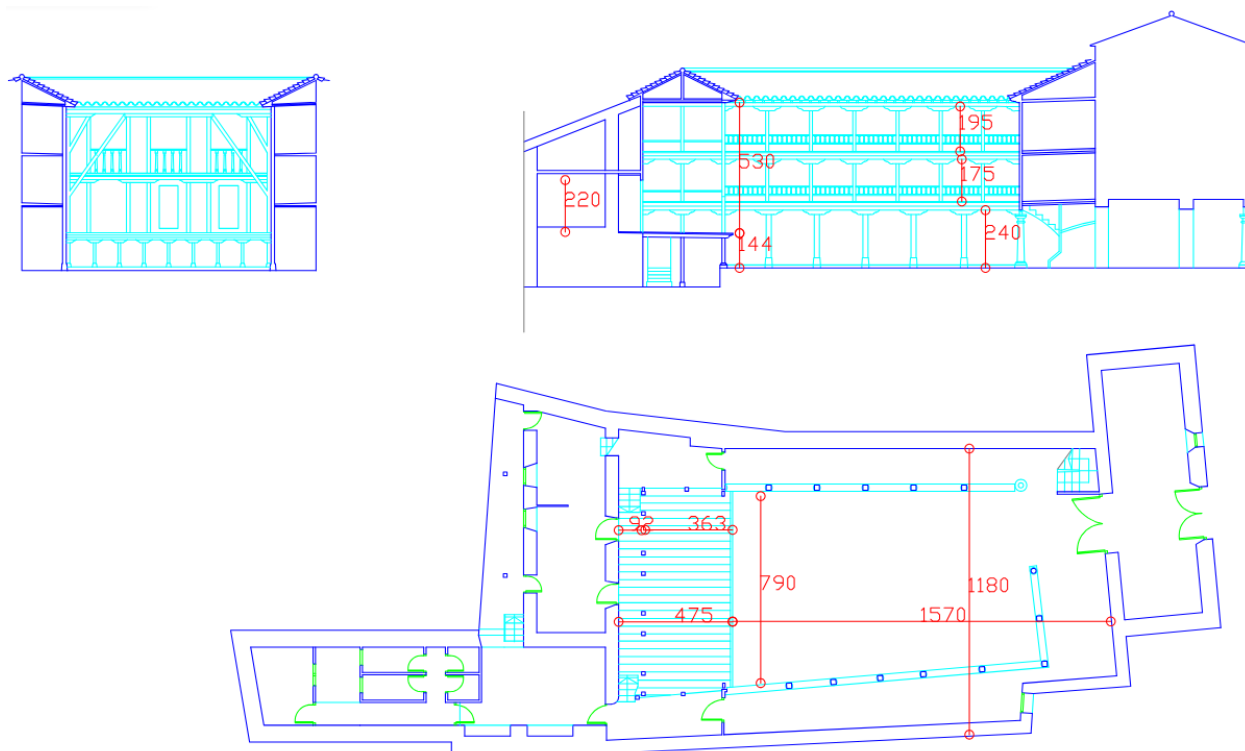


Figura 27. Planos generales de planta, perfil y alzado descargados de Proyecto Mire

A partir del plano general mostrado en la Figura 27, se realizan una serie de modificaciones para simplificar las vistas de cara a su exportación a SketchUp.

En el alzado no se realiza ninguna modificación y en el perfil y la planta se elimina la capa de las cotas y se ajustan las paredes del plano al recinto acústico que se va a estudiar, desde el escenario hasta la puerta de entrada. Para la evaluación en EASE se requieren únicamente líneas y superficies internas, aquellas que están directamente relacionadas con el espacio a estudiar, por ello, se descartan las líneas externas de los planos.

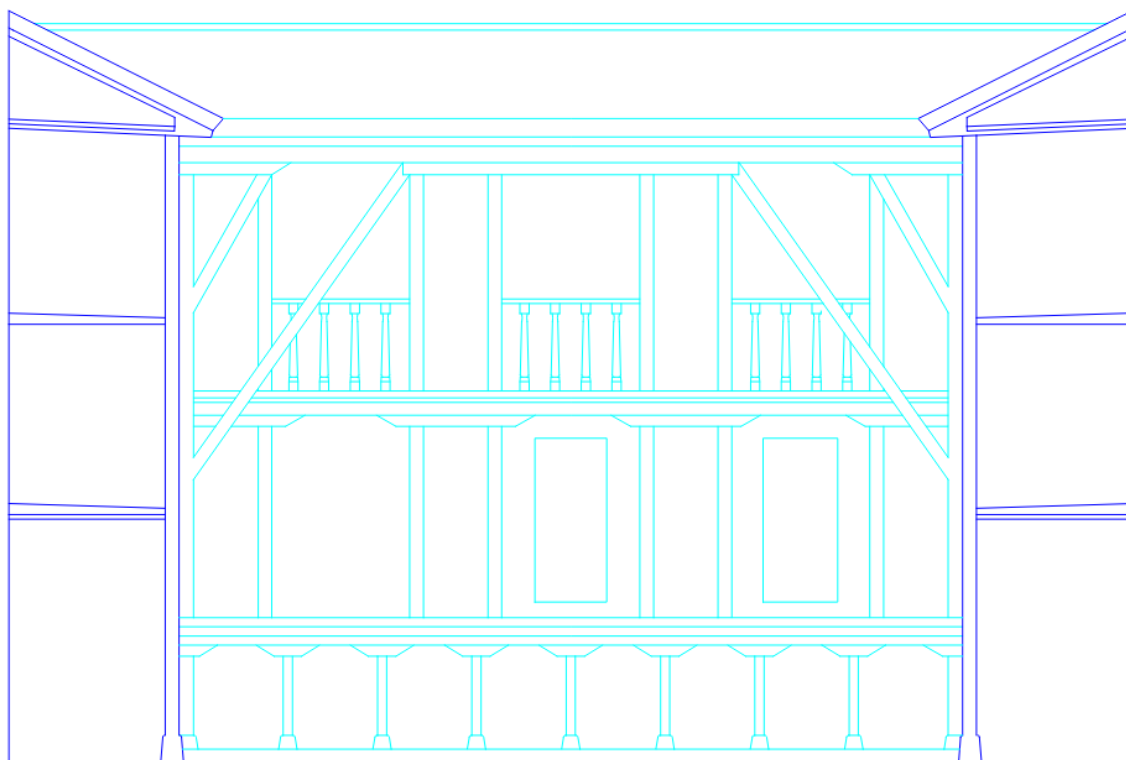


Figura 28. Plano simplificado del alzado del Corral de Comedias

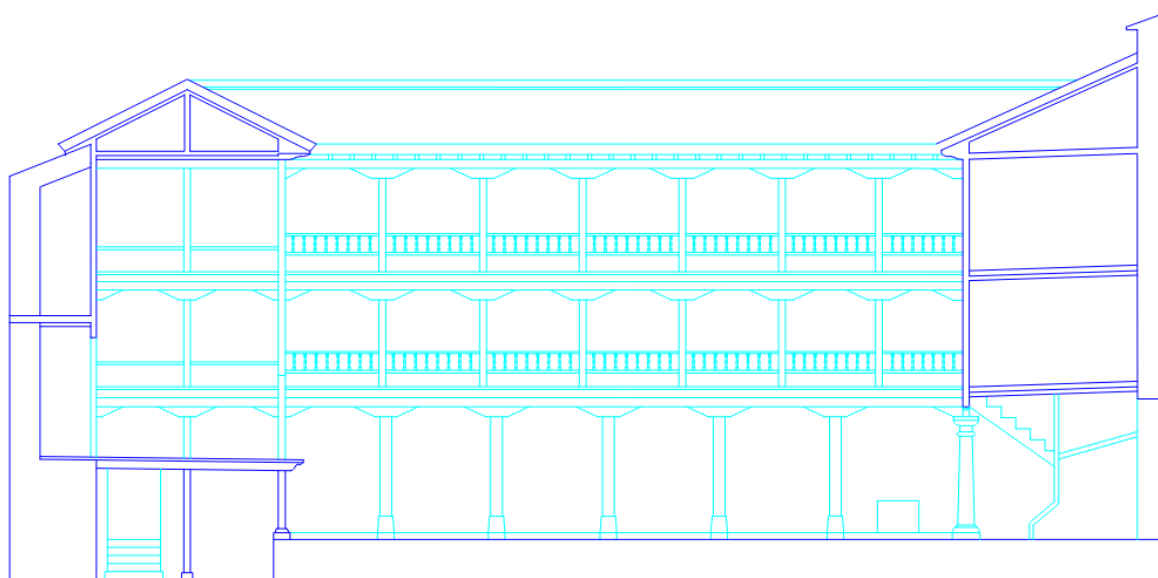


Figura 29. Plano simplificado del perfil del Corral de Comedias

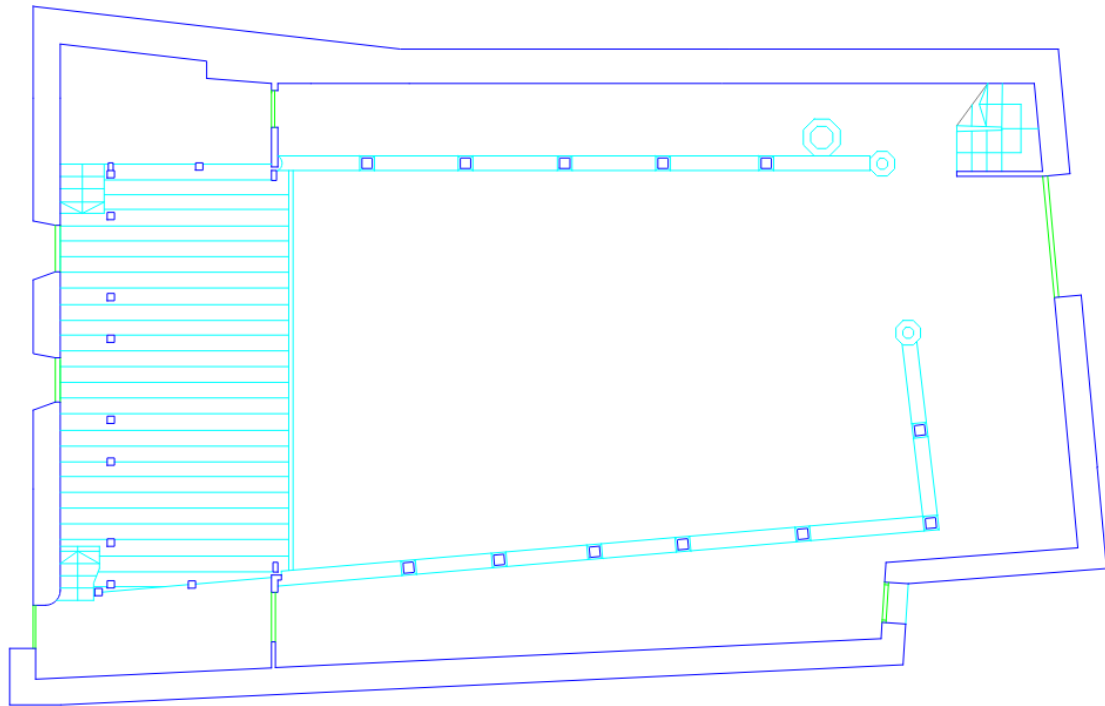


Figura 30. Plano simplificado de la planta del Corral de Comedias

Una vez se tienen los planos simplificados en las tres vistas, se replica el plano de la planta baja para las plantas 1 y 2 (Figura 31), que solo constan de los palcos cerrados, únicamente se une el hueco que queda entre los dos pilares de piedra que se ven en la zona derecha del plano de la Figura 30.

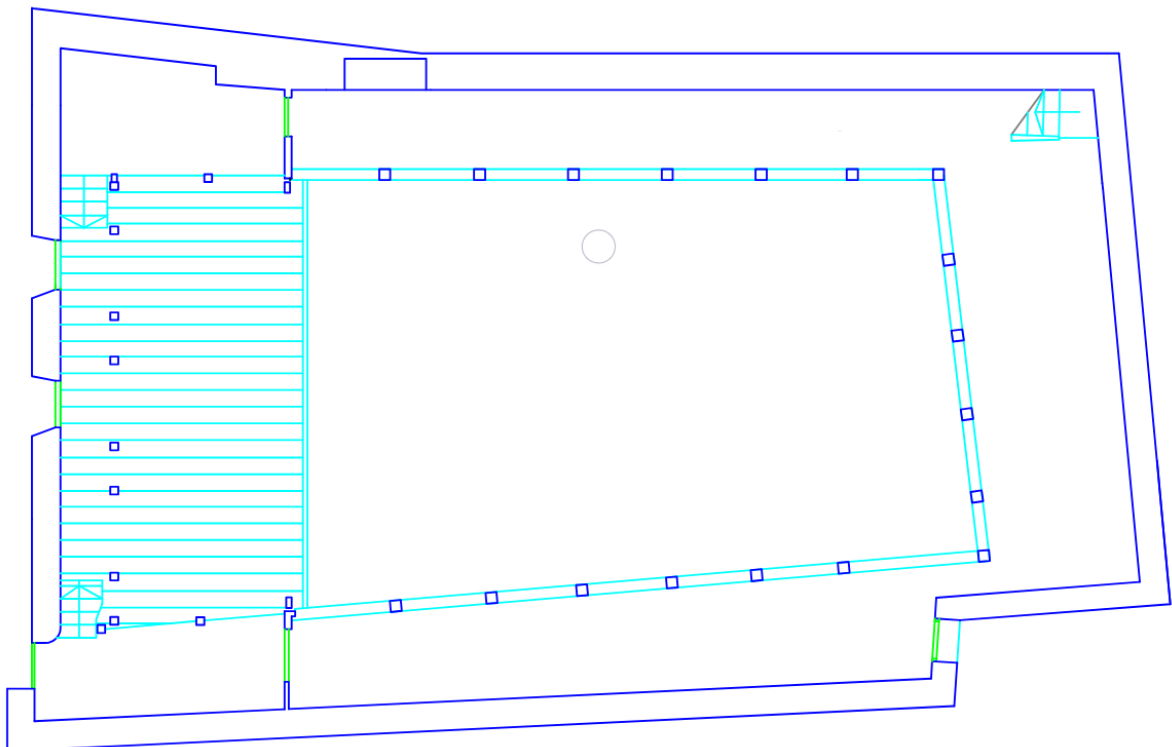


Figura 31. Plano simplificado de las plantas 1 y 2 del Corral de Comedias

6.2. SKETCH UP

Una vez se tienen los planos simplificados en AutoCAD, se exportan a SketchUp para levantar el modelo tridimensional del Corral. Como el Corral no es simétrico se debe levantar en su totalidad, empezando por la planta baja, luego las plantas 1 y 2 y finalmente la caja acústica (escenario y sótano).

En la *Figura 32* se pueden observar los primeros pasos del modelo, la construcción de columnas de madera, base de piedra sobre la que se encuentran las columnas y el pozo que se encuentra en la entrada. Las superficies en azul se corresponden con las caras que dan al interior de la sala y las blancas las que dan al exterior.

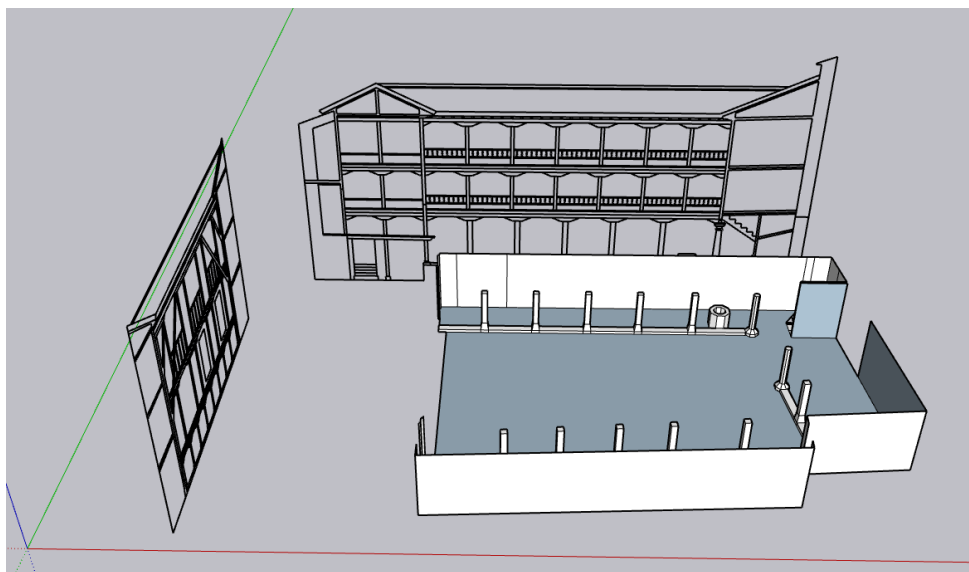


Figura 32. Comienzo del modelo en SketchUp

En la *Figura 33* se muestra el modelado de la planta baja del Corral, se han levantado las columnas de madera, los pilares de piedra y las vigas de madera y forjados que van a conectar con la siguiente planta.

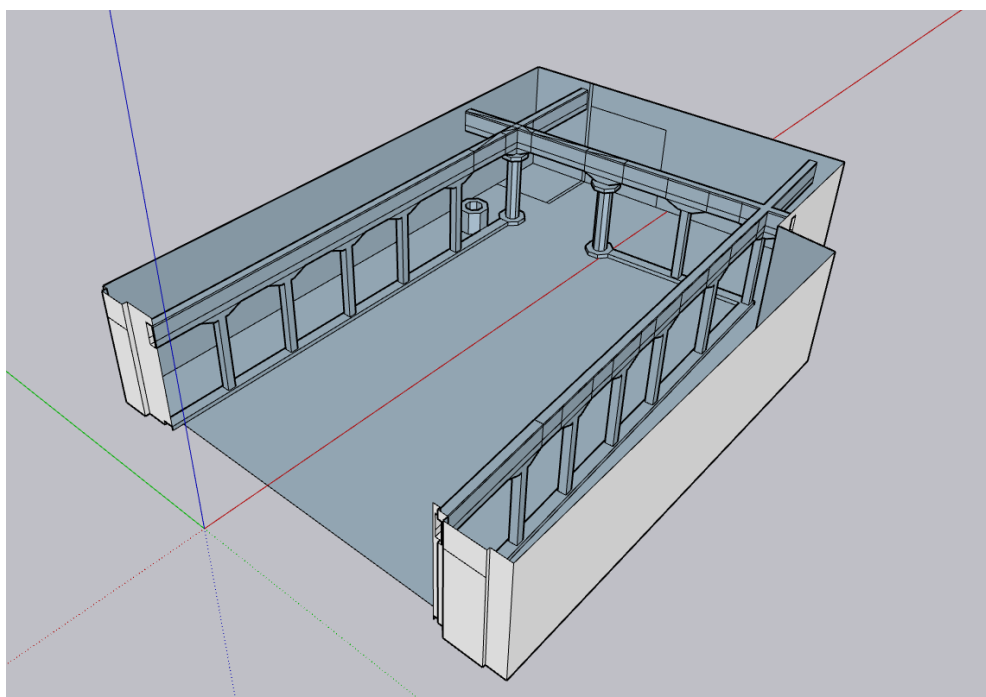


Figura 33. Modelado de la planta baja en SketchUp

En la Figura 34 se muestra levantada la primera planta del Corral, se han construido las columnas de madera correspondientes a esta planta, los suelos, forjados y vigas de madera, además se han empezado a añadir las barandillas como elementos de doble cara.

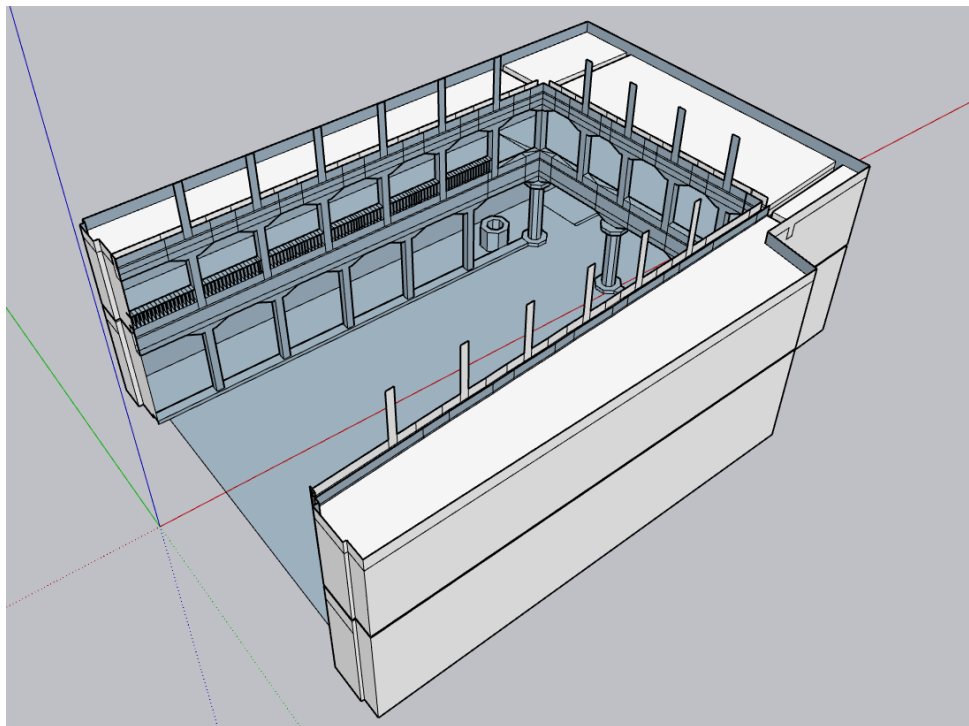


Figura 34. Modelado de la planta 1 en SketchUp

En la Figura 35 se observa que ya están modeladas las tres plantas del modelo, baja, primera y segunda. Una vez terminadas las plantas, de debe construir el techo con el tejado y seguidamente se inicia la construcción del escenario y sótano.

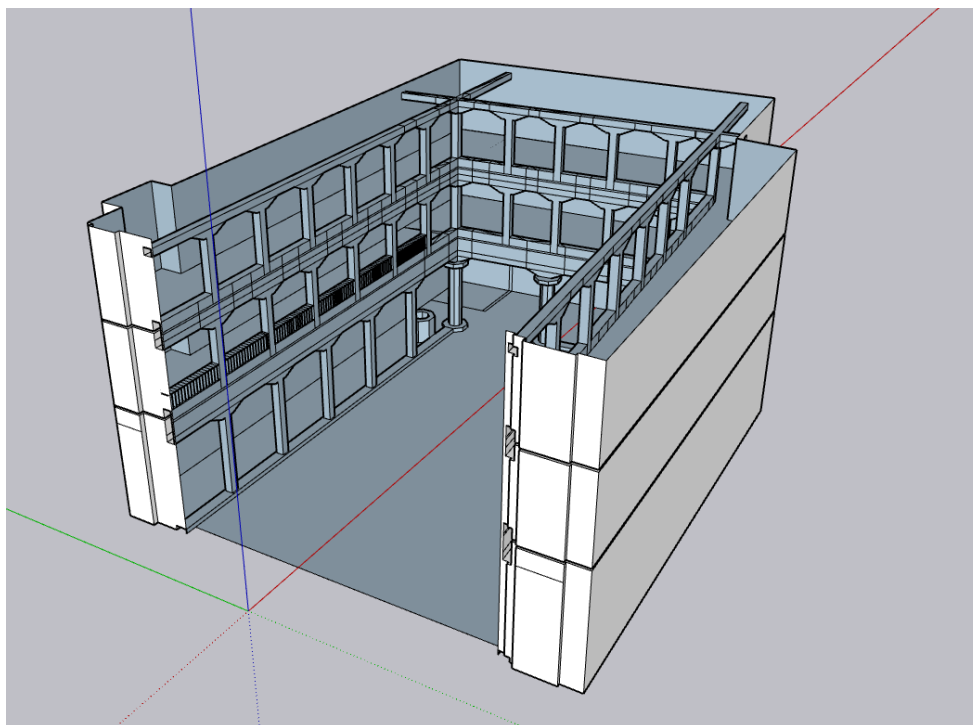


Figura 35. Modelado de la planta 2 en SketchUp

En la *Figura 36* se aprecia la construcción del sótano que está situado bajo el escenario, formando la caja escénica. Las escaleras del modelo han sido modeladas como rampas por comodidad del diseño, pero esta forma no afecta a la hora de simular el modelo en EASE.

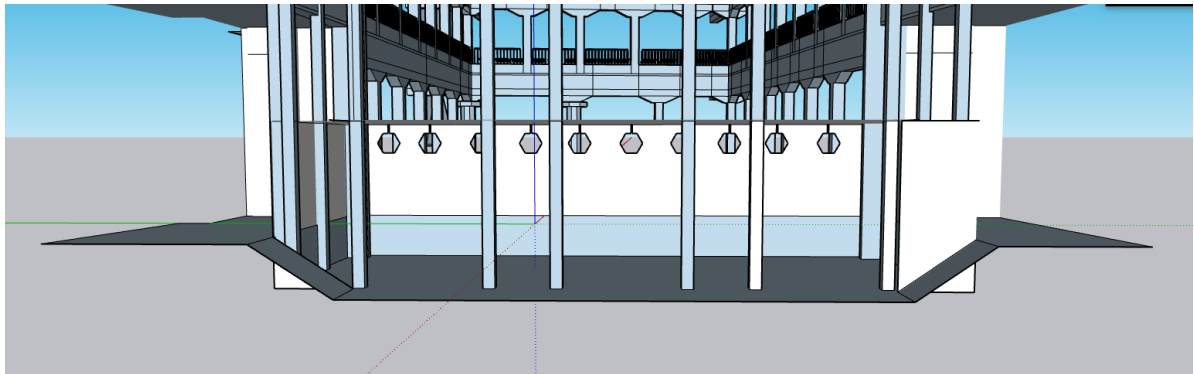


Figura 36. Modelado del sótano en SketchUp

En la *Figura 37* se muestra el modelado del escenario. En él se pueden apreciar unas aberturas de forma hexagonal que representan la celosía que hay en el modelo real.

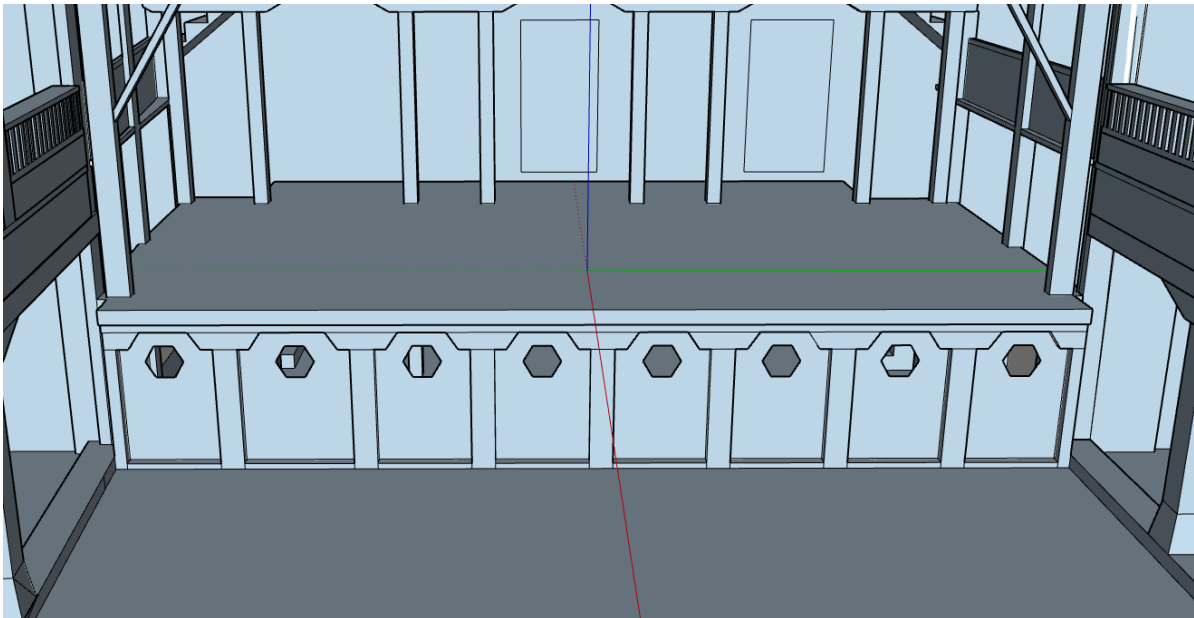


Figura 37. Modelado del escenario en SketchUp

El modelo se va creando con capas de los diferentes materiales que componen el modelo, a estos materiales o capas se les asigna un color que se asemeje al real.

En las *Figuras 38 y 39* se observa el modelo con las capas de materiales asignadas, se han construido todas las barandillas, vigas y tejados que faltaban para terminar el modelo. Por último, se han colocado los asientos, que, al ser sillas de madera y no butacas, no tienen un respaldo absorbente, por tanto, se han colocado planchas absorbentes simulando únicamente el asiento. Las escaleras que unen los pisos se han construido a modo de rampa, como en el caso del sótano (*Figura 36*), por comodidad del modelado ya que esta decisión arquitectónica no afecta en la simulación acústica.



Figura 38. Modelo del Corral visto desde dentro

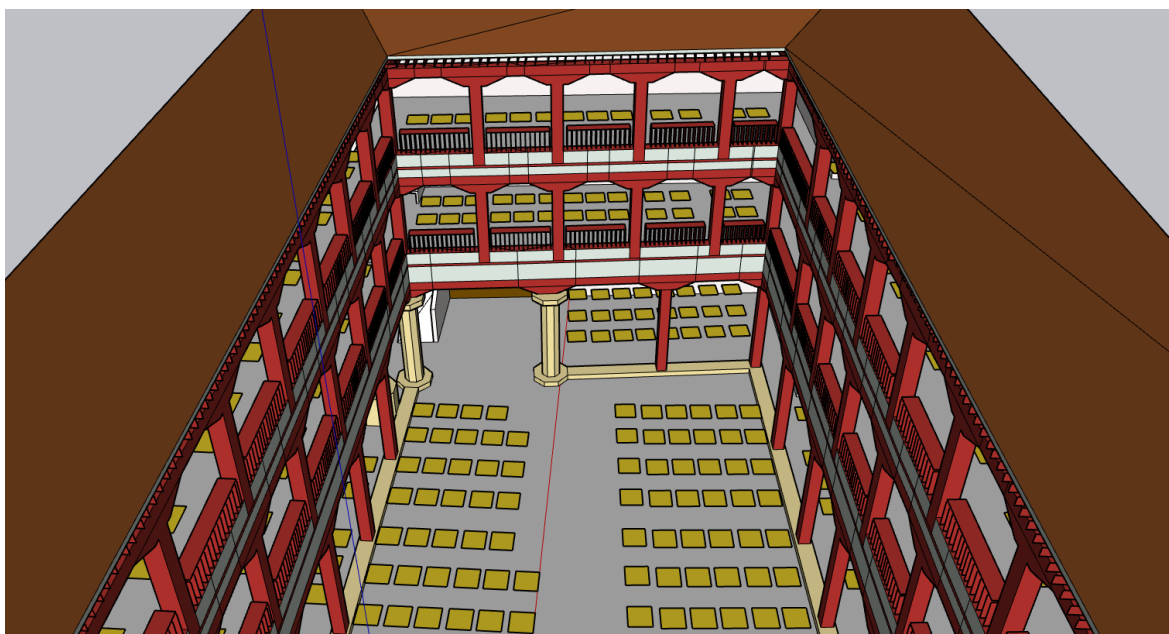


Figura 39. Modelo del Corral vista aérea

En las Figuras 40, 41 y 42 se muestra en diferentes vistas el modelo del Corral de Comedias de Almagro terminado, con sus capas correspondientes. Para que el recinto sea compatible con la simulación del programa EASE, debe ser considerado como un volumen y un bloque únicos. En *SketchUp* no pueden quedarse grupos separados de elementos, el modelo debe ser un solo elemento. No pueden existir volúmenes cerrados dentro de la sala, por lo que, en el caso de la celosía del escenario, se ha tenido que simplificar en hexágonos unidos por uno de sus lados con la parte superior del escenario.



Figura 40. Vista de perfil del modelo del Corral de Comedias en SketchUp

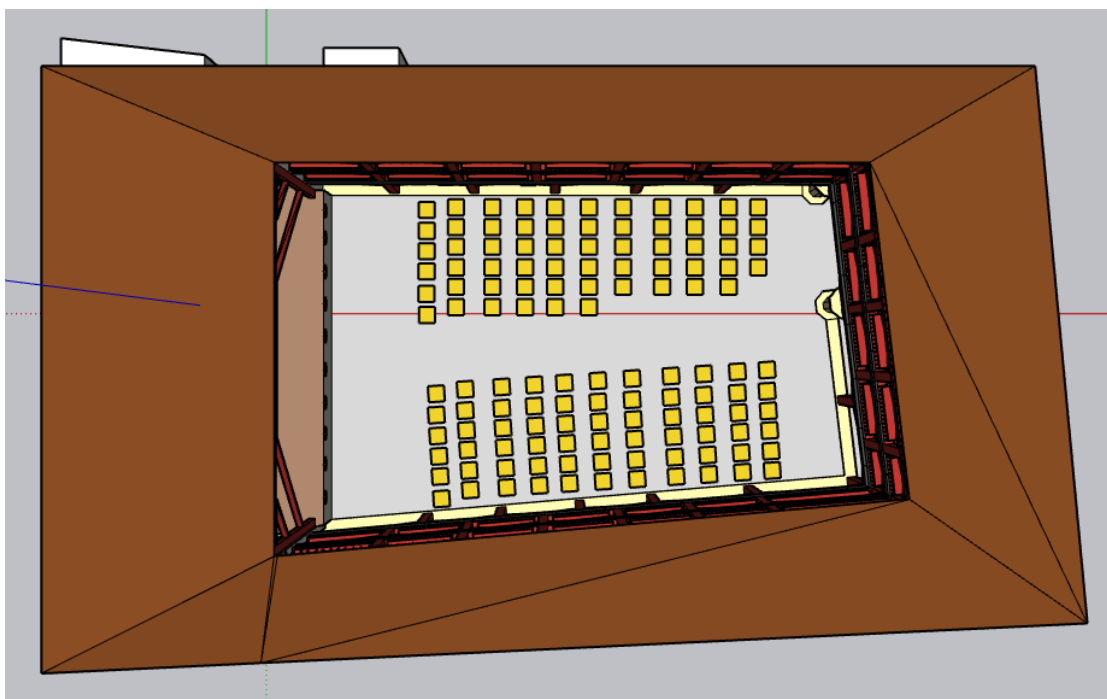


Figura 41. Vista de la planta del modelo del Corral de Comedias en SketchUp

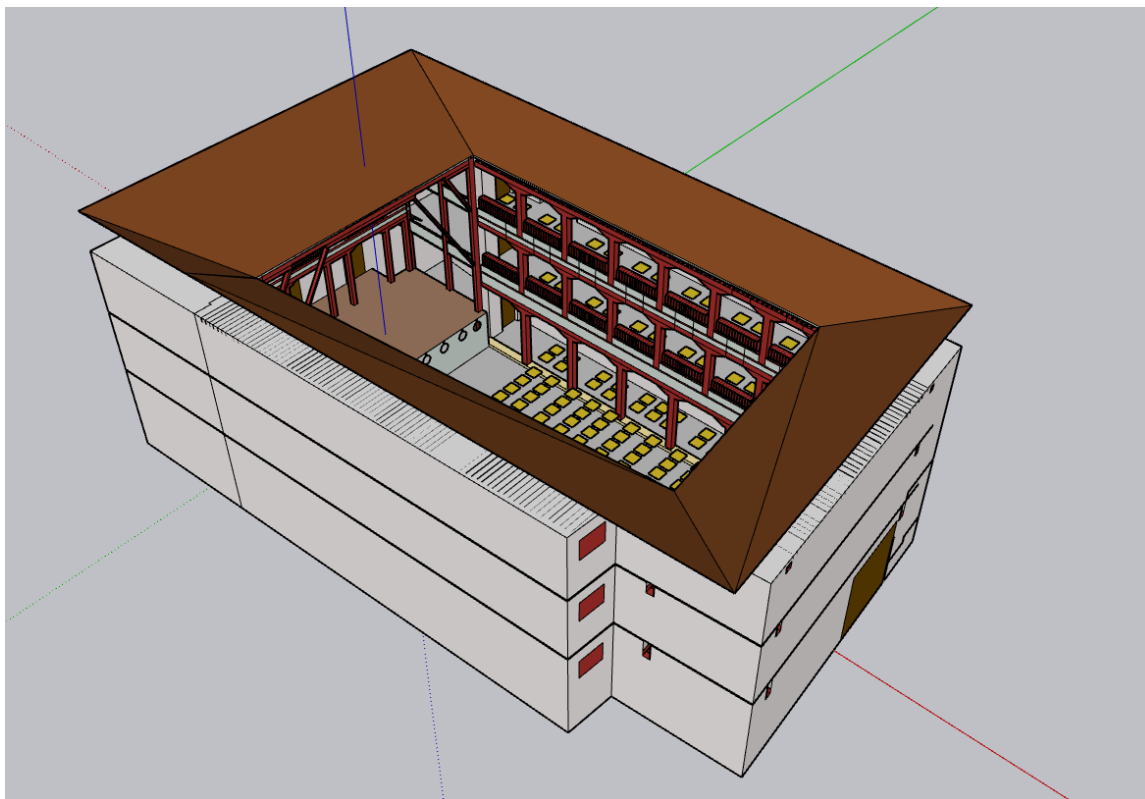


Figura 42. Vista isométrica del Corral de Comedias en SketchUp

Las sillas y barandillas se han colocado como elementos flotantes de doble cara, no poseen un volumen cerrado (Figura 43).

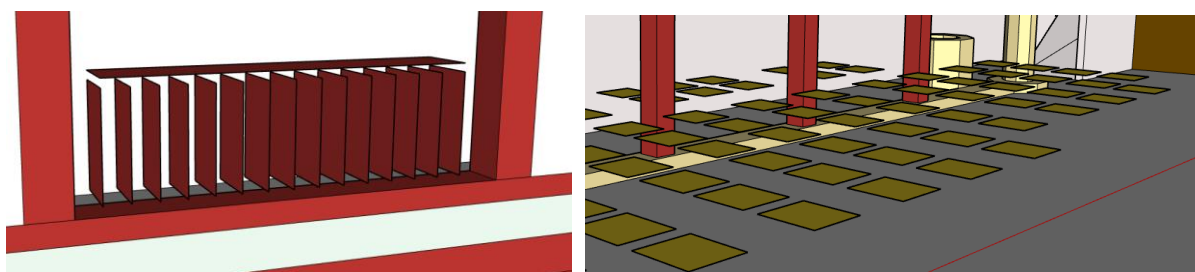


Figura 43. Elementos de doble cara en el modelo. Izq. Barandillas. Dcha. Asientos

Como se necesita un volumen cerrado para la simulación en el programa EASE y el Corral de Comedias es un recinto abierto, se ha colocado una tapa para cerrar el techo (Figura 44).

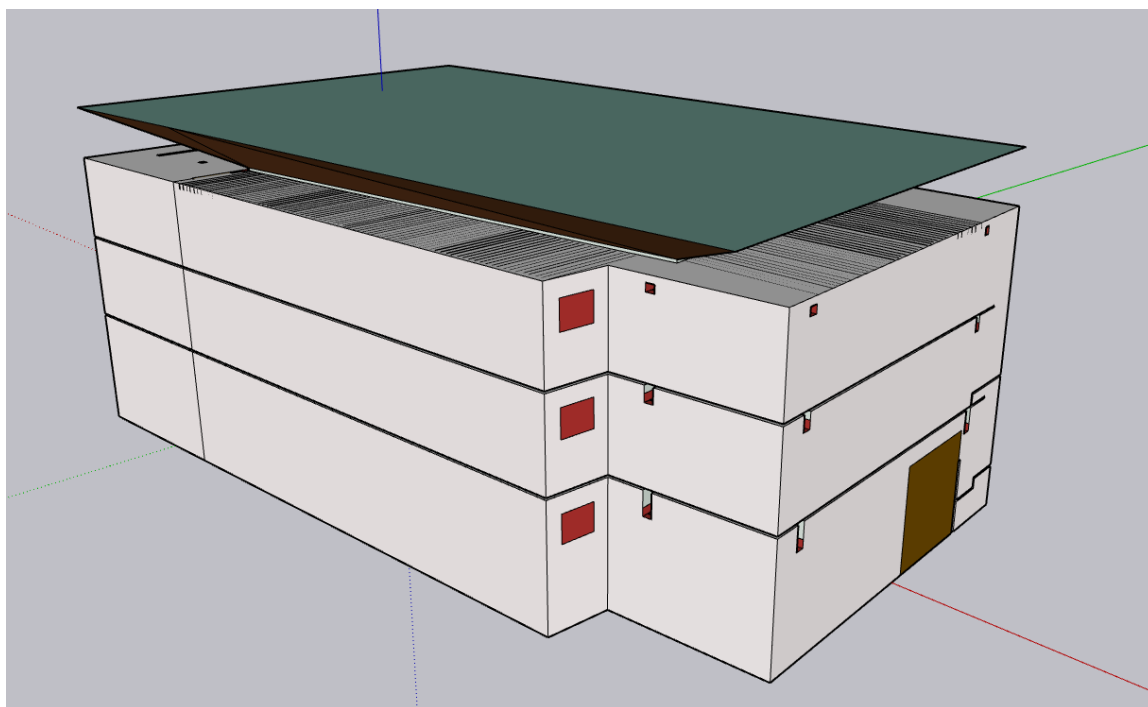


Figura 44. Vista isométrica del modelo del Corral de Comedias con tapa

Mediante la herramienta de *SketchUp*, *Solid Inspector* se va a comprobar que se trata de un modelo con un volumen cerrado. La herramienta *Solid Inspector* detecta si existen agujeros en el modelo o si hay caras invertidas. Algunos de estos fallos se corrigen de forma automática con la propia herramienta, pero en algunos casos no es capaz de hacer esta corrección y es necesario corregirlos a mano.

En la *Figura 45* se observa el modelo con la herramienta *Solid Inspector* activada. En rojo aparecen los fallos que detecta el programa, en la ventana emergente se muestra qué tipo de error son esas líneas rojas marcadas sobre el modelo. Los errores: *Surface Borders* (898), *Internal Face Edges* (163) y *Nested Instances* (279) hacen referencia a todos aquellos elementos de doble cara que están en el modelo, por tanto, no deben ser considerados como errores a la hora de trasladar el modelo a EASE.



Figura 45. Modelo del Corral en SketchUp con herramienta Solid Inspector

Los errores *Stray Edges* (19) si son errores de se deben arreglar, hacen referencia a algunos bordes del modelo mal diseñados y se pueden arreglar de forma automática con el botón *Fix* que aparece a la derecha de la ventana emergente.

Las capas de materiales utilizadas en el modelado de SketchUp se van a trasladar como materiales también cuando se exporte el modelo al programa EASE para la simulación. En la *Figura 46* se muestra el listado de las diferentes capas asignadas en el modelo. A los elementos de doble cara se les designa con una nomenclatura especial, se les añade el símbolo \$, que posteriormente será interpretado por EASE como superficies de doble cara y no generará problemas en el modelo.

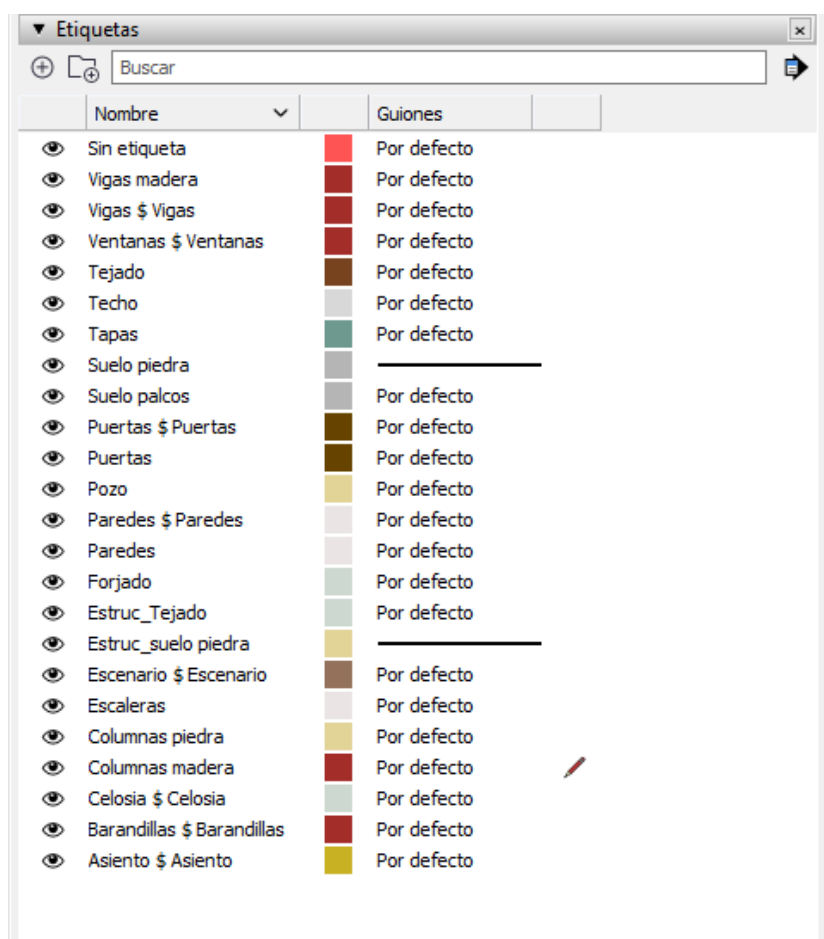


Figura 46. Capas de materiales asignados en SketchUp

Los colores escogidos para cada capa tienen la intención de parecerse lo máximo posible a los colores de los materiales del recinto real.

A continuación, en las siguientes figuras se van a comparar imágenes reales del Corral con su recreación en el modelo de *SketchUp*.



Figura 47. Vista desde el escenario del Corral de Comedias. Izq. Real. Drcha. Modelo (Producción propia)

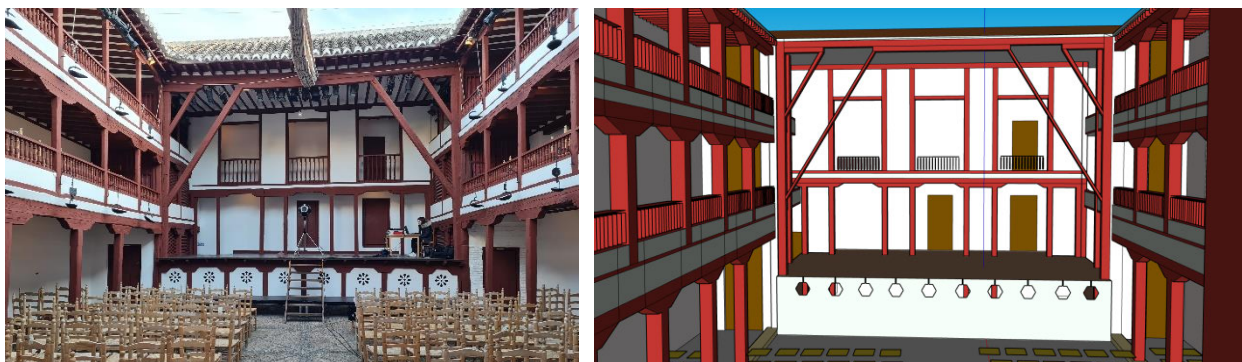


Figura 48. Vista desde la entrada del Corral de Comedias. Izq. Real. Drcha. Modelo (Producción propia)

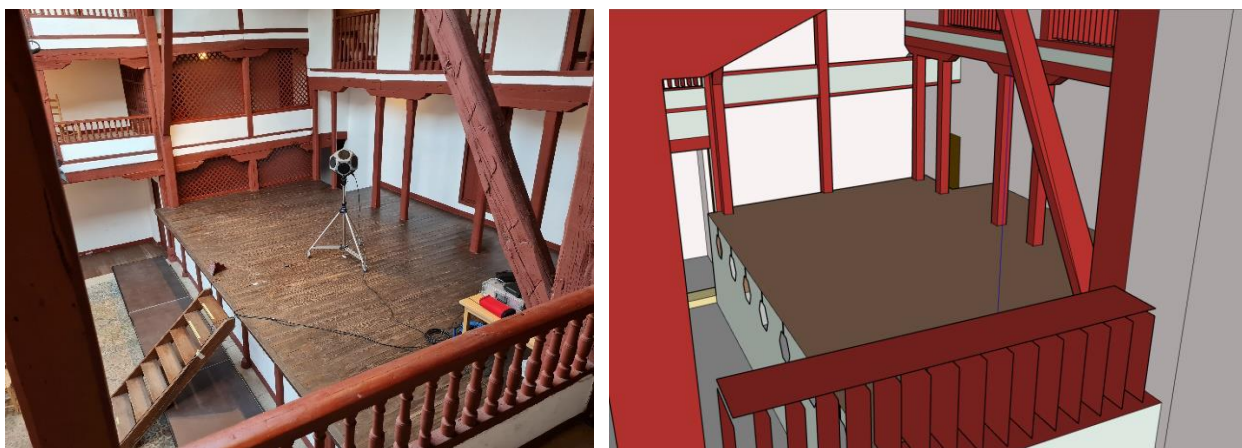


Figura 49. Vista desde uno de los palcos del Corral de Comedias. Izq. Real. Drcha. Modelo (Producción propia)

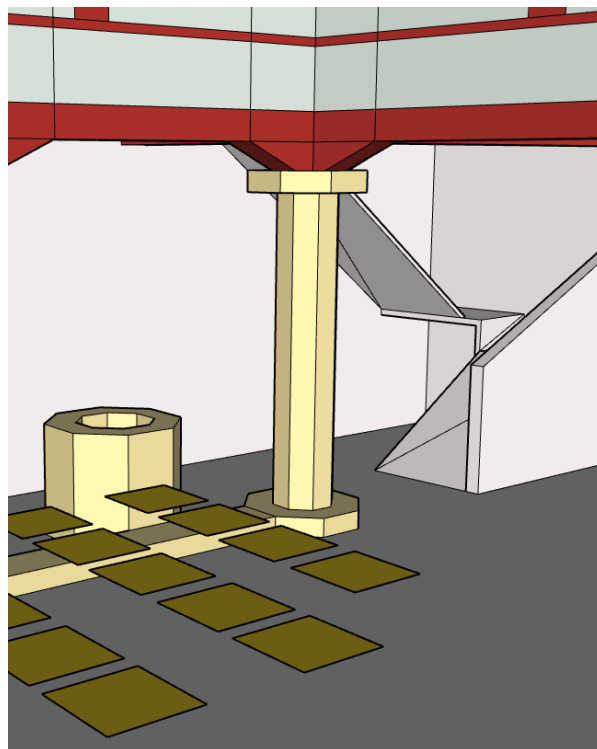


Figura 50. Vista de pozo y pilar de piedra. Izq. Real. Drcha. Modelo (Producción propia)

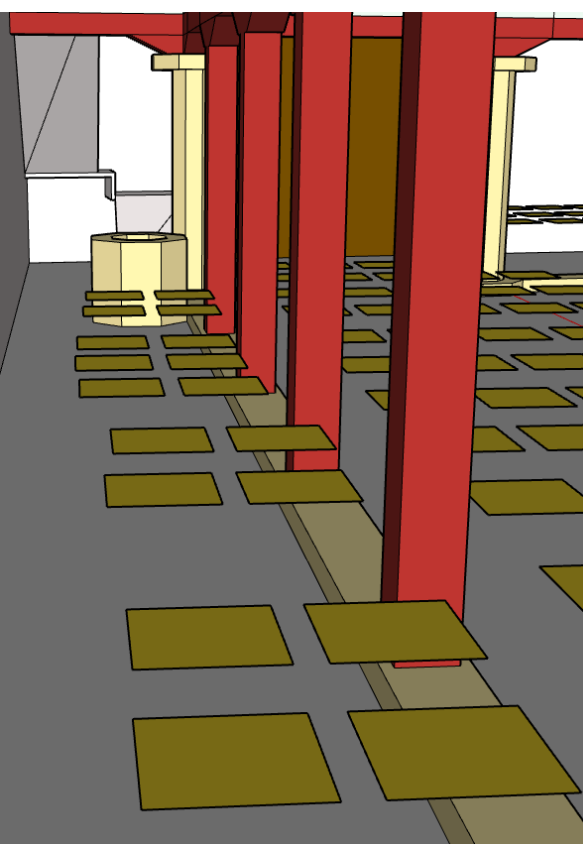


Figura 51. Vista de los palcos de la planta baja. Izq. Real. Drcha. Modelo (Producción propia)

7. CONFIGURACIÓN DEL MODELO EN EASE

En este apartado se va a explicar cómo realizar la validación acústica del modelo mediante el software de simulación EASE.

En primer lugar, partiendo del modelo tridimensional de *SketchUp*, se exporta el proyecto en versión 7. Esta versión de *SketchUp* permite que el modelo se ajuste al software EASE cuando se realice la importación. Al importar el modelo en EASE (opción *Import/Export*) lo primero que encontramos es una ventana emergente en la cual se deben asignar materiales a cada una de las capas configuradas en *SketchUp*. Los materiales asignados están sacados de una base de datos de materiales genéricos utilizados en proyectos similares.

La asignación de materiales se hace de forma aproximada, ajustando los materiales disponibles en la base de datos con los materiales reales. En la *Figura 52* se muestra la asociación entre los materiales reales y las capas de materiales importadas de *SketchUp*.

Required Wall Materials		Required Wall Materials	
Import Layer Name	Assigned EASE Material	Import Layer Name	Assigned EASE Material
Asiento	MTSEAT WD	Estruc_Tejado	002 à = 20%
Barandillas	182 Revestimiento de madera ligero	Forjado	063 Revoque de cemento
Celosia	186 Paneles de madera con cámara de aire	Paredes	060 Concrete or Cinder Block Smooth Face, Generic
Columnas madera	183 Revestimiento de madera pesado	Pozo	390 Marble, Generic
Columnas piedra	390 Marble, Generic	Puertas	330 Door, Hollow Core, Wood, Generic
Escaleras	335 Terrazo	Suelo palcos	335 Terrazo
Escenario	195 Plataforma de madera	Suelo piedra	334 Suelo de tierra o arena
Estruc_suelo piedra	390 Marble, Generic	Tapas	182 Revestimiento de madera ligero
Estruc_Tejado	002 à = 20%	Techo	061 Concrete or Cinder Block, Painted, Generic
Forjado	063 Revoque de cemento	Tejado	TILE, GLAZD
Paredes	060 Concrete or Cinder Block Smooth Face, Generic	Ventanas	360 ventana cristal doble Glass, Window, Double Strength, Gen
Pozo	390 Marble, Generic	Vigas	181 Revestimiento de madera 2
Puertas	330 Door, Hollow Core, Wood, Generic	Vigas madera	183 Revestimiento de madera pesado
Assign from List Assign from File		Assign from List Assign from File	

Figura 52. Asociación de capas de SketchUp con materiales de base de datos

Una vez terminada la asignación inicial de materiales, se mostrará una nueva ventana emergente, que va a mostrar el recinto en versión de EASE, en la que se muestran las aristas de las caras y su asociación con cada una de las capas. Una vez se visualiza el modelo de forma correcta, se crea un proyecto que contiene la sala modelada.

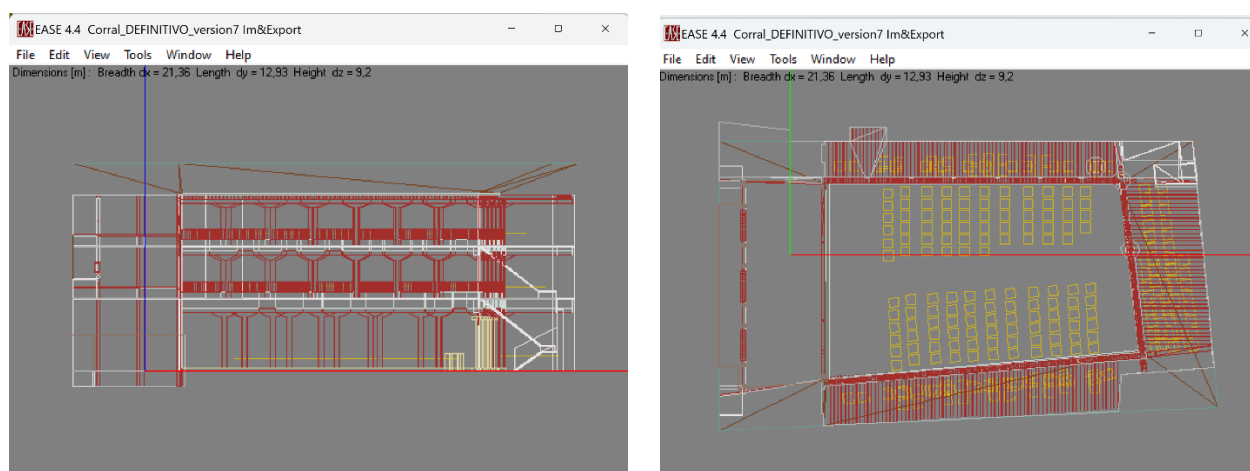


Figura 53. Vistas de perfil (Izq.) y planta (Dcha.) del modelo del Corral en EASE

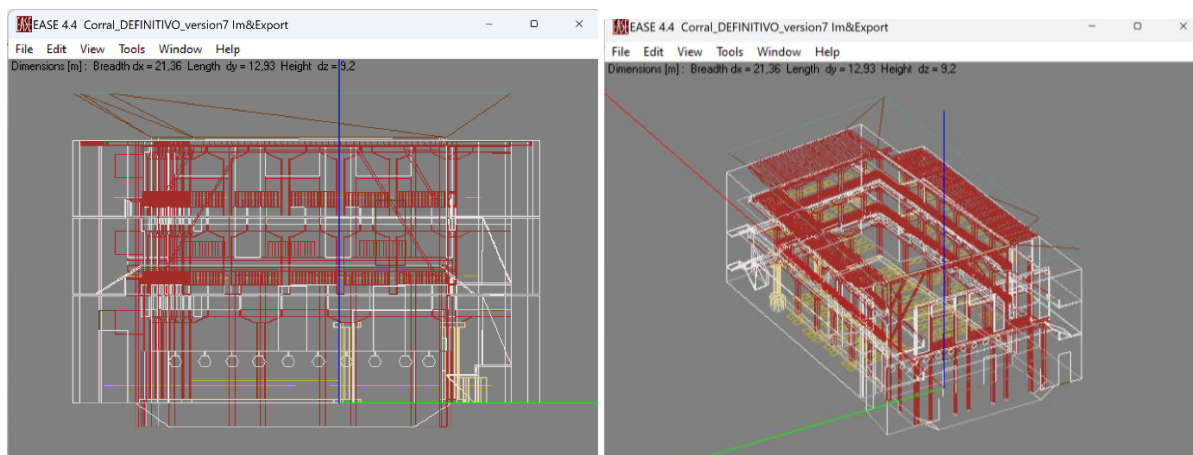


Figura 54. Vistas de alzado (Izq.) e isométrica (Drcha.) del modelo del Corral en EASE

Dentro del proyecto recién creado, *Edit -> Room Data*, desactivamos la opción de *Room Open*, para que el programa pueda detectar “agujeros” en el recinto antes de empezar con la simulación. Para hacer la comprobación general del proyecto se utiliza la opción *Check Data*, que va a detectar si existen errores en el proyecto, en el caso de que haya saldrán mensajes emergentes avisando de la revisión de estos errores.

Para la comprobación de “agujeros”, superficies abiertas, se utiliza la opción *Check Holes* que va a mostrar los errores detectados en las superficies que estén abiertas, indicando aristas y vértices que se deben modificar para arreglar las superficies. Además de estas superficies abiertas, EASE también va a detectar las caras que se encuentren invertidas.

Como ya se había pasado la herramienta *Solid Inspector* en *SketchUp*, al pasar la opción *Check Holes* no se muestran errores significativos en el modelo, por tanto, se corrigen algunas caras que estaban invertidas o que necesitaban ser asignadas como material de doble cara y al pasar de nuevo la herramienta ya no se muestra ningún error.

Una vez se ha comprobado que la sala no tiene agujeros se realiza el trazado de rayos. El trazado de rayos es un proceso por el cual una fuente sonora colocada en el recinto emite rayos acústicos en todas direcciones de forma aleatoria. El programa devuelve la información del camino recorrido por cada rayo en cada una de sus reflexiones. Esta herramienta permite comprobar que no se escapan rayos del recinto. En EASE, se coloca una fuente omnidireccional en la posición en que la que se sitúa la fuente real (F01), y se activa la opción *EASE Rays -> Ray Tracing*.

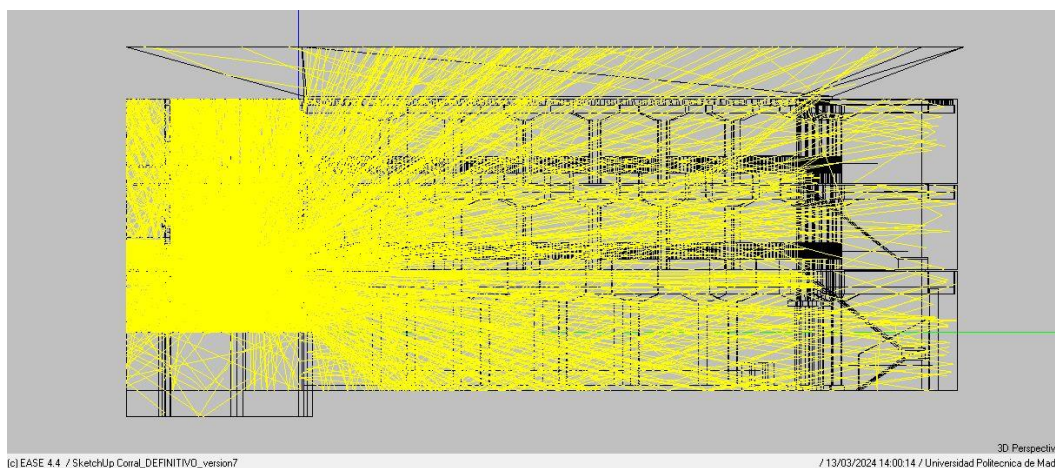


Figura 55. Ray Tracing del Corral de Comedias de Almagro. Vista de perfil

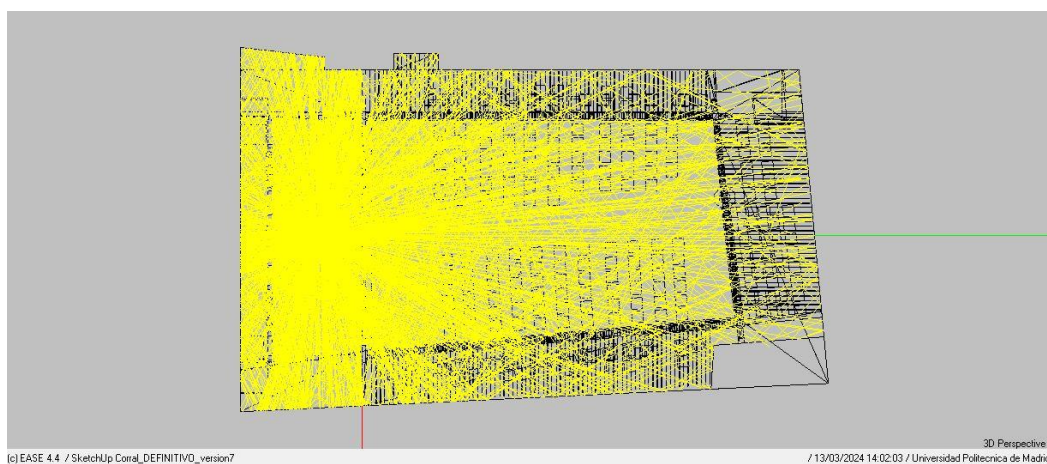


Figura 56. Ray Tracing del Corral de Comedias de Almagro. Vista de la planta

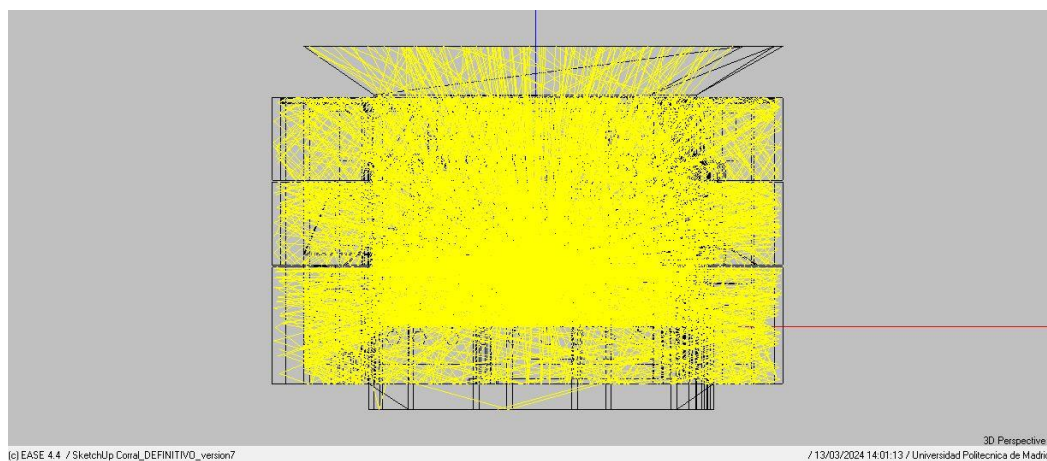


Figura 57. Ray Tracing del Corral de Comedias de Almagro. Vista del alzado

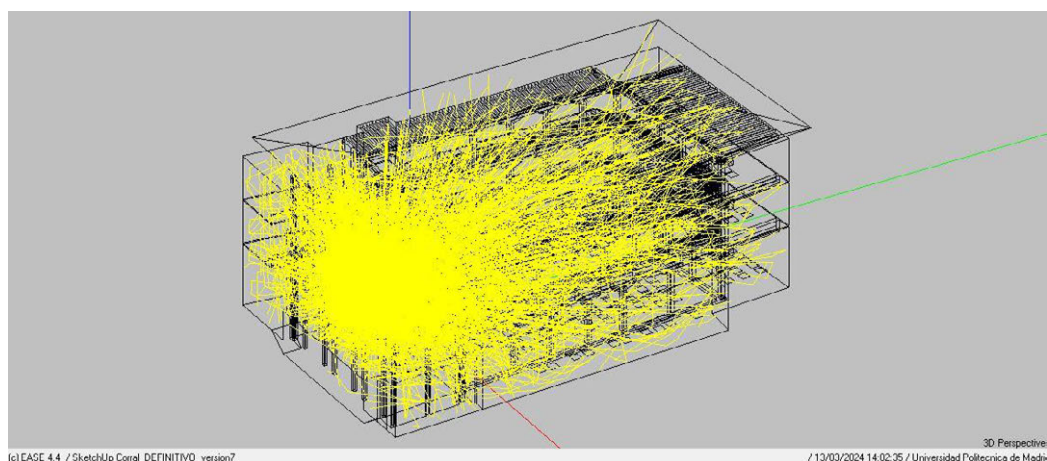


Figura 58. Ray Tracing del Corral de Comedias de Almagro. Vista isométrica

8. PROCESADO DE DATOS

El procesado de datos se puede hacer de forma paralela a los apartados anteriores (6 y 7), ya que son necesarios los datos obtenidos de las medidas *in situ*.

Los datos obtenidos en las medidas *in situ*, se recogen y clasifican en un fichero *Excel* para facilitar su comprensión. Las medidas que recoge el software *DIRAC* se exportan a un fichero de texto, posteriormente ese fichero de texto se pasa a formato *Excel* para su tratamiento.

En este fichero *Excel* se filtran los datos por parámetro acústico, fuente, posición de micrófono, tipo de banda de frecuencia, canal, zona, etc. Cada uno de los parámetros acústicos a su vez es trasladado a una nueva hoja de cálculo para su procesado (*Figura 59* y *Figura 60*).

Medida	Fuente	Micro	Frecuencia	Canal	Punto	Zona	Directorio	31.5	63	125	250
EDT [s]	F01	MST01	Octavas	1	F01MST01	Escenario	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Escenario\F01MST01_1.wav	1,602	1,308	1,328	0,789
EDT [s]	F01	MST01	Octavas	1	F01MST01	Escenario	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Escenario\F01MST01_2.wav	1,655	1,308	1,35	0,801
EDT [s]	F01	MST02	Octavas	1	F01MST02	Escenario	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Escenario\F01MST02_1.wav	1,865	1,512	1,249	1,08
EDT [s]	F01	MST02	Octavas	1	F01MST02	Escenario	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Escenario\F01MST02_2.wav	1,597	1,516	1,227	1,087
EDT [s]	F01	M01	Octavas	1	F01M01	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M01_1.wav	0,963	1,655	1,729	1,246
EDT [s]	F01	M01	Octavas	1	F01M01	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M01_2.wav	0,947	1,645	1,726	1,237
EDT [s]	F01	M02	Octavas	1	F01M02	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M02_1.wav	1,417	1,546	1,865	1,307
EDT [s]	F01	M02	Octavas	1	F01M02	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M02_2.wav	1,28	1,522	1,879	1,208
EDT [s]	F01	M03	Octavas	1	F01M03	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M03_1.wav	1,494	1,454	1,464	1,241
EDT [s]	F01	M03	Octavas	1	F01M03	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M03_2.wav	1,428	1,468	1,44	1,231
EDT [s]	F01	M04	Octavas	1	F01M04	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M04_1.wav	1,338	1,582	1,403	0,975
EDT [s]	F01	M04	Octavas	1	F01M04	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M04_2.wav	1,323	1,573	1,394	0,982
EDT [s]	F01	M05	Octavas	1	F01M05	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M05_1.wav	1,933	1,566	1,555	1,439
EDT [s]	F01	M05	Octavas	1	F01M05	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M05_2.wav	1,904	1,581	1,586	1,396
EDT [s]	F01	M06	Octavas	1	F01M06	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M06_1.wav	1,349	1,316	1,161	1,42
EDT [s]	F01	M06	Octavas	1	F01M06	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M06_2.wav	1,305	1,323	1,104	1,459
EDT [s]	F01	M07	Octavas	1	F01M07	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M07_1.wav	1,243	1,588	1,15	1,177
EDT [s]	F01	M07	Octavas	1	F01M07	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M07_2.wav	1,173	1,615	1,167	1,165
EDT [s]	F01	M08	Octavas	1	F01M08	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M08_1.wav	1,909	2,136	1,439	1,036
EDT [s]	F01	M08	Octavas	1	F01M08	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M08_2.wav	2,272	2,452	1,042	
EDT [s]	F01	M09	Octavas	1	F01M09	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M09_1.wav	1,375	1,127	1,667	1,581
EDT [s]	F01	M09	Octavas	1	F01M09	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M09_2.wav	1,394	1,143	1,693	1,599
EDT [s]	F01	M10	Octavas	1	F01M10	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M10_1.wav	2,016	1,826	1,399	1,011
EDT [s]	F01	M10	Octavas	1	F01M10	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M10_2.wav	1,942	1,805	1,41	1,032
EDT [s]	F01	M11	Octavas	1	F01M11	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M11_1.wav	1,855	1,704	1,566	1,538
EDT [s]	F01	M11	Octavas	1	F01M11	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M11_2.wav	1,878	1,64	1,57	1,492
EDT [s]	F01	M12	Octavas	1	F01M12	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M12_1.wav	1,439	1,547	1,698	1,288
EDT [s]	F01	M12	Octavas	1	F01M12	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M12_2.wav	1,467	1,555	1,707	1,274
EDT [s]	F01	M13	Octavas	1	F01M13	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M13_1.wav	1,61	1,143	1,852	1,326
EDT [s]	F01	M13	Octavas	1	F01M13	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M13_2.wav	1,734	1,143	1,866	1,322
EDT [s]	F01	M14	Octavas	1	F01M14	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M14_1.wav	1,832	1,193	1,532	1,108
EDT [s]	F01	M14	Octavas	1	F01M14	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M14_2.wav	1,716	1,199	1,511	1,098
EDT [s]	F01	M15	Octavas	1	F01M15	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M15_1.wav	1,428	2,152	1,401	1,263
EDT [s]	F01	M15	Octavas	1	F01M15	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M15_2.wav	1,392	2,163	1,359	1,361
EDT [s]	F01	M16	Octavas	1	F01M16	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M16_1.wav	1,326	1,25	1,751	1,652
EDT [s]	F01	M16	Octavas	1	F01M16	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M16_2.wav	1,326	1,226	1,74	1,664
EDT [s]	F01	M17	Octavas	1	F01M17	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M17_1.wav	1,071	1,18	1,381	1,206
EDT [s]	F01	M17	Octavas	1	F01M17	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01M17_2.wav	1,058	1,183	1,371	1,199
EDT [s]	F01	ME01	Octavas	1	F01ME01	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01ME01_1.wav	1,497	1,618	1,598	1,343
EDT [s]	F01	ME01	Octavas	1	F01ME01	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01ME01_2.wav	1,294	1,634	1,624	1,34
EDT [s]	F01	ME02	Octavas	1	F01ME02	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01ME02_1.wav	1,568	1,576	1,781	1,191
EDT [s]	F01	ME02	Octavas	1	F01ME02	Planta 0	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta0\F01ME02_2.wav	1,176	1,584	1,743	1,207
EDT [s]	F01	M18	Octavas	1	F01M18	Planta 1	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta1\F01M18_1.wav	0,757	1,892	1,295	1,114
EDT [s]	F01	M18	Octavas	1	F01M18	Planta 1	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta1\F01M18_2.wav		1,328	1,318	1,059
EDT [s]	F01	M19	Octavas	1	F01M19	Planta 1	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta1\F01M19_1.wav	1,382	1,501	1,267	0,821
EDT [s]	F01	M19	Octavas	1	F01M19	Planta 1	C:\Users\Juanjo\Desktop\Corral de Comedias Almagro\Planta1\F01M19_2.wav	1,551	1,484	1,27	0,847

Figura 59. Filtrado de datos en Excel

Info_Posiciones	Octavas	EDT	C20	C30	C50	C80	D50	D80	ER	Grel	INR	PNR	RT	SNR
-----------------	---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	------	-----	-----	----	-----

Figura 60. Diferentes hojas de cálculo de los parámetros acústicos

La clasificación y procesado de estos parámetros se hace tanto en las bandas de frecuencia de octavas como en tercios de octava, aunque para la validación del modelo se va a trabajar con las bandas de frecuencia de tercio de octava. La información requerida a las bandas de octava se puede consultar en el estudio acústico, según la norma UNE EN ISO 3382, que se encuentra en el Anexo 2.

8.1. CRITERIOS DE PROCESAMIENTO

Para el procesado de los diferentes parámetros acústicos se establecen dos criterios: el primero basado en la máscara de INR (*Impulse to Noise Ratio*) y el segundo basado en el criterio estadístico de Chauvenet [5]. Ambos criterios se van a aplicar tanto en los parámetros acústicos de las bandas de frecuencia de

octavas como en los de tercio de octava, aunque para la validación solo se trabaje con los tercios de octava, como ya se ha dicho con anterioridad.

El criterio basado en la máscara de INR es el primero que debe aplicarse. Se crea una máscara que filtra aquellos datos cuyo INR no supere los 35 dB. En la hoja de cálculo donde tenemos el parámetro INR, se añade una condición por celda para que compare el valor con 35 dB y si es menor, la celda correspondiente elimina el valor y rellena la celda de color rojo (*Figura 61*). El hecho de que este primer filtrado afecte a las bandas de frecuencia inferiores a 50 Hz y superiores a 10 kHz es debido a la configuración de la fuente dodecaédrica que cuenta con altavoces de 5" y que su rango útil de frecuencias no comprende esos márgenes y no es capaz de excitar el recinto con suficiente energía.

Tabla 11. Resumen de resultados obtenidos con la máscara de INR

Muestras totales	2296
Muestras válidas	1843
Muestras descartadas	453
% Muestras descartadas	19,73%

Tras la utilización de la máscara, obtenemos que el porcentaje de muestras descartadas es de 19,73%, aunque de forma muy ajustada, se cumple la condición de no superar el 20% de las muestras totales, por tanto, podemos decir que tenemos unos valores válidos.

En segundo lugar, tras obtener los resultados por el criterio de la máscara de INR, se va a aplicar el criterio estadístico de *Chauvenet*. Con este criterio se eliminan los valores que se consideran estadísticamente no representativos del parámetro (tienen un valor muy alejado del valor promedio - también denominados “outlayers”).

Se hace una comparación entre el valor de una medida con el valor promedio y una constante que va a depender del número de medidas válidas y que multiplica la desviación estándar.

$$|\bar{x} - x_i| > k_n \cdot \sigma \quad (16)$$

$$k_n = 0,3704 \cdot \ln(n) + 1,0693 \quad (17)$$

n : Número de muestras aceptadas

σ : Desviación estándar de las medidas

Se realiza este criterio para cada parámetro. Tras calcular el promedio y la desviación estándar de todos los valores, se va a aplicar el método de Chauvenet. Este proceso se va a aplicar tantas veces como sea necesario para que después de la iteración no se elimine ninguna muestra. Hay que tener en cuenta que descartar demasiadas muestras puede afectar en la precisión de los resultados, por lo que vamos a iterar un máximo de 4 veces. Se establece que la medición de cada parámetro es correcta si el porcentaje de los valores descartados respecto del total de valores no supera el 3 %.

22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2.236	1.575	1.523	1.527	1.533	1.539	1.545	1.551	1.557	1.563	1.569	1.575	1.581	1.587	1.593	1.599	1.605	1.611	1.617	1.623	1.629	1.635	1.641	1.647	1.653	1.659	1.665	1.671	1.677	1.683	1.689	1.695	1.701	1.707	1.713	1.719	1.725	1.731	1.737	1.743	1.749	1.755	1.761	1.767	1.773	1.779	1.785	1.791	1.797	1.803	1.809	1.815	1.821	1.827	1.833	1.839	1.845	1.851	1.857	1.863	1.869	1.875	1.881	1.887	1.893	1.899	1.905	1.911	1.917	1.923	1.929	1.935	1.941	1.947	1.953	1.959	1.965	1.971	1.977	1.983	1.989	1.995	2.001	2.007	2.013	2.019	2.025	2.031	2.037	2.043	2.049	2.055	2.061	2.067	2.073	2.079	2.085	2.091	2.097	2.103	2.109	2.115	2.121	2.127	2.133	2.139	2.145	2.151	2.157	2.163	2.169	2.175	2.181	2.187	2.193	2.199	2.205	2.211	2.217	2.223	2.229	2.235	2.241	2.247	2.253	2.259	2.265	2.271	2.277	2.283	2.289	2.295	2.301	2.307	2.313	2.319	2.325	2.331	2.337	2.343	2.349	2.355	2.361	2.367	2.373	2.379	2.385	2.391	2.397	2.403	2.409	2.415	2.421	2.427	2.433	2.439	2.445	2.451	2.457	2.463	2.469	2.475	2.481	2.487	2.493	2.499	2.505	2.511	2.517	2.523	2.529	2.535	2.541	2.547	2.553	2.559	2.565	2.571	2.577	2.583	2.589	2.595	2.601	2.607	2.613	2.619	2.625	2.631	2.637	2.643	2.649	2.655	2.661	2.667	2.673	2.679	2.685	2.691	2.697	2.703	2.709	2.715	2.721	2.727	2.733	2.739	2.745	2.751	2.757	2.763	2.769	2.775	2.781	2.787	2.793	2.799	2.805	2.811	2.817	2.823	2.829	2.835	2.841	2.847	2.853	2.859	2.865	2.871	2.877	2.883	2.889	2.895	2.901	2.907	2.913	2.919	2.925	2.931	2.937	2.943	2.949	2.955	2.961	2.967	2.973	2.979	2.985	2.991	2.997	3.003	3.009	3.015	3.021	3.027	3.033	3.039	3.045	3.051	3.057	3.063	3.069	3.075	3.081	3.087	3.093	3.099	3.105	3.111	3.117	3.123	3.129	3.135	3.141	3.147	3.153	3.159	3.165	3.171	3.177	3.183	3.189	3.195	3.201	3.207	3.213	3.219	3.225	3.231	3.237	3.243	3.249	3.255	3.261	3.267	3.273	3.279	3.285	3.291	3.297	3.303	3.309	3.315	3.321	3.327	3.333	3.339	3.345	3.351	3.357	3.363	3.369	3.375	3.381	3.387	3.393	3.399	3.405	3.411	3.417	3.423	3.429	3.435	3.441	3.447	3.453	3.459	3.465	3.471	3.477	3.483	3.489	3.495	3.501	3.507	3.513	3.519	3.525	3.531	3.537	3.543	3.549	3.555	3.561	3.567	3.573	3.579	3.585	3.591	3.597	3.603	3.609	3.615	3.621	3.627	3.633	3.639	3.645	3.651	3.657	3.663	3.669	3.675	3.681	3.687	3.693	3.699	3.705	3.711	3.717	3.723	3.729	3.735	3.741	3.747	3.753	3.759	3.765	3.771	3.777	3.783	3.789	3.795	3.801	3.807	3.813	3.819	3.825	3.831	3.837	3.843	3.849	3.855	3.861	3.867	3.873	3.879	3.885	3.891	3.897	3.903	3.909	3.915	3.921	3.927	3.933	3.939	3.945	3.951	3.957	3.963	3.969	3.975	3.981	3.987	3.993	3.999	4.005	4.011	4.017	4.023	4.029	4.035	4.041	4.047	4.053	4.059	4.065	4.071	4.077	4.083	4.089	4.095	4.101	4.107	4.113	4.119	4.125	4.131	4.137	4.143	4.149	4.155	4.161	4.167	4.173	4.179	4.185	4.191	4.197	4.203	4.209	4.215	4.221	4.227	4.233	4.239	4.245	4.251	4.257	4.263	4.269	4.275	4.281	4.287	4.293	4.299	4.305	4.311	4.317	4.323	4.329	4.335	4.341	4.347	4.353	4.359	4.365	4.371	4.377	4.383	4.389	4.395	4.401	4.407	4.413	4.419	4.425	4.431	4.437	4.443	4.449	4.455	4.461	4.467	4.473	4.479	4.485	4.491	4.497	4.503	4.509	4.515	4.521	4.527	4.533	4.539	4.545	4.551	4.557	4.563	4.569	4.575	4.581	4.587	4.593	4.599	4.605	4.611	4.617	4.623	4.629	4.635	4.641	4.647	4.653	4.659	4.665	4.671	4.677	4.683	4.689	4.695	4.701	4.707	4.713	4.719	4.725	4.731	4.737	4.743	4.749	4.755	4.761	4.767	4.773	4.779	4.785	4.791	4.797	4.803	4.809	4.815	4.821	4.827	4.833	4.839	4.845	4.851	4.857	4.863	4.869	4.875	4.881	4.887	4.893	4.899	4.905	4.911	4.917	4.923	4.929	4.935	4.941	4.947	4.953	4.959	4.965	4.971	4.977	4.983	4.989	4.995	5.001	5.007	5.013	5.019	5.025	5.031	5.037	5.043	5.049	5.055	5.061	5.067	5.073	5.079	5.085	5.091	5.097	5.103	5.109	5.115	5.121	5.127	5.133	5.139	5.145	5.151	5.157	5.163	5.169	5.175	5.181	5.187	5.193	5.199	5.205	5.211	5.217	5.223	5.229	5.235	5.241	5.247	5.253	5.259	5.265	5.271	5.277	5.283	5.289	5.295	5.301	5.307	5.313	5.319	5.325	5.331	5.337	5.343	5.349	5.355	5.361	5.367	5.373	5.379	5.385	5.391	5.397	5.403	5.409	5.415	5.421	5.427	5.433	5.439	5.445	5.451	5.457	5.463	5.469	5.475	5.481	5.487	5.493	5.499	5.505	5.511	5.517	5.523	5.529	5.535	5.541	5.547	5.553	5.559	5.565	5.571	5.577	5.583	5.589	5.595	5.601	5.607	5.613	5.619	5.625	5.631	5.637	5.643	5.649	5.655	5.661	5.667	5.673	5.679	5.685	5.691	5.697	5.703	5.709	5.715	5.721	5.727	5.733	5.739	5.745	5.751	5.757	5.763	5.769	5.775	5.781	5.787	5.793	5.799	5.805	5.811	5.817	5.823	5.829	5.835	5.841	5.847	5.853	5.859	5.865	5.871	5.877	5.883	5.889	5.895	5.901	5.907	5.913	5.919	5.925	5.931	5.937	5.943	5.949	5.955	5.961	5.967	5.973	5.979	5.985	5.991	5.997	6.003	6.009	6.015	6.021	6.027	6.033	6.039	6.045	6.051	6.057	6.063	6.069	6.075	6.081	6.087	6.093	6.099	6.105	6.111	6.117	6.123	6.129	6.135	6.141	6.147	6.153	6.159	6.165	6.171	6.177	6.183	6.189	6.195	6.201	6.207	6.213	6.219	6.225	6.231	6.237	6.243	6.249	6.255	6.261	6.267	6.273	6.279	6.285	6.291	6.297	6.303	6.309	6.315	6.321	6.327	6.333	6.339	6.345	6.351	6.357	6.363	6.369	6.375	6.381	6.387	6.393	6.399	6.405	6.411	6.417	6.423	6.429	6.435	6.441	6.447	6.453	6.459	6.465	6.471	6.477	6.483	6.489	6.495	6.501	6.507	6.513	6.519	6.525	6.531	6.537	6.543	6.549	6.555	6.561	6.567	6.573	6.579	6.585	6.591	6.597	6.603	6.609	6.615	6.621	6.627	6.633	6.639	6.645	6.651	6.657	6.663	6.669	6.675	6.681	6.687	6.693	6.699	6.705	6.711	6.717	6.723	6.729	6.735	6.741	6.747	6.753	6.759	6.765	6.771	6.777	6.783	6.789	6.795	6.801	6.807	6.813	6.819	6.825	6.831	6.837	6.843	6.849	6.855	6.861	6.867	6.873	6.879	6.885	6.891	6.897	6.903	6.909	6.915	6.921	6.927	6.933	6.939	6.945	6.951	6.957	6.963	6.969	6.975	6.981	6.987	6.993	6.999	7.005	7.011	7.017	7.023	7.029	7.035	7.041	7.047	7.053	7.059	7.065	7.071	7.077	7.083	7.089	7.095	7.101	7.107	7.113	7.119	7.125	7.131	7.137	7.143	7.149	7.155	7.161	7.167	7.173	7.179	7.185	7.191	7.197	7.203	7.209	7.215	7.221	7.227	7.233	7.239	7.245	7.251	7.257	7.263	7.269	7.275	7.281	7.287	7.293	7.299	7.305	7.311	7.317	7.323	7.329	7.335	7.341	7.347	7.353	7.359	7.365	7.371	7.377	7.383	7.389	7.395	7.401	7.407	7.413	7.419	7.425	7.431	7.437	7.443	7.449	7.455	7.461	7.467	7.473	7.479	7.485	7.491	7.497	7.503	7.509	7.515	7.521	7.527	7.533	7.539	7.545	7.551	7.557	7.563	7.569	7.575	7.581	7.587	7.593	7.599	7.605	7.611	7.617	7.623	7.629	7.635	7.641	7.647	7.653	7.659	7.665	7.671	7.677	7.683	7.689	7.695	7.701	7.707	7.713	7.719	7.725	7.731	7.737	7.743	7.749	7.755	7.761	7.767	7.773	7.779	7.785	7.791	7.797	7.803	7.809	7.815	7.821	7.827	7.833	7.839	7.845	7.851	7.857	7.863	7.869	7.875	7.881	7.887	7.893	7.899	7.905	7.911	7.917	7.923	7.929	7.935	7.941	7.947	7.953	7.959	7.965	7.971	7.977	7.983	7.989	7.995	8.001	8.007	8.013	8.019	8.025	8.031	8.037	8.043	8.049	8.055	8.061	8.067	8.073	8.079	8.085	8.091	8.097	8.103	8.109	8.115	8.121	8.127	8.133	8.139	8.145	8.151	8.157	8.163	8.169	8.175	8.181	8.187	8.193	8.199	8.205	8.211	8.217	8.223	8.229	8.235	8.241	8.247	8.253	8.259	8.265	8.271	8.277	8.283	8.289	8.295	8.301	8.307	8.313	8.319	8.325	8.331	8.337	8.343	8.349	8.355	8.361	8.367	8.373	8.379	8.385	8.391	8.397	8.403	8.409	8.415	8.421	8.427	8.433	8.439	8.445	8.451	8.457	8.463	8.469	8.475	8.481	8.487	8.493	8.499	8.505	8.511	8

Tabla 14. Valores descartados según el criterio de INR y de Chauvenet para el parámetro T30

T30		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	44	2%
Muestras totales descartadas	497	21,73%

Tabla 15. Valores descartados según el criterio de INR y de Chauvenet para el parámetro RT

RT		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	46	2%
Muestras totales descartadas	499	21,73%

Tabla 16. Valores descartados según el criterio de INR y de Chauvenet para el parámetro C50

C50		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	21	1%
Muestras totales descartadas	474	20,73%

Tabla 17. Valores descartados según el criterio de INR y de Chauvenet para el parámetro C80

C80		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	26	1%
Muestras totales descartadas	479	20,73%

Tabla 18. Valores descartados según el criterio de INR y de Chauvenet para el parámetro D50

D50		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	10	0%
Muestras totales descartadas	463	19,73%

Tabla 19. Valores descartados según el criterio de INR y Chauvenet para el parámetro D80

D80		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	12	1%
Muestras totales descartadas	465	20,73%

Tabla 20. Valores descartados según el criterio de INR y Chauvenet para el parámetro Ts

Ts		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	32	1%
Muestras totales descartadas	485	20,73%

Tabla 21. Valores descartados según el criterio de INR y Chauvenet para el parámetro LF

LF		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	64	3%
Muestras totales descartadas	517	22,73%

Tabla 22. Valores descartados según el criterio de INR y Chauvenet para el parámetro LFC

LFC		
	Nº muestras	%
Muestras totales	2296	-
Muestras descartadas por INR	453	19,73%
Muestras descartadas por Chauvenet	44	2%
Muestras totales descartadas	497	21,73%

Como se puede apreciar en las tablas anteriores (Tabla 12 – Tabla 22) ninguno de los porcentajes de las muestras descartadas por *Chauvenet* superan el 3% que estaba establecido, por tanto, las medidas son consideradas válidas para el análisis.

8.2. RESULTADO DE PARÁMETROS MEDIDOS *IN SITU*

Tras aplicar los dos criterios anteriores, los resultados finales de las medidas quedan expuestos de forma definitiva para su análisis y comparación con los resultados obtenidos a partir de la simulación.

A continuación, se presentan todos los parámetros acústicos en función de la frecuencia. Se calculan y representan en forma de gráfica los promedios y desviación estándar en octavas y tercios de octava. Aunque luego en la simulación EASE trabaja en tercios de octavas con las bandas de 100 Hz a 10 kHz, en las medidas *in situ* se han calculado desde 25 Hz a 12,5 kHz y en octavas de 125 Hz a 8 kHz.

Los parámetros se van a clasificar en: parámetros temporales, parámetros energéticos, parámetros espaciales y parámetros de inteligibilidad, como se explicó en el apartado 4.

A parte de los cálculos de los promedios y desviación estándar de forma global en todos los parámetros acústicos, también se han calculado estos dos valores estadísticos en cada zona del Corral de Comedias, promedio y desviación estándar para escenario, planta 0, planta 1 y planta 2 de cada parámetro acústico.

8.2.1. PARÁMETROS TEMPORALES

- *EDT, tiempo de reverberación temprano.*

Tabla 23. Promedios y desviación estándar del parámetro EDT[s] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	1,577	1,465	1,437	1,448	1,46	0,325	0,397	0,284	0,530	0,41
125	1,249	1,656	1,577	1,261	1,51	0,054	0,290	0,403	0,398	0,38
160	1,453	1,543	1,324	1,419	1,46	0,047	0,423	0,189	0,305	0,35
200	0,956	1,323	1,313	1,307	1,30	0,048	0,327	0,306	0,272	0,31
250	1,014	1,192	1,048	1,136	1,13	0,239	0,167	0,202	0,112	0,18
315	1,017	1,252	1,035	1,068	1,15	0,057	0,144	0,170	0,203	0,19
400	0,993	1,324	1,231	1,162	1,24	0,084	0,137	0,216	0,138	0,18
500	0,997	1,171	1,252	1,148	1,17	0,066	0,146	0,133	0,086	0,14
630	0,947	1,257	1,142	1,150	1,19	0,175	0,141	0,153	0,165	0,17
800	0,918	1,178	1,094	1,136	1,13	0,166	0,110	0,181	0,078	0,14
1000	0,923	1,146	1,046	1,102	1,11	0,011	0,104	0,098	0,087	0,11
1250	0,715	1,055	0,943	1,055	1,02	0,001	0,093	0,107	0,112	0,12
1600	0,811	1,022	0,956	0,971	0,98	0,064	0,085	0,090	0,100	0,10
2000	0,821	0,950	0,914	0,904	0,93	0,008	0,059	0,096	0,083	0,08
2500	0,666	0,869	0,856	0,853	0,85	0,020	0,070	0,061	0,083	0,08
3150	0,616	0,818	0,807	0,751	0,79	0,028	0,065	0,072	0,079	0,08
4000	0,624	0,746	0,752	0,705	0,73	0,038	0,052	0,051	0,069	0,06
5000	0,571	0,663	0,687	0,651	0,66	0,032	0,058	0,067	0,065	0,06
6300	0,481	0,581	0,592	0,565	0,57	0,024	0,059	0,067	0,094	0,07
8000	0,425	0,509	0,492	0,531	0,51	0,012	0,066	0,080	0,079	0,07
10000	0,397	0,338	0,367	0,374	0,38	0,031	#DIV/0!	0,037	0,038	0,03

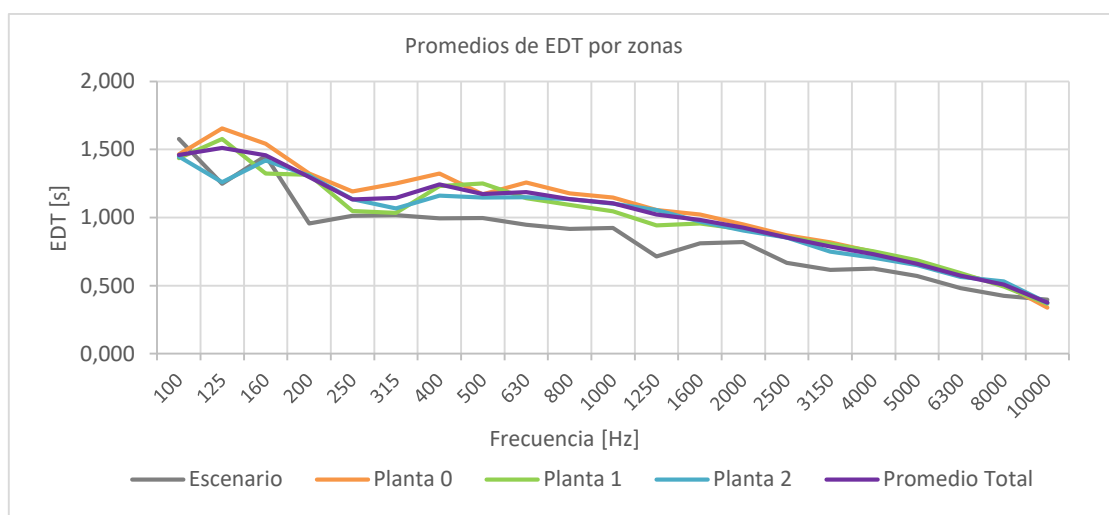


Gráfico 1. Promedios del parámetro EDT por zonas en tercios de octava

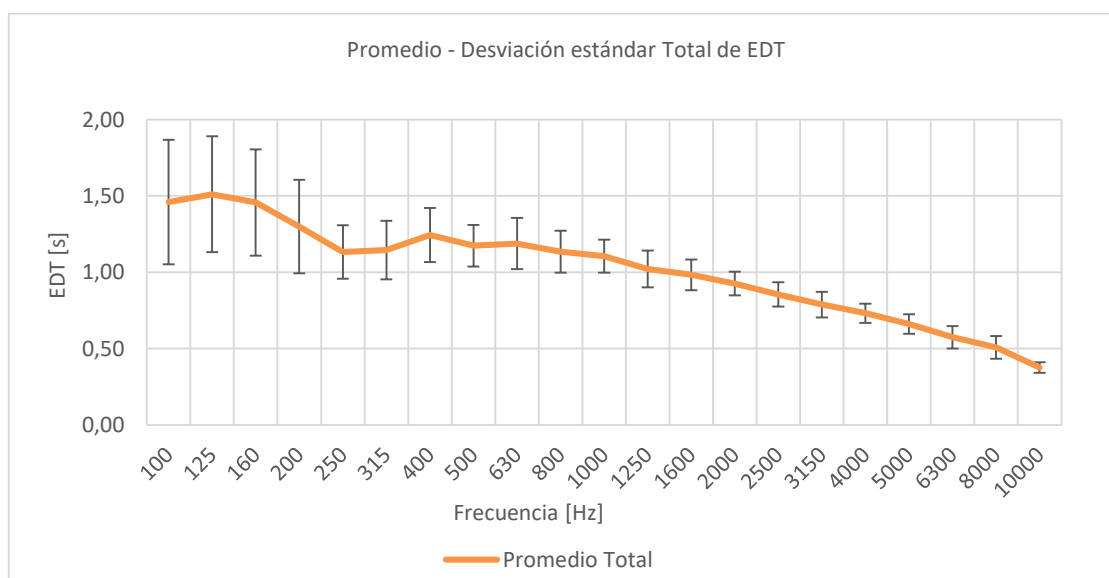
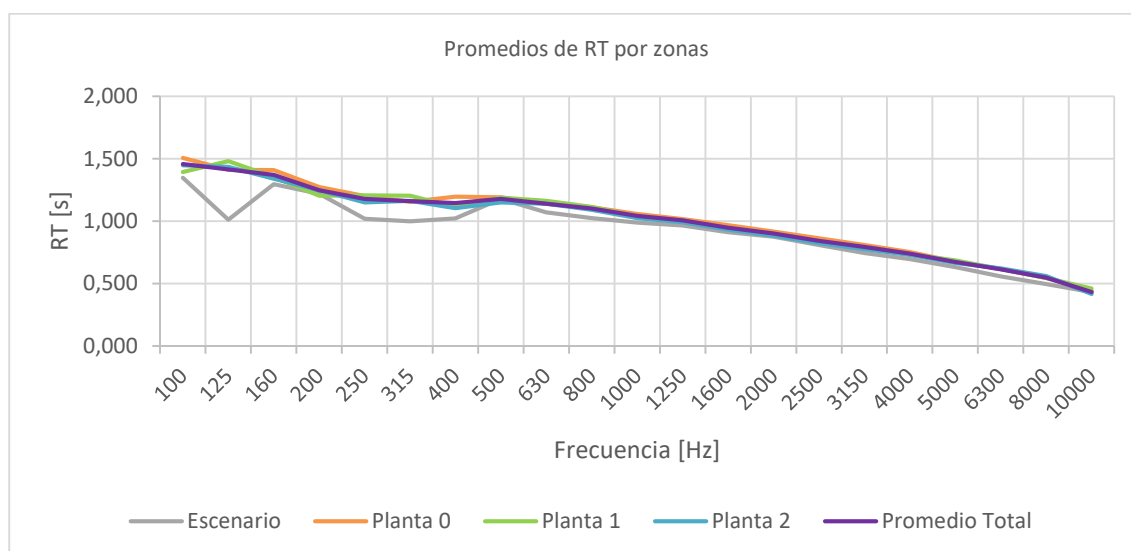
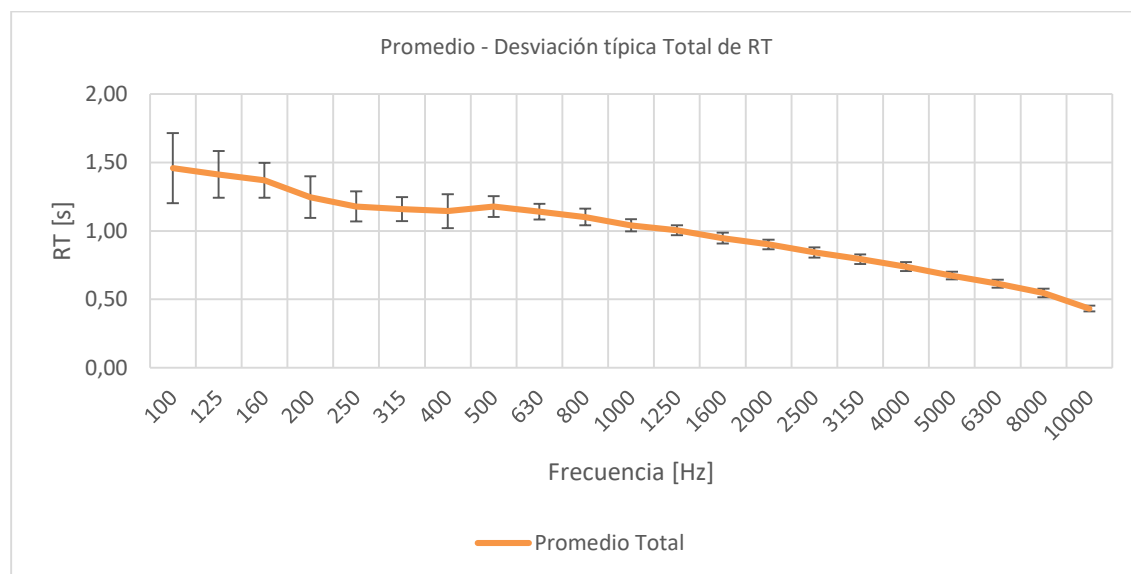


Gráfico 2. Promedio total y desviación típica del parámetro EDT en tercios de octava

- *RT, tiempo de reverberación.*

Tabla 24. Promedios y desviación estándar del parámetro $RT[s]$ en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	1,35	1,51	1,39	1,45	1,46	0,15	0,25	0,25	0,29	0,26
125	1,01	1,41	1,48	1,43	1,41	0,02	0,14	0,18	0,12	0,17
160	1,30	1,41	1,35	1,34	1,37	0,03	0,14	0,10	0,14	0,13
200	1,22	1,27	1,20	1,25	1,25	0,09	0,15	0,17	0,14	0,15
250	1,02	1,20	1,21	1,15	1,18	0,07	0,10	0,13	0,08	0,11
315	1,00	1,15	1,20	1,16	1,16	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09
400	1,02	1,20	1,11	1,10	1,14	0,05	0,13	0,12	0,09	0,12
500	1,18	1,19	1,19	1,15	1,18	0,06	0,09	0,06	0,06	0,08
630	1,07	1,14	1,16	1,14	1,14	0,01	0,05	0,06	0,06	0,06
800	1,02	1,11	1,11	1,09	1,10	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06
1000	0,99	1,06	1,04	1,02	1,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04
1250	0,97	1,02	1,00	0,99	1,00	0,01	0,04	0,03	0,03	0,04
1600	0,91	0,97	0,93	0,93	0,95	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04
2000	0,87	0,92	0,90	0,88	0,90	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04
2500	0,81	0,86	0,83	0,82	0,84	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04
3150	0,75	0,81	0,79	0,78	0,79	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
4000	0,70	0,75	0,73	0,73	0,74	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
5000	0,63	0,68	0,69	0,66	0,67	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03
6300	0,56	0,62	0,62	0,62	0,61	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
8000	0,50	0,54	0,54	0,56	0,55	0,01	0,03	0,03	0,04	0,03
10000	0,43	0,44	0,46	0,42	0,43	0,02	#DIV/0!	0,02	0,01	0,02

Gráfico 3. Promedios del parámetro RT por zonas en tercios de octavaGráfico 4. Promedio total y desviación típica del parámetro RT en tercios de octava

- **T20**

Tabla 25. Promedios y desviación estándar del parámetro T20[s] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	1,31	1,50	1,46	1,40	1,45	0,13	0,28	0,25	0,26	0,27
125	1,01	1,47	1,42	1,42	1,42	0,02	0,18	0,21	0,16	0,20
160	1,41	1,44	1,36	1,41	1,41	0,04	0,18	0,10	0,18	0,16
200	1,21	1,38	1,20	1,26	1,30	0,07	0,15	0,16	0,18	0,17
250	1,05	1,20	1,20	1,16	1,18	0,06	0,11	0,14	0,11	0,12
315	1,00	1,17	1,18	1,18	1,16	0,04	0,10	0,09	0,08	0,09
400	0,99	1,17	1,14	1,10	1,13	0,06	0,11	0,10	0,09	0,11
500	1,24	1,18	1,19	1,16	1,18	0,01	0,09	0,09	0,09	0,09
630	1,05	1,16	1,15	1,14	1,15	0,02	0,07	0,08	0,07	0,07
800	1,02	1,11	1,12	1,09	1,10	0,13	0,08	0,08	0,06	0,08
1000	0,98	1,07	1,03	1,03	1,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06
1250	0,90	1,03	1,00	0,98	1,00	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
1600	0,86	0,97	0,96	0,94	0,95	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05
2000	0,86	0,92	0,90	0,89	0,91	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04
2500	0,79	0,87	0,84	0,83	0,85	0,02	0,05	0,04	0,04	0,05
3150	0,72	0,81	0,79	0,78	0,79	0,02	0,04	0,05	0,04	0,05
4000	0,70	0,76	0,73	0,73	0,74	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04
5000	0,62	0,68	0,69	0,67	0,68	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
6300	0,55	0,61	0,62	0,62	0,61	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
8000	0,49	0,55	0,54	0,56	0,55	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03
10000	0,44	0,46	0,44	0,42	0,43	0,01	#DIV/0!	0,03	0,01	0,02

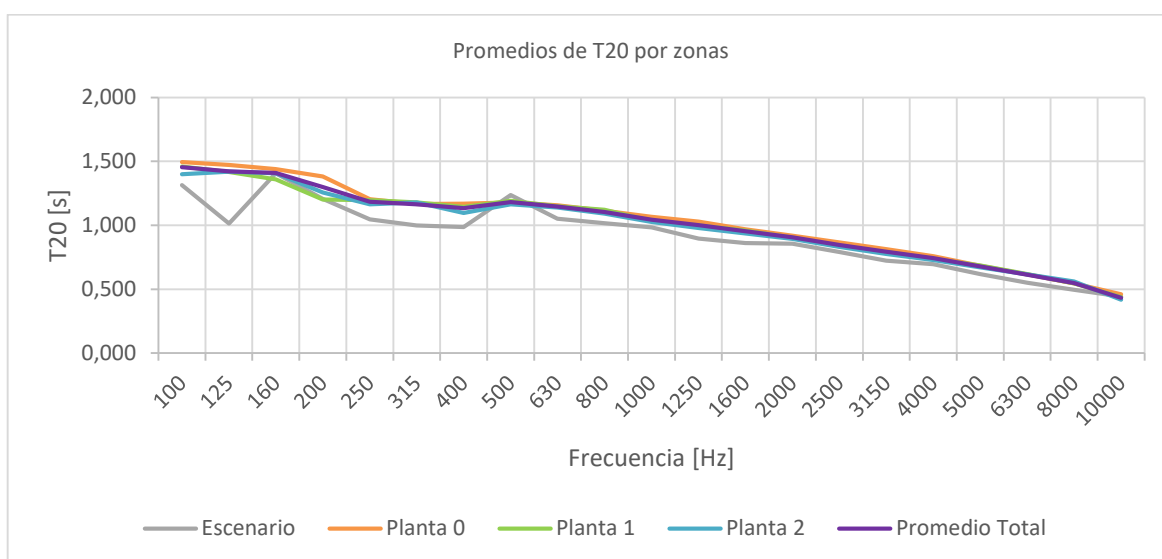


Gráfico 5. Promedios del parámetro T20 por zonas en tercios de octava

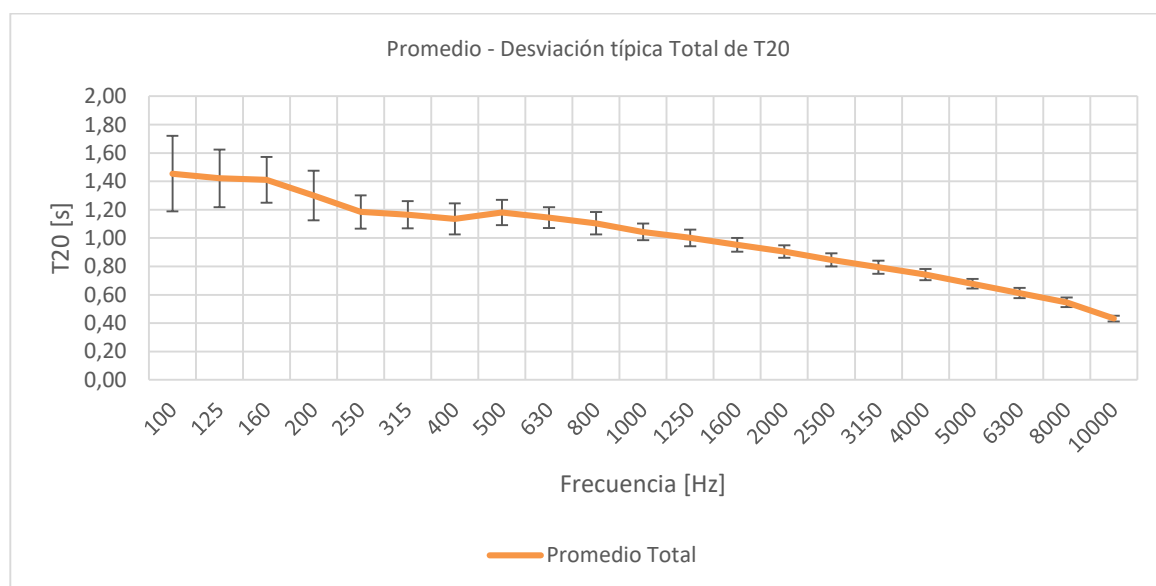


Gráfico 6. Promedio total y desviación típica del parámetro T20 en tercios de octava

- **T30**

Tabla 26. Promedios y desviación estándar del parámetro T30[s] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	1,35	1,50	1,38	1,50	1,46	0,15	0,22	0,17	0,22	0,21
125	0,00	1,41	1,41	1,40	1,41	0,00	0,12	0,11	0,10	0,11
160	1,30	1,44	1,35	1,33	1,39	0,03	0,15	0,10	0,13	0,14
200	1,23	1,32	1,21	1,24	1,27	0,10	0,11	0,15	0,14	0,13
250	1,05	1,18	1,21	1,16	1,17	0,03	0,05	0,04	0,06	0,06
315	1,02	1,15	1,18	1,16	1,16	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
400	1,02	1,20	1,15	1,12	1,16	0,05	0,09	0,05	0,08	0,09
500	1,18	1,19	1,18	1,15	1,17	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07
630	1,07	1,14	1,16	1,13	1,14	0,01	0,05	0,06	0,06	0,06
800	1,02	1,10	1,11	1,09	1,10	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05
1000	0,99	1,06	1,03	1,02	1,04	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04
1250	0,96	1,01	1,00	0,99	1,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
1600	0,91	0,96	0,93	0,94	0,95	0,06	0,02	0,04	0,03	0,03
2000	0,87	0,92	0,89	0,88	0,90	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03
2500	0,81	0,86	0,82	0,83	0,84	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
3150	0,76	0,80	0,79	0,78	0,79	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
4000	0,70	0,75	0,73	0,73	0,74	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
5000	0,64	0,67	0,67	0,67	0,67	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
6300	0,56	0,61	0,61	0,62	0,61	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
8000	0,50	0,54	0,54	0,55	0,54	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
10000	0,42	0,44	0,45	0,42	0,42	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02

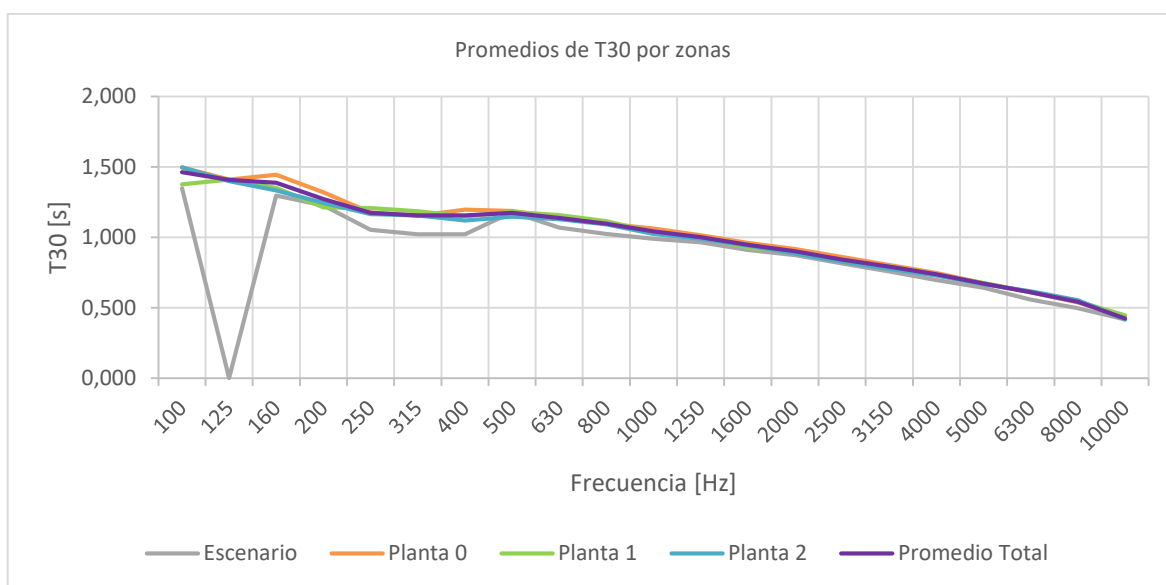


Gráfico 7. Promedios del parámetro T30 por zonas en tercios de octava

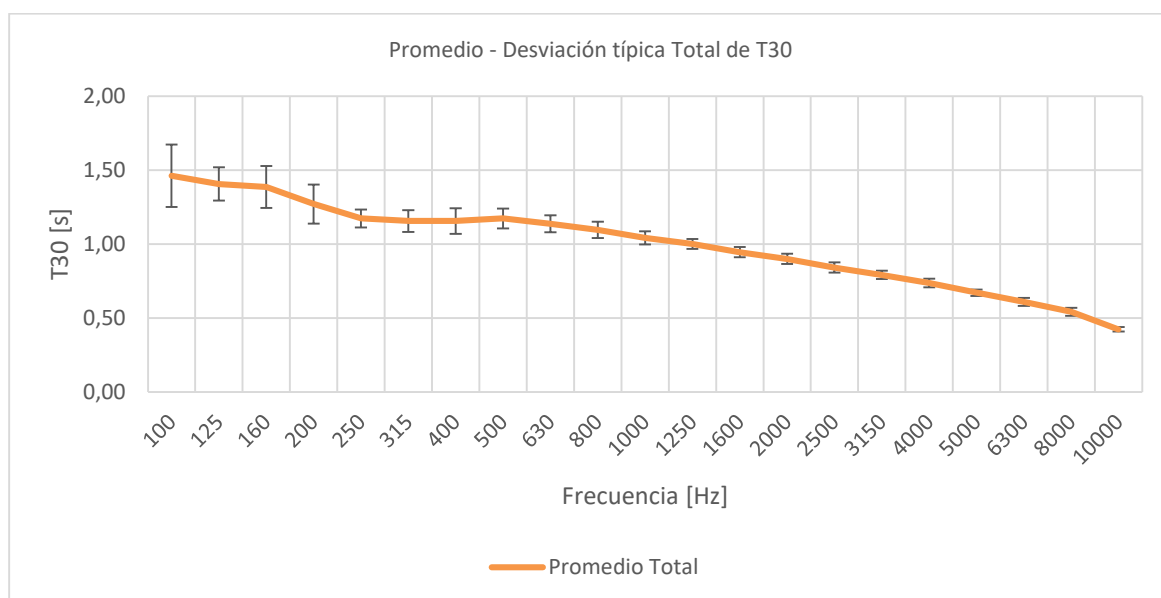


Gráfico 8. Promedio total y desviación típica del parámetro T30 en tercios de octava

En el *Gráfico 2* se puede observar que, en frecuencias medias, entre 250 Hz y 1kHz la respuesta es plana y que a partir de 1kHz empieza a decrecer, lo que significa que está disminuyendo el tiempo de reverberación. A frecuencias altas, la sala presenta una mayor absorción, como el Corral de Comedias apenas tiene materiales absorbentes esta absorción se debe al aire de la sala. En este caso, nos encontramos ante un recinto abierto, es decir, que mucha energía emitida por la fuente se va a dispersar por la abertura del techo.

El software *DIRAC* calcula este parámetro, RT , a partir de los valores de EDT , T_{10} , T_{20} y T_{30} y escoge el que considera más representativo del recinto. En el *Gráfico 4*, se puede observar que la forma dibujada por el promedio total es muy similar a la dibujada en el *Gráfico 2* por EDT , pero en el caso de RT la desviación típica es mucho menor. Como *DIRAC* escoge los valores más representativos, toma como referencia los valores medidos de T_{20} y T_{30} (*Gráficos 6 y 7*), por esta razón el error es menor que en el caso de EDT .

En el *Gráfico 7*, los promedios de T_{30} por zonas, se puede observar que en el Escenario hay un pico en la banda de 125 Hz, esta banda no muestra valores porque los medidos han sido descartados por el método de *Chauvenet*, ya que no cumplían los requisitos necesarios para ser considerados como valores válidos. La pérdida de valores en esta banda de frecuencia no provoca un desajuste notable a la hora de calcular el promedio total. Como muestra el *Gráfico 8*, la forma es muy similar a las de EDT , RT y T_{20} , confirmando lo dicho con anterioridad respecto al cálculo de RT , recogiendo los valores óptimos entre estos parámetros.

8.2.2. PARÁMETROS ENERGÉTICOS

- *C50, claridad de voz.*

Tabla 27. Promedios y desviación estándar del parámetro C50[dB] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	4,47	-1,75	-3,28	-3,81	-2,33	0,40	3,41	3,74	4,52	4,10
125	0,73	-3,53	0,14	-0,33	-1,66	2,45	3,28	3,50	3,61	3,77
160	1,84	-2,04	-0,78	-1,79	-1,51	1,31	2,40	2,63	2,21	2,50
200	-0,20	-2,44	-0,61	-1,06	-1,56	1,64	3,05	1,96	3,51	3,01
250	2,42	-2,90	-0,25	-0,72	-1,47	3,41	2,65	2,41	1,81	2,81
315	5,61	-1,57	-0,44	1,94	-0,03	0,48	2,32	2,50	2,90	3,12
400	1,63	-0,98	0,09	0,48	-0,21	0,94	1,82	2,46	2,26	2,18
500	1,81	-0,38	-1,96	-1,05	-0,88	0,18	1,46	1,82	2,43	1,97
630	3,60	-0,51	-1,26	-0,45	-0,54	0,13	1,49	1,14	1,82	1,67
800	3,21	-0,32	-0,17	0,17	-0,06	0,02	1,45	1,49	1,09	1,45
1000	2,99	-0,39	0,06	-0,14	-0,14	0,07	1,55	1,48	1,61	1,60
1250	3,17	-0,56	-0,54	-0,36	-0,41	0,14	1,12	1,62	1,81	1,54
1600	4,29	-0,12	-0,30	0,84	0,31	0,52	1,47	1,70	1,50	1,79
2000	5,07	0,70	1,04	1,48	1,20	0,40	1,87	1,87	1,93	2,05
2500	4,37	1,41	0,92	1,72	1,46	0,28	1,60	1,44	2,07	1,76
3150	5,45	1,49	1,46	2,82	2,03	1,87	2,02	1,19	2,46	2,19
4000	6,35	2,31	2,11	3,70	2,84	1,92	2,07	1,30	2,14	2,16
5000	6,04	3,41	3,26	3,96	3,65	1,33	1,68	1,49	2,35	1,90
6300	6,42	4,80	4,60	5,13	4,92	0,68	1,43	1,19	2,36	1,67
8000	7,84	5,75	5,93	6,04	5,98	0,21	1,35	1,54	2,19	1,68
10000	9,71	8,57	8,86	9,26	9,24	1,38	#DIV/0!	1,35	1,14	1,10

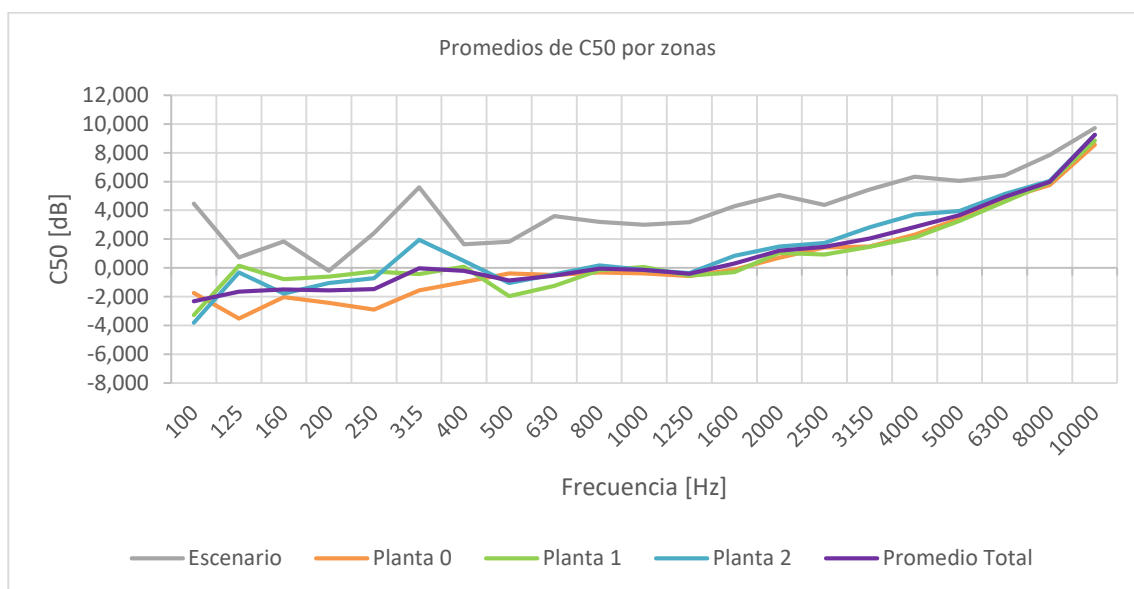


Gráfico 9. Promedios del parámetro C50 por zonas en tercios de octava

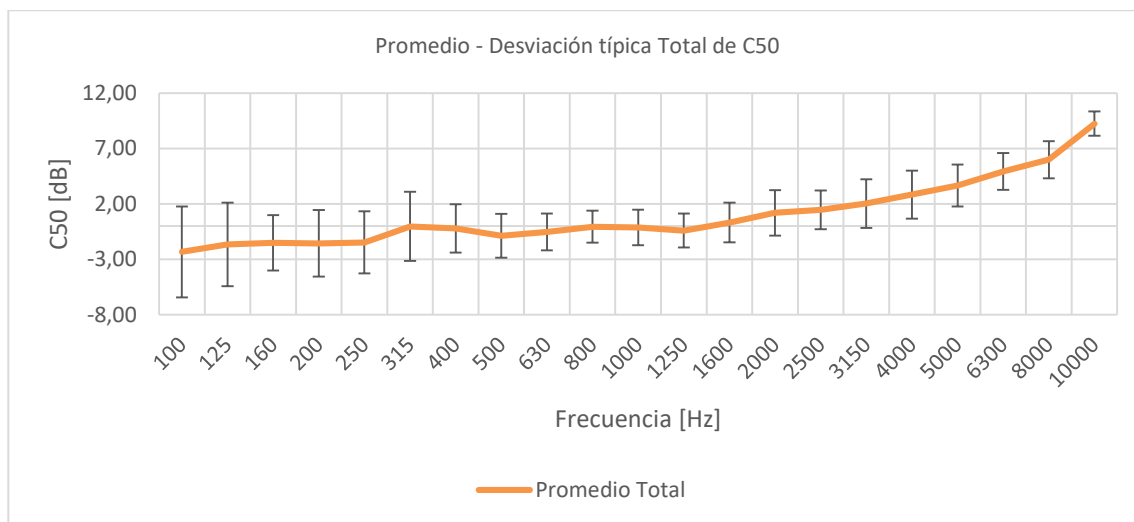


Gráfico 10. Promedio total y desviación típica del parámetro C50 en tercios de octava

- *C80, claridad musical.*

Tabla 28. Promedios y desviación estándar del parámetro C80[dB] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	5,90	1,01	0,33	-0,24	0,76	1,54	3,19	2,49	3,36	3,26
125	3,87	-0,97	1,93	2,28	0,77	0,87	3,22	2,83	3,59	3,55
160	4,08	-0,08	0,97	0,81	0,61	1,68	1,96	2,40	1,22	2,08
200	4,57	1,83	2,10	1,38	1,90	0,40	2,22	1,85	2,96	2,38
250	5,21	0,35	3,03	1,94	1,60	1,61	2,24	3,03	1,66	2,63
315	7,28	0,96	3,17	4,66	2,75	1,22	1,85	2,51	2,46	2,84
400	5,02	2,30	3,47	3,03	2,90	0,34	1,66	2,05	1,94	1,90
500	5,38	2,23	1,37	2,37	2,15	0,44	1,43	1,76	0,94	1,51
630	4,49	2,10	1,90	2,82	2,31	0,08	1,42	1,57	1,21	1,45
800	4,38	2,23	2,71	3,20	2,66	0,04	0,99	1,73	1,15	1,30
1000	5,39	2,42	3,30	3,13	2,89	0,11	1,20	0,96	0,69	1,15
1250	0,00	2,66	3,02	2,84	2,79	0,00	0,93	1,21	1,12	1,05
1600	6,64	2,89	3,23	3,56	3,24	0,19	1,44	1,29	1,40	1,49
2000	8,10	3,75	3,71	4,41	4,13	0,17	1,65	1,73	1,56	1,85
2500	7,54	4,61	4,00	4,90	4,63	0,08	1,33	1,15	1,69	1,48
3150	7,63	4,82	4,64	6,02	5,18	0,06	1,66	1,18	1,75	1,70
4000	8,56	5,74	5,23	6,83	6,03	1,86	1,64	1,24	1,80	1,76
5000	9,88	6,88	6,68	7,53	7,16	0,98	1,31	1,27	1,80	1,57
6300	10,53	8,41	8,18	8,64	8,52	0,48	1,19	1,38	2,17	1,57
8000	11,99	9,42	9,82	9,83	9,76	0,20	1,11	1,60	1,97	1,56
10000	13,58	11,97	13,71	13,68	13,48	0,93	0,00	0,97	0,59	0,83

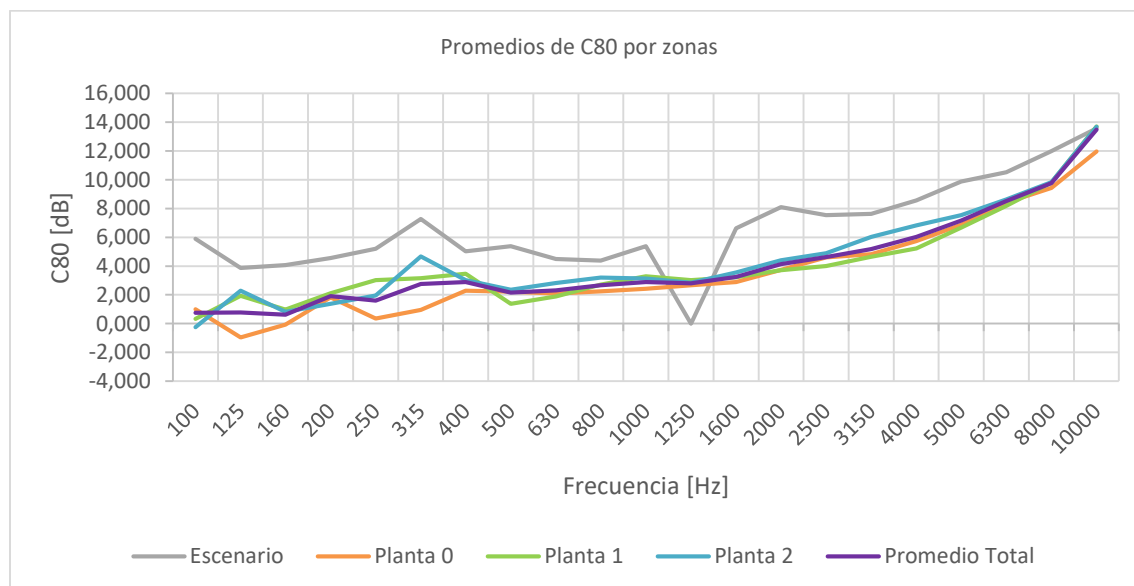


Gráfico 11. Promedios del parámetro C80 por zonas en tercios de octava

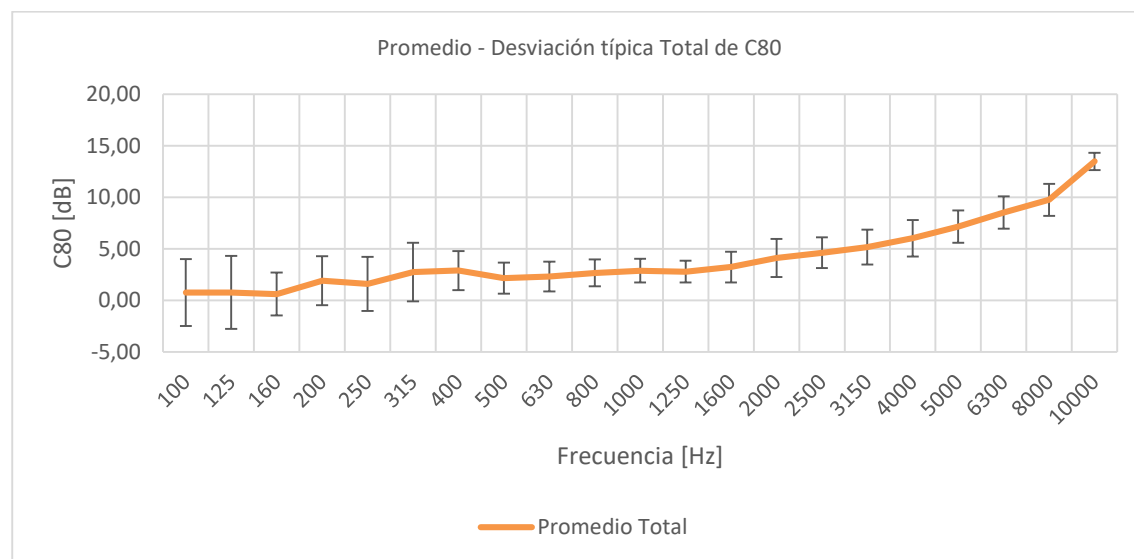


Gráfico 12. Promedio total y desviación típica del parámetro C80 en tercios de octava

- *D50, definición.*

Tabla 29. Promedios y desviación estándar del parámetro D50[-] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	0,74	0,42	0,34	0,32	0,39	0,02	0,16	0,18	0,21	0,20
125	0,54	0,33	0,50	0,48	0,42	0,14	0,14	0,18	0,19	0,18
160	0,60	0,39	0,46	0,40	0,42	0,07	0,13	0,14	0,12	0,13
200	0,49	0,38	0,47	0,44	0,42	0,10	0,15	0,11	0,18	0,15
250	0,62	0,35	0,49	0,46	0,42	0,18	0,13	0,13	0,10	0,14
315	0,78	0,42	0,48	0,60	0,50	0,02	0,12	0,14	0,15	0,16
400	0,59	0,43	0,51	0,52	0,48	0,06	0,12	0,14	0,12	0,13
500	0,68	0,46	0,39	0,44	0,45	0,09	0,11	0,10	0,13	0,13
630	0,73	0,47	0,47	0,48	0,48	0,04	0,08	0,12	0,10	0,11
800	0,68	0,48	0,49	0,51	0,50	0,00	0,08	0,08	0,06	0,08
1000	0,67	0,48	0,50	0,49	0,49	0,01	0,09	0,08	0,09	0,09
1250	0,68	0,47	0,47	0,48	0,48	0,01	0,06	0,09	0,10	0,09
1600	0,73	0,49	0,48	0,55	0,52	0,02	0,08	0,10	0,08	0,10
2000	0,76	0,54	0,56	0,58	0,57	0,02	0,10	0,10	0,11	0,11
2500	0,73	0,58	0,55	0,59	0,58	0,01	0,09	0,08	0,11	0,10
3150	0,77	0,58	0,58	0,65	0,61	0,08	0,11	0,07	0,13	0,11
4000	0,81	0,62	0,62	0,69	0,65	0,06	0,11	0,07	0,10	0,11
5000	0,80	0,68	0,68	0,70	0,69	0,05	0,08	0,07	0,11	0,09
6300	0,81	0,75	0,74	0,77	0,75	0,02	0,06	0,05	0,10	0,07
8000	0,86	0,79	0,80	0,79	0,79	0,01	0,05	0,04	0,09	0,06
10000	0,90	0,88	0,89	0,89	0,89	0,03	0,00	0,04	0,02	0,02

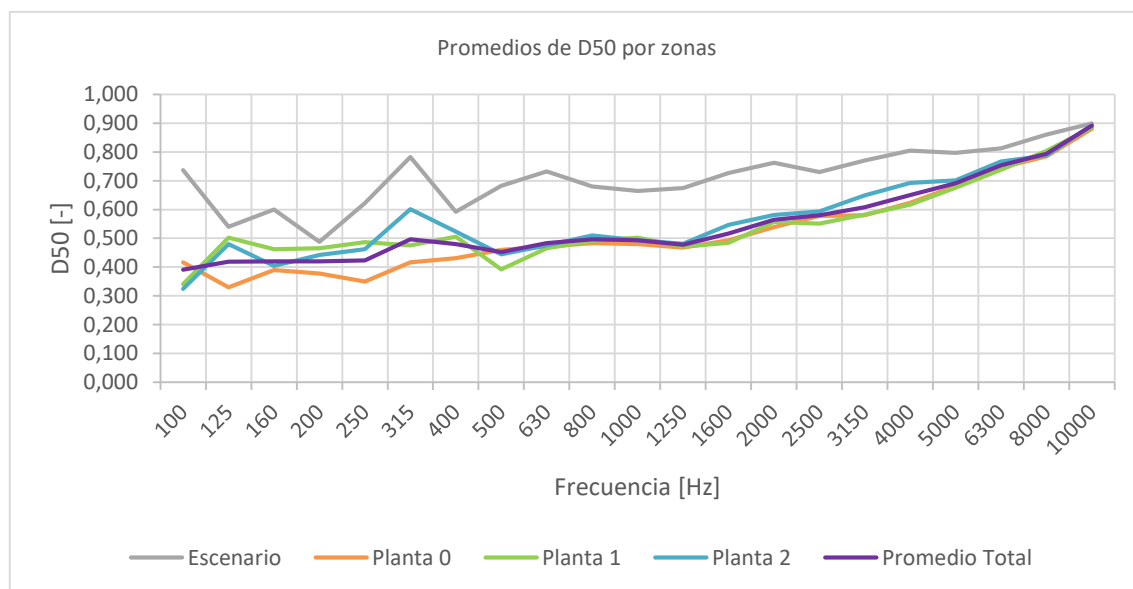


Gráfico 13. Promedios del parámetro D50 por zonas en tercios de octava

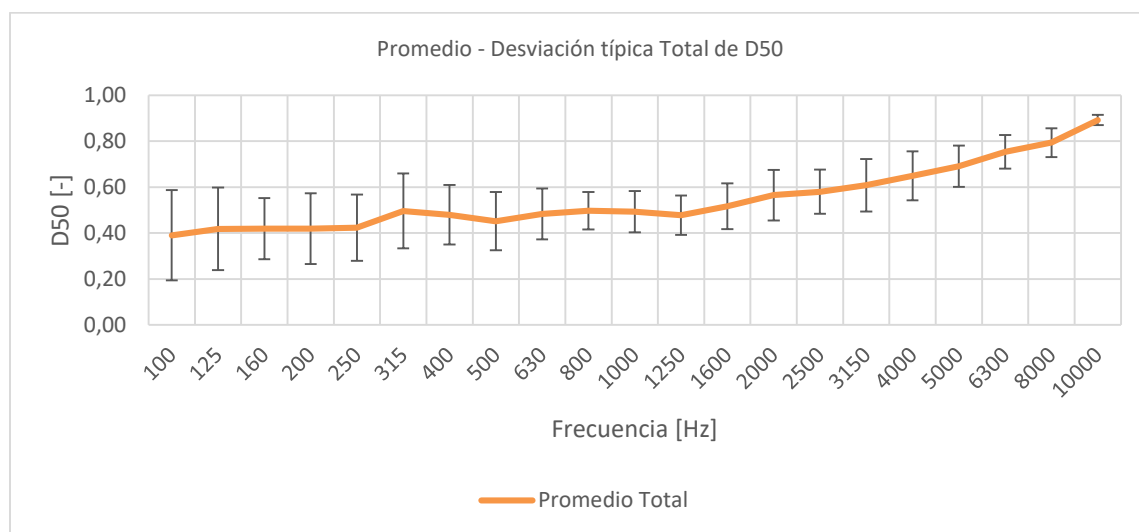
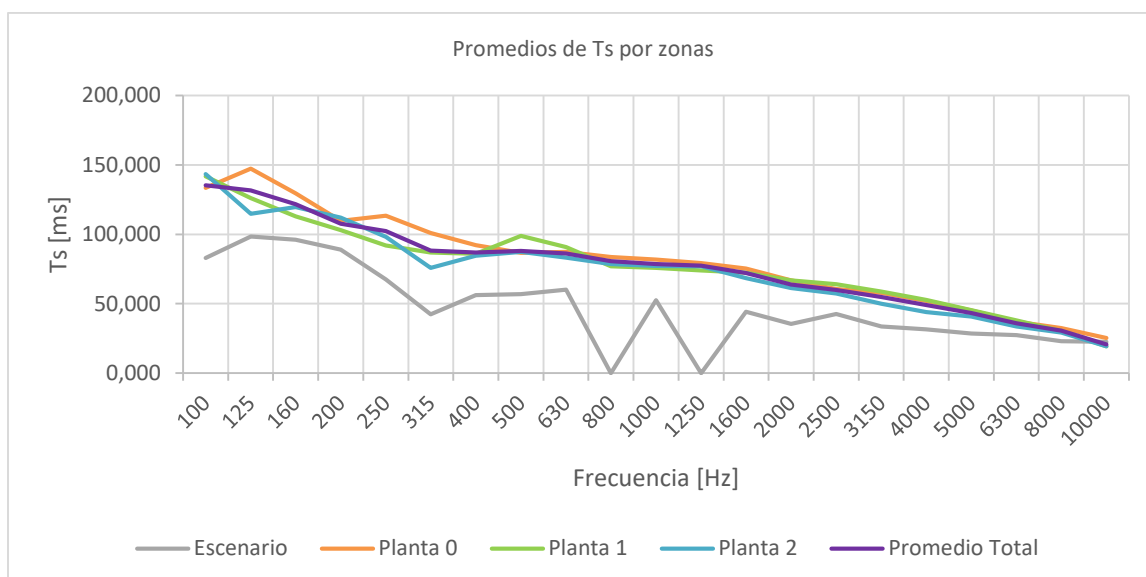
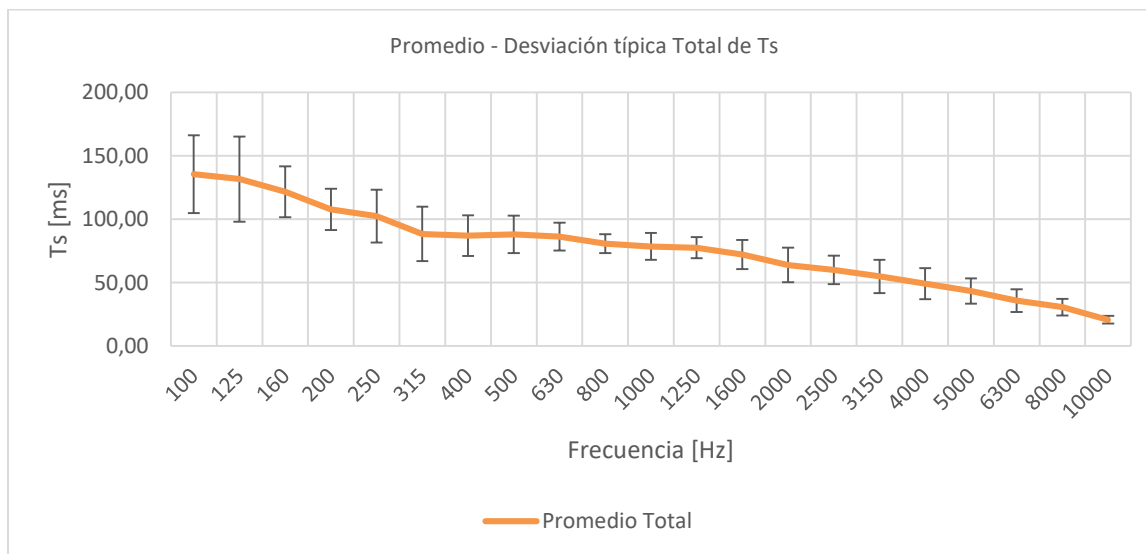


Gráfico 14. Promedio total y desviación típica del parámetro D50 en tercios de octava

- *T_s*, tiempo central.

Tabla 30. Promedios y desviación estándar del parámetro *T_s*[ms] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	82,85	133,36	141,76	143,28	135,40	9,65	27,77	27,42	31,91	30,69
125	98,38	147,28	126,09	114,77	131,52	17,47	26,27	42,24	26,19	33,65
160	96,03	129,59	112,89	119,66	121,62	4,95	19,84	20,09	14,76	20,05
200	88,93	109,60	103,04	111,90	107,62	0,99	11,81	15,80	21,87	16,32
250	67,50	113,41	92,00	98,13	102,37	19,00	19,07	18,26	12,78	20,92
315	42,40	101,03	86,79	75,79	88,27	0,26	13,99	18,55	16,94	21,43
400	56,13	92,18	86,02	84,52	86,88	1,19	12,88	14,91	16,46	15,99
500	56,85	86,56	98,83	87,23	87,99	7,55	12,16	11,40	13,65	14,84
630	60,20	87,26	90,86	83,14	86,14	0,14	9,75	7,14	11,83	10,91
800	0,00	83,58	76,87	78,49	80,66	0,00	6,97	7,62	6,04	7,38
1000	52,55	81,82	75,76	77,23	78,46	0,49	10,07	9,22	8,90	10,56
1250	0,00	79,25	73,96	77,00	77,39	0,00	6,87	8,06	10,14	8,34
1600	44,10	75,40	72,36	68,53	72,05	1,41	9,94	11,65	10,58	11,57
2000	35,45	66,71	66,86	61,35	63,78	3,83	11,87	12,20	12,90	13,66
2500	42,70	60,52	63,94	57,36	59,98	0,57	10,49	8,88	13,14	11,30
3150	33,63	57,89	58,74	49,96	54,77	11,24	12,58	8,57	12,53	13,02
4000	31,50	52,09	52,80	43,88	49,04	11,95	11,97	8,15	11,90	12,30
5000	28,48	45,19	45,42	40,81	43,25	4,40	8,64	8,54	11,53	9,99
6300	27,33	37,02	38,02	33,60	35,82	3,63	6,72	7,38	12,58	8,97
8000	22,93	32,38	30,41	29,20	30,59	1,01	4,97	4,46	9,27	6,60
10000	22,45	25,20	19,25	19,30	20,64	0,78	0,00	3,18	2,92	3,05

Gráfico 15. Promedios del parámetro *T_s* por zonas en tercios de octavaGráfico 16. Promedio total y desviación típica del parámetro *T_s* en tercios de octava

En el *Gráfico 10* se muestra la claridad de la voz en el recinto, como se explicó en el apartado 4.3.2. para que los valores de este parámetro sean óptimos, deben ser superiores a 2 dB en cada uno de los puntos de medida. Si observamos los valores (*Tabla 27*) a partir de la banda de frecuencia de 3150 Hz los valores comienzan a ser superiores a 2 dB. En base estas premisas deducimos que la claridad de la voz en el recinto no es buena, pero también se debe tener en cuenta los valores de la desviación típica (el error aproximado que se aplica a la medida) y que en todos los casos es bastante elevado, de 4 a 1 (en ningún caso menor que 1).

En el *Gráfico 12* se muestra la claridad musical en el recinto, los valores de este parámetro sean óptimos se deben encontrar en el intervalo de -2 dB y 6 dB. Esta condición se cumple en todas en las bandas de frecuencia hasta la de 4 kHz (*Tabla 28*), esas últimas bandas de alta frecuencia tienen unos superiores a 6 dB, lo que quiere decir que la musicalidad del recinto no es buena en frecuencias altas, en este caso la desviación típica tiene un valor aceptable (entre 1,5 y 0,8).

En el *Gráfico 14* se muestra la definición en el recinto, para que los valores de este parámetro sean óptimos deben ser superiores a 0,5. Según se puede observar en la *Tabla 29* y en el *Gráfico 14*, hasta la banda de frecuencias de 800 Hz los valores son inferiores a 0,5 y, a partir de dicha banda van creciendo, la desviación típica es adecuada en todos los valores. Se puede ver como la forma que presenta el promedio total de *D50* es igual que la forma que presenta el promedio total del tiempo de reverberación (*RT*) pero con las pendientes invertidas.

En el *Gráfico 16* se muestra el tiempo central del recinto, indica la nitidez que tiene la sala, para su valor sea óptimo debe ser cercano a los 130 ms. Como muestran la *Tabla 30* y *Gráfico 16*, los valores cumplen esta condición hasta la banda de frecuencias de 250 Hz, a partir de esta banda el tiempo empieza a decrecer. Esto quiere decir que nuestro recinto tiene poca nitidez en las bandas de frecuencia medias y altas.

8.2.3. PARÁMETROS ESPACIALES

- *LF, eficiencia lateral.*

Tabla 31. Promedios y desviación estándar del parámetro LF[-] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	0,02	0,01	0,012	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
125	0,01	0,01	0,014	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
160	0,02	0,02	0,028	0,04	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
200	0,03	0,02	0,019	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
250	0,03	0,04	0,034	0,03	0,04	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02
315	0,02	0,05	0,047	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
400	0,04	0,06	0,049	0,05	0,05	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
500	0,09	0,07	0,086	0,07	0,07	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
630	0,08	0,09	0,087	0,08	0,09	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
800	0,14	0,11	0,101	0,08	0,10	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
1000	0,19	0,13	0,114	0,11	0,12	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04
1250	0,13	0,13	0,126	0,11	0,12	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
1600	0,14	0,14	0,137	0,11	0,13	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04
2000	0,13	0,12	0,133	0,10	0,12	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
2500	0,14	0,13	0,132	0,11	0,12	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03
3150	0,09	0,16	0,161	0,13	0,15	0,00	0,04	0,04	0,05	0,04
4000	0,09	0,17	0,178	0,14	0,16	0,00	0,05	0,05	0,06	0,05
5000	0,17	0,13	0,139	0,11	0,13	0,01	0,04	0,02	0,05	0,04
6300	0,17	0,11	0,108	0,07	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
8000	0,20	0,13	0,111	0,09	0,12	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
10000	0,30	0,28	0,080	0,08	0,17	0,10	0,00	0,01	0,01	0,12

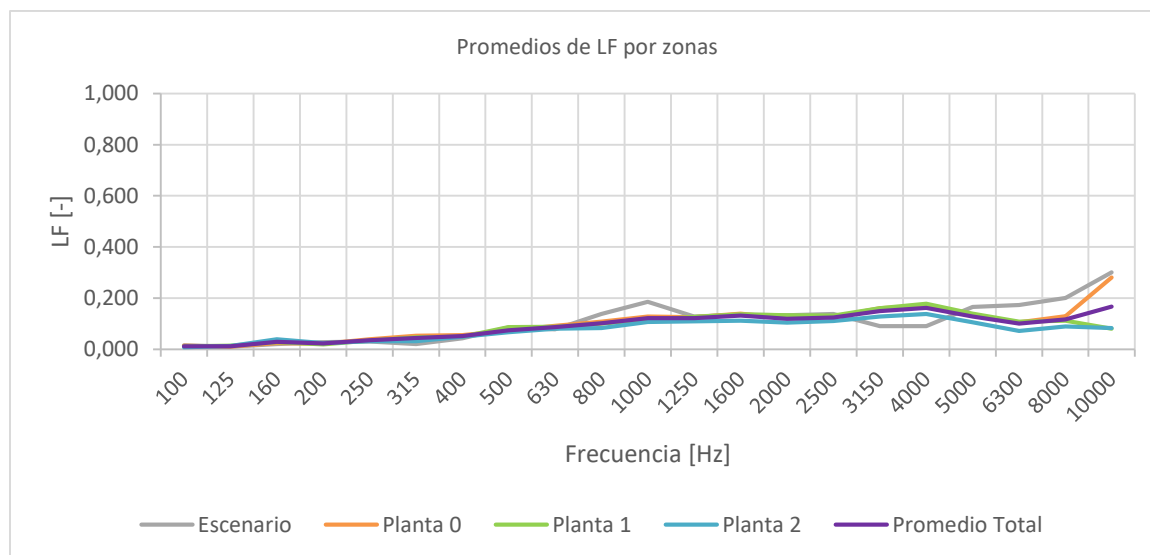


Gráfico 17. Promedios del parámetro LF por zonas en tercios de octava

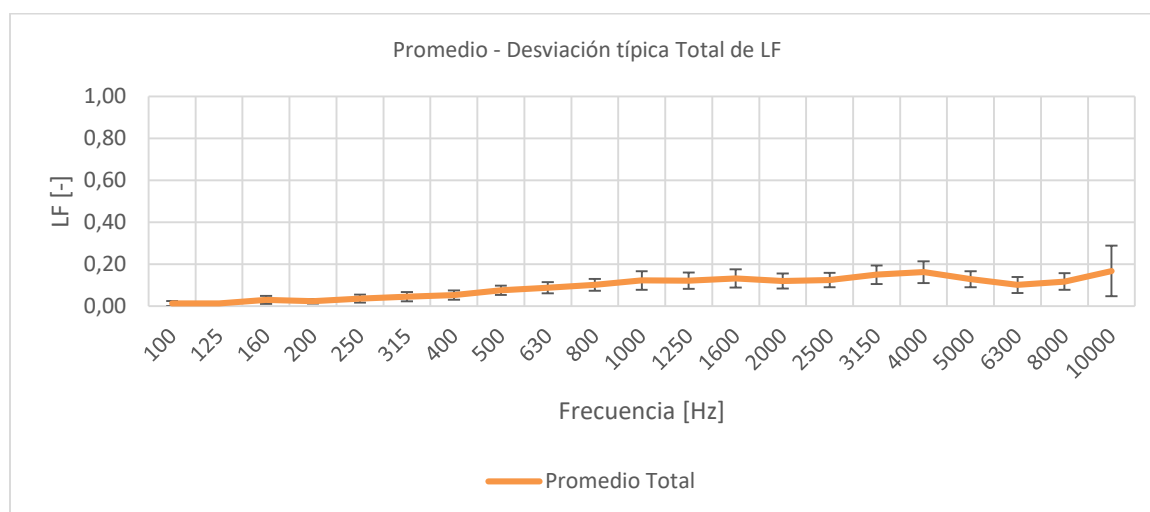


Gráfico 18. Promedio total y desviación típica del parámetro LF en tercios de octava

- *LFC, eficiencia lateral coseno.*

Tabla 32. Promedios y desviación estándar del parámetro LFC[-] en bandas de tercio de octava

Frecuencias (Hz)	Promedios de los datos por zonas					Desviaciones de los datos por zonas				
	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Promedio Total	Escenario	Planta 0	Planta 1	Planta 2	Desviación Total
100	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03
125	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03
160	0,15	0,09	0,10	0,11	0,10	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04
200	0,11	0,10	0,09	0,10	0,09	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
250	0,08	0,12	0,12	0,11	0,12	0,01	0,04	0,06	0,04	0,04
315	0,05	0,13	0,13	0,10	0,11	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
400	0,08	0,13	0,13	0,14	0,13	0,00	0,04	0,03	0,05	0,04
500	0,17	0,15	0,17	0,16	0,16	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
630	0,15	0,17	0,18	0,16	0,17	0,01	0,03	0,04	0,02	0,03
800	0,17	0,19	0,19	0,18	0,19	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03
1000	0,25	0,20	0,21	0,20	0,20	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04
1250	0,20	0,21	0,22	0,20	0,21	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04
1600	0,17	0,23	0,22	0,19	0,21	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
2000	0,18	0,20	0,21	0,19	0,20	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04
2500	0,17	0,21	0,22	0,19	0,20	0,04	0,03	0,04	0,06	0,04
3150	0,22	0,23	0,25	0,21	0,23	0,12	0,04	0,06	0,05	0,06
4000	0,25	0,24	0,24	0,21	0,23	0,14	0,05	0,05	0,06	0,06
5000	0,25	0,20	0,21	0,17	0,20	0,05	0,05	0,02	0,05	0,05
6300	0,23	0,18	0,18	0,13	0,17	0,06	0,04	0,03	0,05	0,05
8000	0,24	0,19	0,17	0,15	0,18	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05
10000	0,26	0,28	0,12	0,13	0,18	0,12	0,00	0,01	0,00	0,09

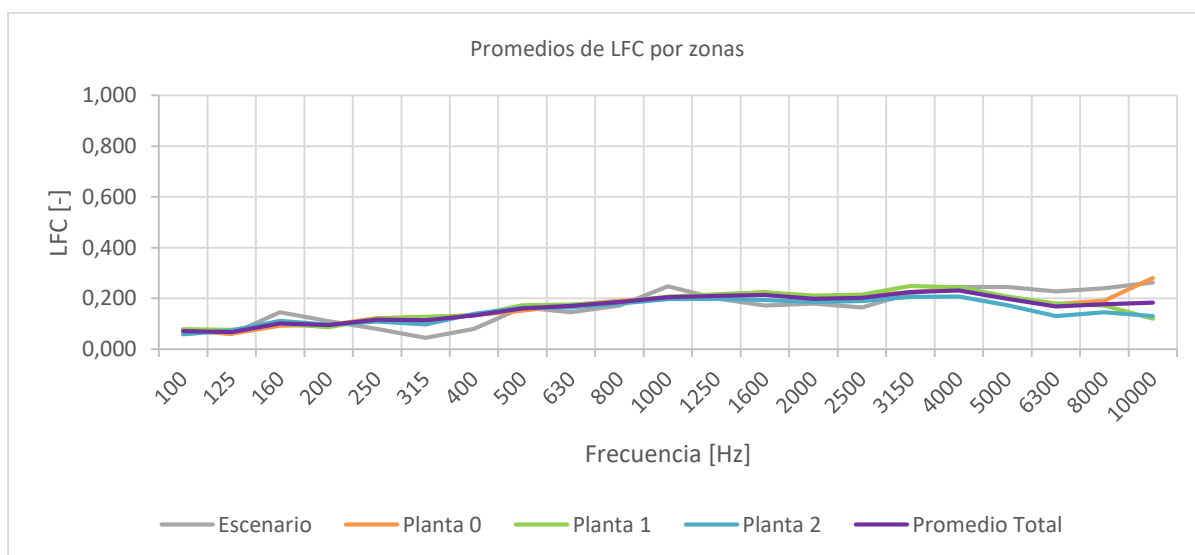


Gráfico 19. Promedios del parámetro LF por zonas en tercios de octava

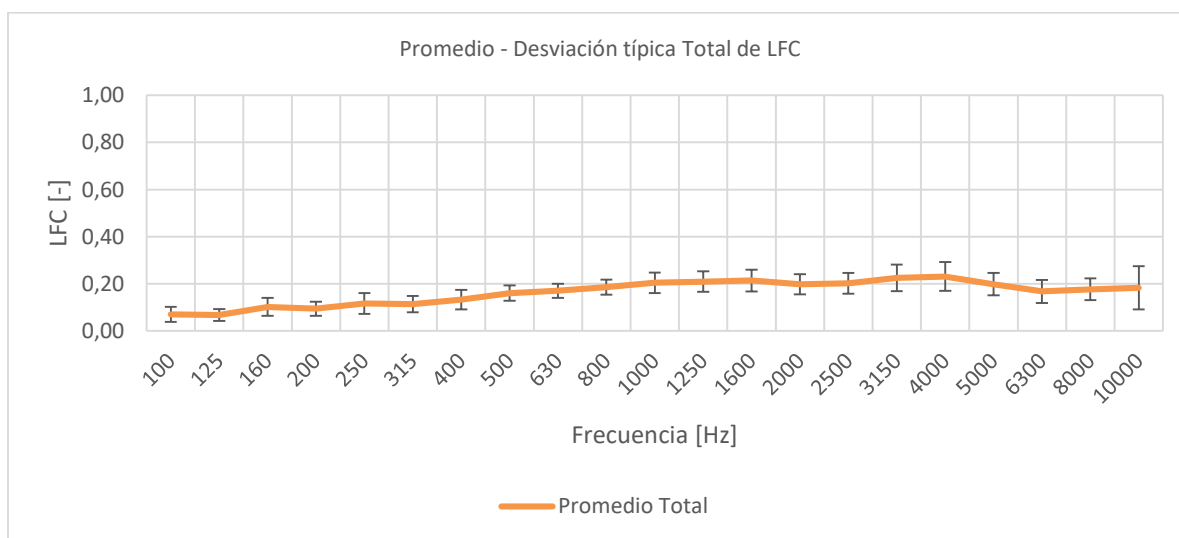


Gráfico 20. Promedio total y desviación típica del parámetro LFC en tercios de octava

En el *Gráfico 18* se muestra la eficiencia lateral del recinto, se puede observar que la fracción de energía lateral va aumentando con la frecuencia, aunque se encuentran pequeños desniveles de energía en las bandas de 2kHz y 6,3 kHz.

En el *Gráfico 19* se muestra la eficiencia lateral coseno del recinto, se puede apreciar que en cuanto a forma es muy parecida al *Gráfico 18* correspondiente al parámetro *LF*. En el parámetro *LFC* se obtienen valores promedio más altos ya que su cálculo es más preciso.

8.2.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD

- *Alcons, pérdida de articulación de consonantes.*

Tabla 33. Promedios y desviación estándar del parámetro *Alcons* [%]

Promedios de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	
Escenario	3,715
Planta 0	6,296
Planta 1	6,186
Planta 2	5,643
Promedio Total	5,97
Desviaciones de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	
Escenario	0,168
Planta 0	0,713
Planta 1	0,797
Planta 2	1,007
Desviación Total	0,98

Tabla 34. Promedio y desviación estándar del parámetro *Alcons* [%]

MEDIA	5,97
DESVIACIÓN (σ)	0,98

En la *Tabla 33* se muestra el promedio del parámetro *Alcons*, como se explicó en el apartado 4.3.4. existe una clasificación según el porcentaje de este parámetro para determinar la inteligibilidad. Según la *Tabla 1*, el valor 5,97% se encuentra en el rango de 0-7%, por tanto, la inteligibilidad del recinto se considera muy buena.

- *STI, índice de transmisión del habla.*

Tabla 35. Promedios y desviación estándar del parámetro *STI*[-]

Promedios de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	
Escenario	0,700
Planta 0	0,609
Planta 1	0,613
Planta 2	0,632
Promedio Total	0,62
Desviaciones de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	
Escenario	0,000
Planta 0	0,021
Planta 1	0,024
Planta 2	0,035
Desviación Total	0,03

Tabla 36. Promedio y desviación estándar del parámetro STI[-]

MEDIA	0,62
DESVIACIÓN (σ)	0,03

En la *Tabla 35* se muestra el promedio del parámetro *STI*, como se explicó en el apartado 4.3.4. existe una clasificación para determinar la calidad de transmisión del habla. Según la *Tabla 2*, el valor 0,62 se encuentra en el rango de 0,6-1, por tanto, la calidad de transmisión es muy buena.

9. VALIDACIÓN DEL MODELO ACÚSTICO/GEOMÉTRICO

En este apartado se va a validar el modelo acústico/geométrico, que es el objetivo principal de este proyecto. Una vez terminado el modelo tridimensional en *SketchUp*, se haya realizado la exportación del modelo a *EASE*, se haya validado el modelo mediante la herramienta *Check Data* y *Check Holes* y se haya realizado correctamente el trazado de rayos, como se ha explicado en el apartado 7, se procede a la validación.

La validación consta de diferentes fases y se realiza utilizando los valores promedio de cada parámetro, tanto los valores medidos como simulados.

9.1. PROCESO DE CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS

Lo primero que se debe hacer una vez se ha comprobado que el recinto está bien diseñado para poder llevar a cabo la simulación, es la colocación de los oyentes en el recinto. Los oyentes se sitúan según las coordenadas que tenemos anotadas de las medidas *in situ*. En el software *EASE* los oyentes quedan representados mediante unas sillas rojas que apuntan hacia la fuente.



Figura 63. Vista de perfil del modelo del Corral de Comedias en EASE con oyentes

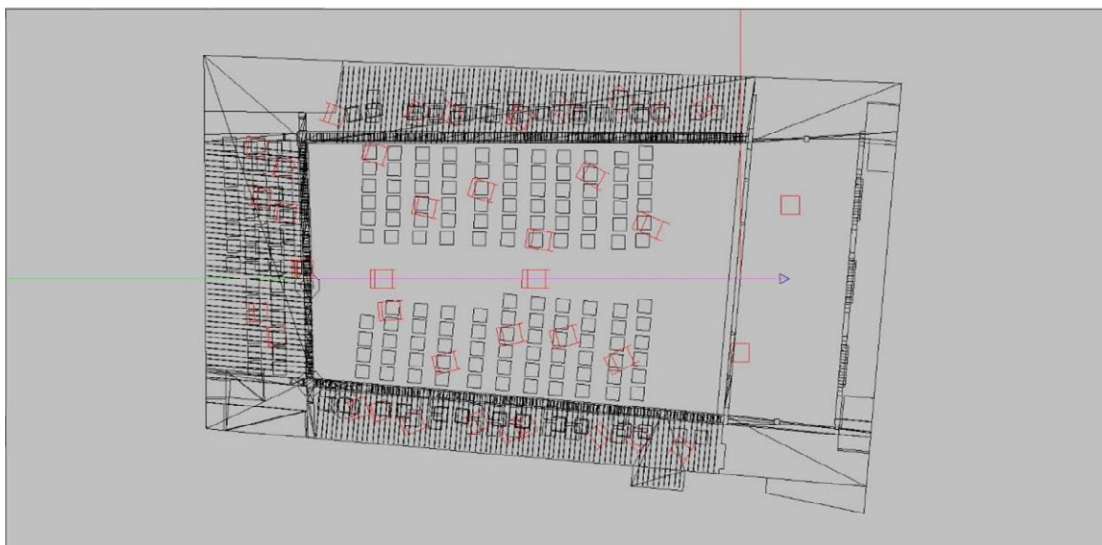


Figura 64. Vista de la planta del modelo del Corral de Comedias en EASE con oyentes

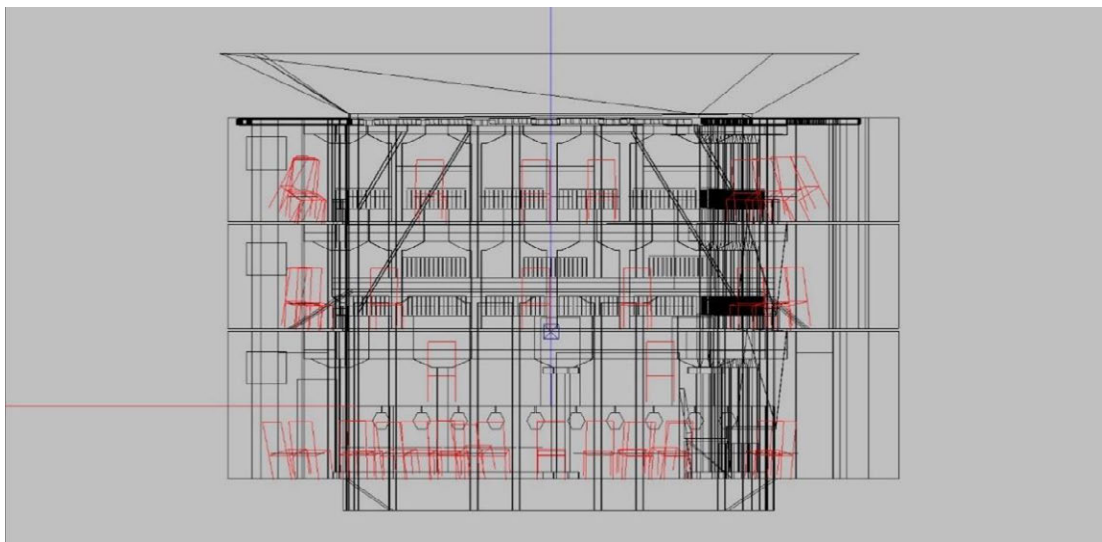


Figura 65. Vista del alzado del modelo del Corral de Comedias en EASE con oyentes

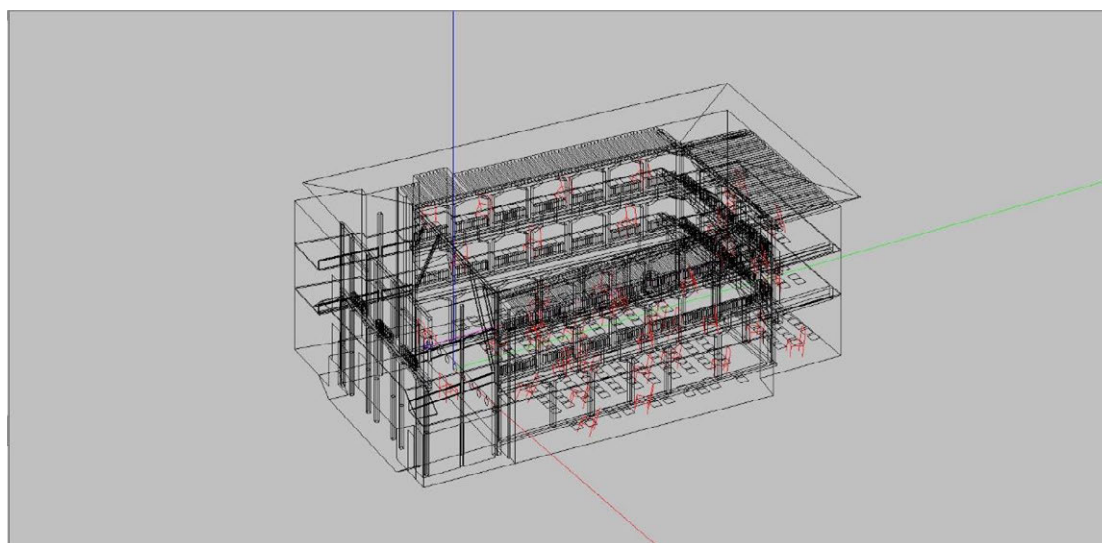


Figura 66. Vista isométrica del modelo del Corral de Comedias en EASE con oyentes

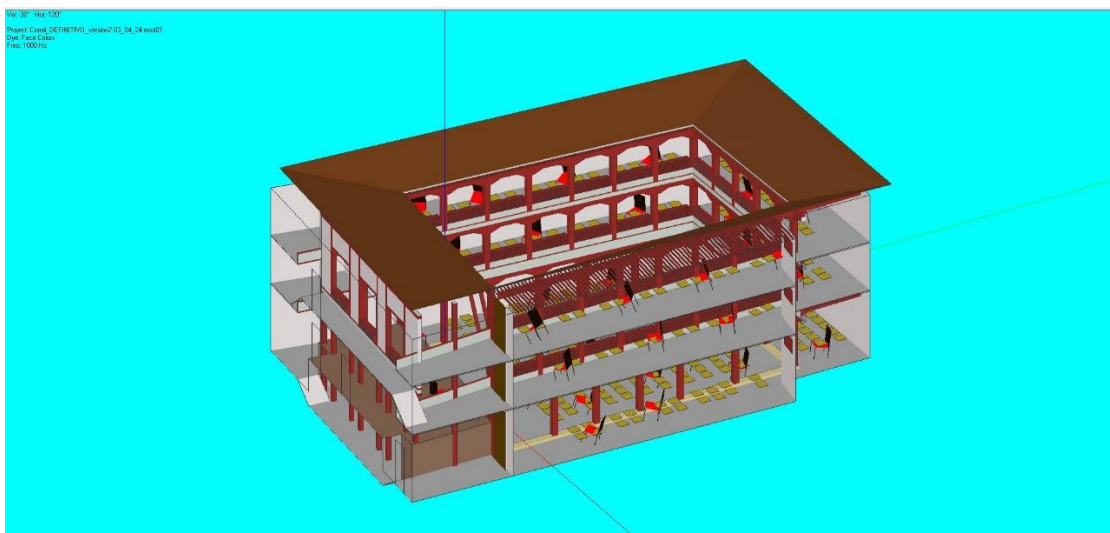


Figura 67. Vista isométrica renderizada del modelo del Corral de Comedias en EASE con oyentes

Como se puede apreciar en las Figuras 63, 64, 65, 66 y 67, los oyentes están situados en las coordenadas de las medidas in situ y apuntan a la fuente emisora. Para tener una visión más clara de las perspectivas de cada oyente, a continuación, se muestran las vistas que tiene la fuente y algunas posiciones de micrófono respecto de la fuente.

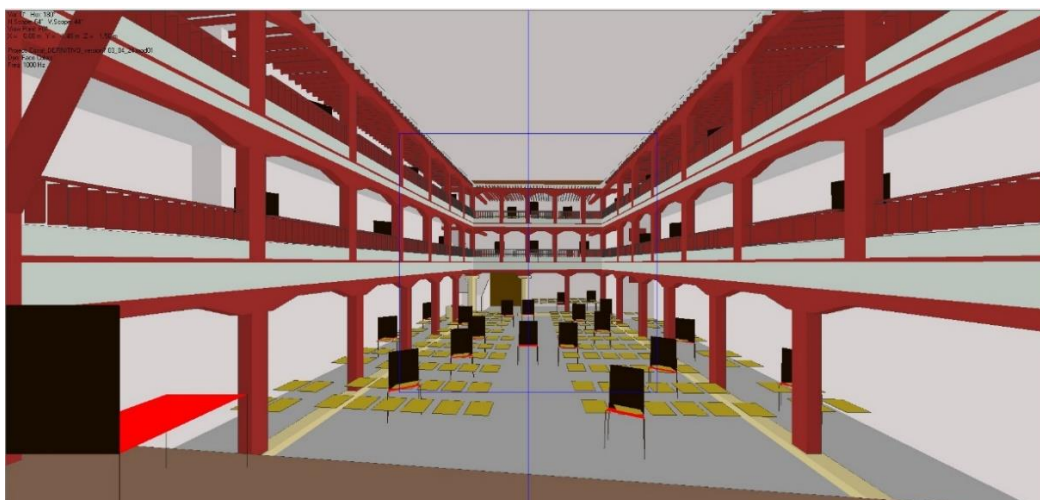


Figura 68. Vista desde la fuente emisora en software EASE

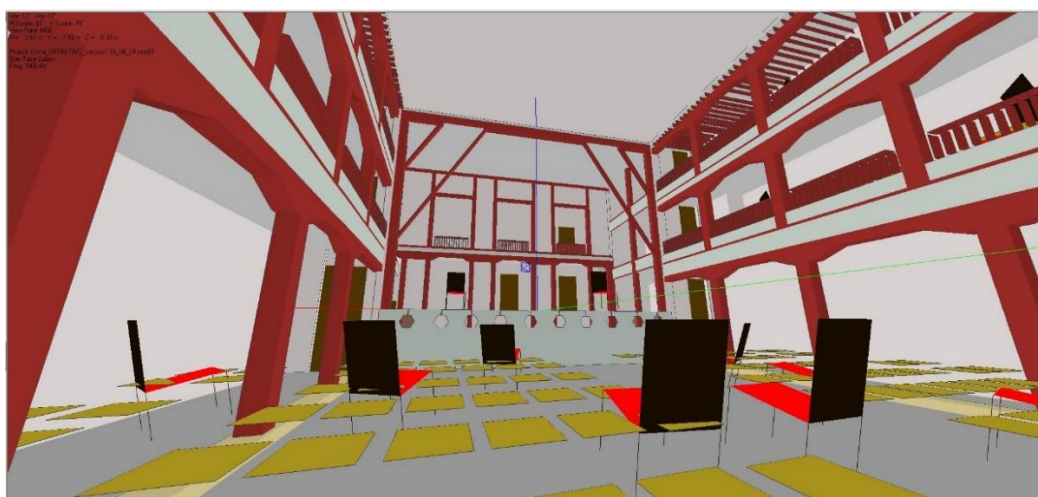


Figura 69. Vista desde la posición del micrófono M06 en software EASE

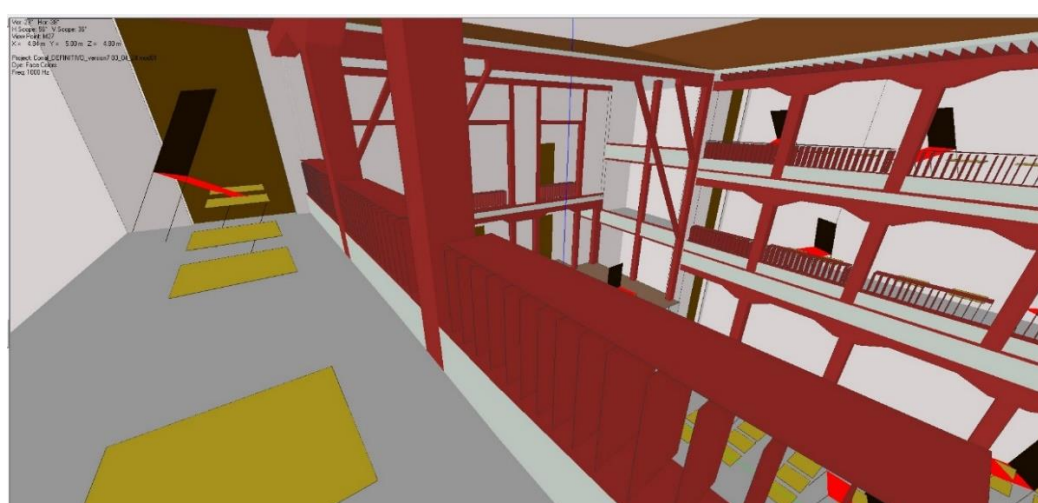


Figura 70. Vista desde la posición del micrófono M27 en software EASE

Al tener todos los oyentes situados, se procede a la configuración de parámetros para la validación. El software *EASE* ofrece dos tipos de entrada de datos para ajustar el tiempo de reverberación: la geometría del modelo (tener en cuenta el volumen del recinto) y la absorción de las superficies del recinto (materiales asignados con anterioridad al importar el modelo). Como el proceso de simulación de parámetros acústicos requiere un elevado coste computacional, es necesario realizar los cambios y configuraciones necesarios con cierta coherencia.

En la primera fase de la simulación es fundamental ajustar el tiempo de reverberación de la sala al tiempo de reverberación medido. Este parámetro es calculado por *EASE* por el método estadístico mediante la fórmula de Eyring.

Cuando se habla de ajustar el tiempo de reverberación, implica la modificación de ciertos materiales asignados al realizar la importación. El tiempo de reverberación depende de la absorción que tienen los materiales que cubren las superficies de absorción que conforman la sala. Los materiales asignados han sido sacados de una base de datos común a más recintos y se han intentado asignar los que tienen unas características similares al material real. Se busca lograr un equilibrio entre el tiempo de reverberación obtenido mediante la fórmula de Eyring, T30, C50 (claridad de la voz) y C80 (claridad musical).

En el caso de nuestro recinto, el Corral de Comedias, al ser un recinto abierto el software *EASE* no es capaz de simularlo. Para que pueda realizar una simulación se le ha añadido una “tapa” en la parte del techo

para cerrarlo. Esta tapa se configura con un material 100% absorbente, intentando imitar el comportamiento que tendría un recinto abierto (recinto abierto -> se disipa todo por techo, no hay reflexiones, 100%). El volumen de la sala es de 1877 m^3 , pero uno de los problemas de añadir esta tapa es que aumenta de forma considerable la superficie total de absorción del recinto. Si tenemos en mente la fórmula de Eyring:

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} [s] \quad (3)$$

V: Volumen del recinto

S: Superficie del recinto

$\bar{\alpha}$: Coeficiente de absorción medio del recinto

Al aumentar el coeficiente de absorción medio del recinto añadiendo esa tapa, el tiempo de reverberación va a ser muy diferente al medido, por tanto, se van a necesitar una serie de ajustes en el recinto para intentar ajustar lo simulado con la medida *in situ*.

9.2. MODIFICACIONES

En este apartado se van a explicar las modificaciones que se han llevado a cabo en la sala para intentar ajustar el tiempo de reverberación y los parámetros nombrados en el apartado 9.1.

9.2.1. MODIFICACIÓN 1

En esta primera modificación se ha cambiado el material 183 (que se había asignado al material de revestimiento de madera pesado) por el material 180 (revestimiento de madera 1), con el fin de cambiar el coeficiente de absorción de la sala en frecuencias bajas y medias.

Por otra parte, se ha elevado el cerramiento de la sala para aumentar su volumen y así poder ajustar mejor la fórmula de Eyring. El techo se ha elevado en 7 metros respecto de los tejados, a los nuevos laterales que surgen de esta elevación se les asigna un material con la menor absorción posible (material 000 abs 0%), para que no influya, de forma notable, en el coeficiente de absorción medio del recinto.

DETALLE DE MODIFICACIONES	
1. Cambio del material 183 (Revestimiento de madera pesado) por el material 180 (Revestimiento de madera 1).	
2. Se ha elevado el cerramiento de la sala 7.00 metros con repesto de los tejados. Los laterales del cerramiento se han asignado con el material 000 (Abs 0).	

Figura 71. Resumen detalle de modificaciones de la Modificación 1

Tabla 37. Cálculos método estadístico (Standard) y geométrico (AURA) del parámetro C50[dB]

Frecuencias [Hz]	C50 STD						C50 AURA					
	C50 med	F01	F02	Average	JND	Esc JND	C50 med	F01	F02	Average	JND	Esc JND
100 Hz	-2,33	0,84		0,84	3,17	4	-2,33	1,30		1,3	3,63	4
125 Hz	-1,66	0,69		0,69	2,35	3	-1,66	1,18		1,18	2,84	3
160 Hz	-1,51	0,84		0,84	2,35	3	-1,51	1,45		1,45	2,96	3
200 Hz	-1,56	1,06		1,06	2,62	3	-1,56	1,34		1,34	2,90	3
250 Hz	-1,47	1,21		1,21	2,68	3	-1,47	1,70		1,7	3,17	4
315 Hz	-0,03	1,32		1,32	1,35	2	-0,03	1,97		1,97	2,00	3
400 Hz	-0,21	1,50		1,5	1,71	2	-0,21	2,38		2,38	2,59	3
500 Hz	-0,88	1,61		1,61	2,49	3	-0,88	2,44		2,44	3,32	4
630 Hz	-0,54	1,91		1,91	2,45	3	-0,54	2,90		2,9	3,44	4
800 Hz	-0,06	2,29		2,29	2,35	3	-0,06	3,39		3,39	3,45	4
1000 Hz	-0,14	2,59		2,59	2,73	3	-0,14	3,49		3,49	3,63	4
1250 Hz	-0,41	2,93		2,93	3,34	4	-0,41	4,14		4,14	4,55	5
1600 Hz	0,31	3,22		3,22	2,91	3	0,31	4,27		4,27	3,96	4
2000 Hz	1,20	3,59		3,59	2,39	3	1,20	5,08		5,08	3,88	4
2500 Hz	1,46	3,58		3,58	2,12	3	1,46	5,16		5,16	3,70	4
3150 Hz	2,03	3,55		3,55	1,52	2	2,03	4,73		4,73	2,70	3
4000 Hz	2,84	3,65		3,65	0,81	1	2,84	5,17		5,17	2,33	3
5000 Hz	3,65	3,98		3,98	0,33	1	3,65	5,78		5,78	2,13	3
6300 Hz	4,92	4,46		4,46	0,46	1	4,92	6,46		6,46	1,54	2
8000 Hz	5,98	5,16		5,16	0,82	1	5,98	7,63		7,63	1,65	2
10000 Hz	9,24	6,12		6,12	3,12	4	9,24	8,60		8,6	0,64	1

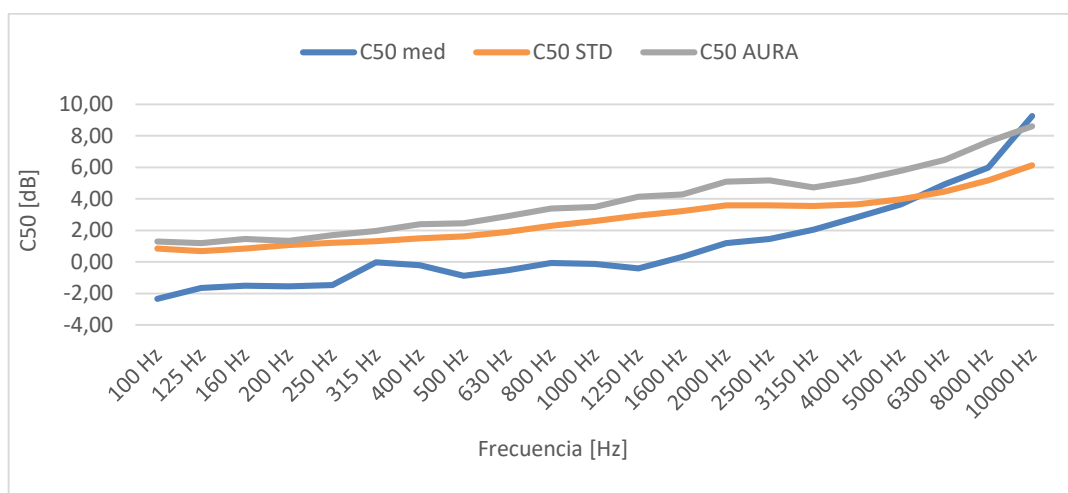


Gráfico 21. Parámetro C50 en la Modificación 1 con datos de medidas in situ, Standard y AURA

En el Gráfico 21, se puede observar cómo tanto los valores de *Standard* y *AURA* se encuentran muy alejados de los valores obtenidos mediante las medidas in situ.

Tabla 38. Cálculos método estadístico (Standard) y geométrico (AURA) del parámetro C80[dB]

Frecuencias [Hz]	C80 STD						C80 AURA					
	C80 med	F01	F02	Average	JND	Esc JND	C80 med	F01	F02	Average	JND	Esc JND
100 Hz	0,76	3,71		3,71	2,95	3	0,76	4,11		4,11	3,35	4
125 Hz	0,77	3,53		3,53	2,76	3	0,77	4,05		4,05	3,28	4
160 Hz	0,61	3,71		3,71	3,10	4	0,61	4,43		4,43	3,82	4
200 Hz	1,90	3,97		3,97	2,07	3	1,90	4,29		4,29	2,39	3
250 Hz	1,60	4,15		4,15	2,55	3	1,60	4,79		4,79	3,19	4
315 Hz	2,75	4,28		4,28	1,53	2	2,75	5,04		5,04	2,29	3
400 Hz	2,90	4,49		4,49	1,59	2	2,90	5,56		5,56	2,66	3
500 Hz	2,15	4,63		4,63	2,48	3	2,15	5,55		5,55	3,40	4
630 Hz	2,31	5,00		5	2,69	3	2,31	6,12		6,12	3,81	4
800 Hz	2,66	5,45		5,45	2,79	3	2,66	6,77		6,77	4,11	5
1000 Hz	2,89	5,82		5,82	2,93	3	2,89	6,80		6,8	3,91	4
1250 Hz	2,79	6,25		6,25	3,46	4	2,79	7,42		7,42	4,63	5
1600 Hz	3,24	6,61		6,61	3,37	4	3,24	7,96		7,96	4,72	5
2000 Hz	4,13	7,07		7,07	2,94	3	4,13	8,93		8,93	4,80	5
2500 Hz	4,63	7,06		7,06	2,43	3	4,63	9,02		9,02	4,39	5
3150 Hz	5,18	7,03		7,03	1,85	2	5,18	8,37		8,37	3,19	4
4000 Hz	6,03	7,17		7,17	1,14	2	6,03	8,99		8,99	2,96	3
5000 Hz	7,16	7,61		7,61	0,45	1	7,16	9,88		9,88	2,72	3
6300 Hz	8,52	8,26		8,26	0,26	1	8,52	10,47		10,47	1,95	2
8000 Hz	9,76	9,21		9,21	0,55	1	9,76	12,07		12,07	2,31	3
10000 Hz	13,48	10,56		10,56	2,92	3	13,48	13,41		13,41	0,07	1

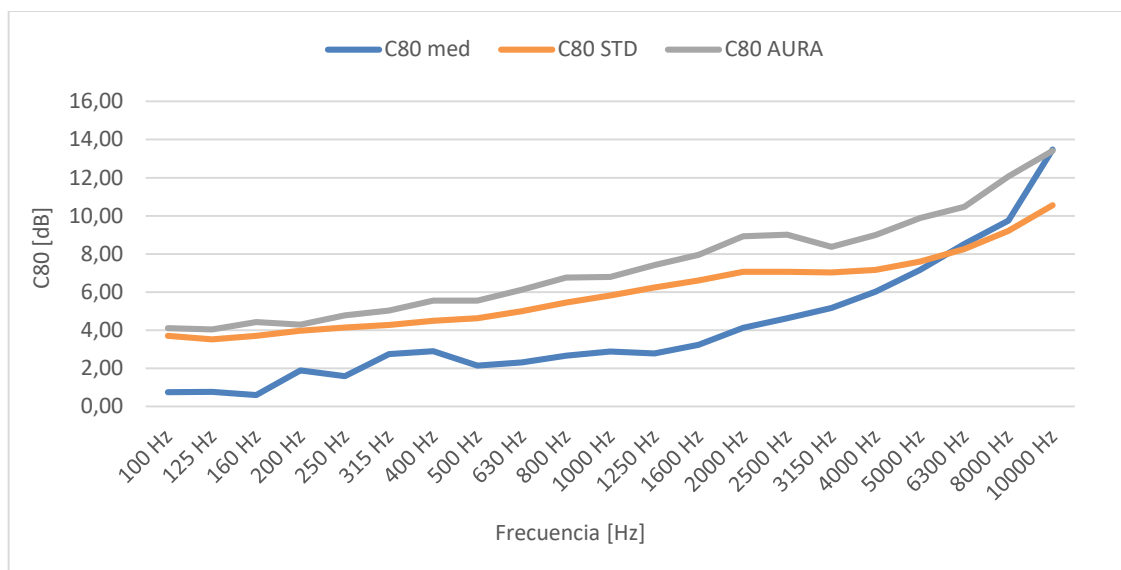


Gráfico 22. Parámetro C80 en la Modificación 1 con datos de medidas in situ, Standard y AURA

Como en el caso del parámetro C50, con el parámetro C80 se visualiza el mismo resultado. En el Gráfico 22, se aprecia como los valores de Standard y AURA se encuentra muy alejados de los valores obtenidos mediante las medidas in situ.

Tabla 39. Cálculos método estadístico (Standard), RT[s] y geométrico (AURA), T30[s]

Frecuencias [Hz]	T30 AURA						Frecuencias [Hz]	RT STD			
	T30 med	F01	F02	Average	JND	Esc JND		RT med	RT	JND	Esc JND
100 Hz	1,46	0,94		0,94	36%	8	100 Hz	1,46	1,02	0,30	7
125 Hz	1,41	0,99		0,99	30%	6	125 Hz	1,41	1,04	0,26	6
160 Hz	1,39	0,95		0,95	31%	7	160 Hz	1,37	1,02	0,25	6
200 Hz	1,27	0,91		0,91	28%	6	200 Hz	1,25	0,98	0,21	5
250 Hz	1,17	0,90		0,9	23%	5	250 Hz	1,18	0,96	0,19	4
315 Hz	1,16	0,91		0,91	21%	5	315 Hz	1,16	0,94	0,19	4
400 Hz	1,16	0,85		0,85	26%	6	400 Hz	1,14	0,92	0,20	4
500 Hz	1,17	0,82		0,82	30%	7	500 Hz	1,18	0,9	0,24	5
630 Hz	1,14	0,79		0,79	31%	7	630 Hz	1,14	0,86	0,25	5
800 Hz	1,10	0,80		0,8	27%	6	800 Hz	1,10	0,82	0,26	6
1000 Hz	1,04	0,79		0,79	24%	5	1000 Hz	1,04	0,78	0,25	6
1250 Hz	1,00	0,80		0,8	20%	5	1250 Hz	1,00	0,74	0,26	6
1600 Hz	0,95	0,96		0,96	2%	1	1600 Hz	0,95	0,71	0,25	6
2000 Hz	0,90	0,69		0,69	23%	5	2000 Hz	0,90	0,68	0,25	5
2500 Hz	0,84	0,66		0,66	22%	5	2500 Hz	0,84	0,68	0,19	4
3150 Hz	0,79	0,61		0,61	23%	5	3150 Hz	0,79	0,68	0,16	4
4000 Hz	0,74	0,67		0,67	9%	2	4000 Hz	0,74	0,67	0,13	3
5000 Hz	0,67	0,63		0,63	6%	2	5000 Hz	0,67	0,64	0,12	3
6300 Hz	0,61	0,58		0,58	5%	1	6300 Hz	0,61	0,59	0,12	3
8000 Hz	0,54	0,51		0,51	6%	2	8000 Hz	0,55	0,54	0,14	3
10000 Hz	0,42	0,42		0,42	1%	1	10000 Hz	0,43	0,47	0,09	2

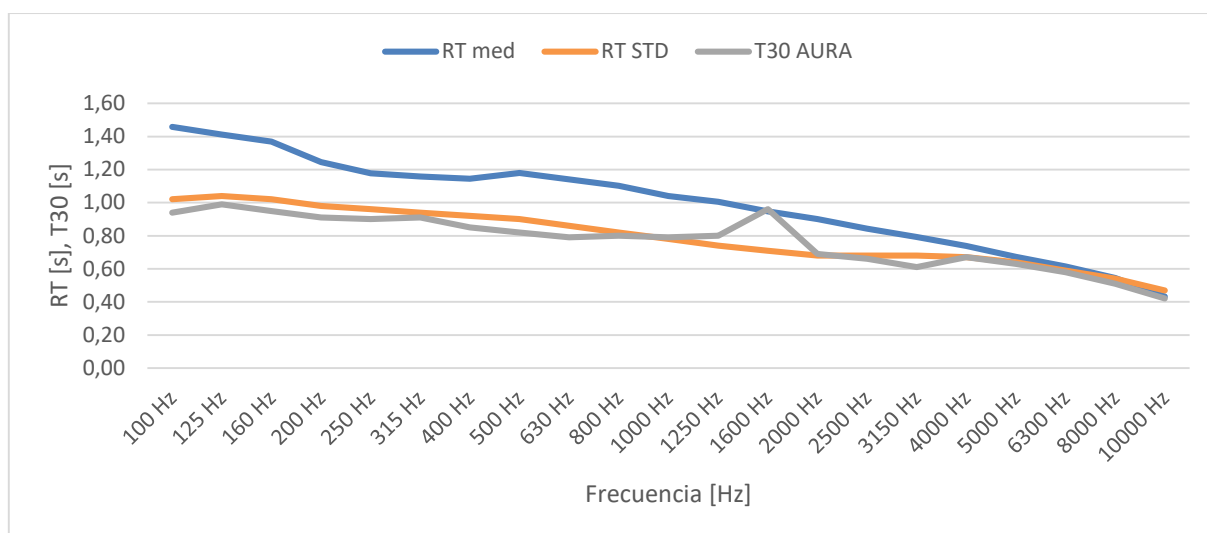


Gráfico 23. Parámetros T30 y RT en la Modificación 1 con datos de medidas in situ, Standard y AURA

En el Gráfico 23, se puede observar cómo los valores de *Standard* y *AURA* se encuentran un poco por debajo de los valores obtenidos mediante las medidas *in situ*. El pico de *AURA* que se ve en la banda de frecuencia de 1,6 kHz se puede deber a un fallo de estimación por parte del programa, ya que estos cálculos previos se hacen de forma rápida y sin consumir muchos recursos computacionales.

Tabla 40. Tabla de escalones JND en la Modificación 1

MODIFICACIÓN 1						
Frecuencias [Hz]	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard
100 Hz	4	4	3	4	8	7
125 Hz	3	3	3	4	6	6
160 Hz	3	3	4	4	7	6
200 Hz	3	3	3	3	6	5
250 Hz	3	4	3	4	5	4
315 Hz	2	3	2	3	5	4
400 Hz	2	3	2	3	6	4
500 Hz	3	4	3	4	7	5
630 Hz	3	4	3	4	7	5
800 Hz	3	4	3	5	6	6
1000 Hz	3	4	3	4	5	6
1250 Hz	4	5	4	5	5	6
1600 Hz	3	4	4	5	1	6
2000 Hz	3	4	3	5	5	5
2500 Hz	3	4	3	5	5	4
3150 Hz	2	3	2	4	5	4
4000 Hz	1	3	2	3	2	3
5000 Hz	1	3	1	3	2	3
6300 Hz	1	2	1	2	1	3
8000 Hz	1	2	1	3	2	3
10000 Hz	4	1	3	1	1	2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	12	14	40	28	17	10	4	1	0	0	126
% sobre Total	10%	11%	32%	22%	13%	8%	3%	1%	0%	0%	
% acumulado	10%	21%	52%	75%	88%						

Como ya se ha visto en los Gráficos 21, 22 y 23, los valores de las medidas *in situ* y *Standard* y *AURA* se encuentran alejados. En la Tabla 38, se muestra de forma resumida los escalones JND de los parámetros *RT*, *C50* y *C80* tras la Modificación 1. El recuento de las celdas que podemos considerar como válidas para aceptar la simulación es del 52% (escalones 1, 2 y 3). Se trata de un porcentaje muy bajo como para considerar la simulación válida (el objetivo fijado es de >70%). Además, los escalones JND de *RT* en frecuencias bajas y medias tienen resultados muy deficientes. Por tanto, es necesario realizar otras modificaciones sobre el modelo.

9.2.2. MODIFICACIÓN 2

En esta modificación se decide aumentar de nuevo la altura del recinto, elevando el techo a 10 metros respecto de los tejados, a los laterales que surgen de esta elevación, como se ha hecho antes, se les asigna un material con la menor absorción posible (material 000 abs 0%). Esta vez no se aplica ningún cambio sobre los materiales utilizados para cambiar la absorción de la sala.

DETALLE DE MODIFICACIONES	
3. Se ha elevado el cerramiento de la sala 10.00 metros con repesto de los tejados. Los laterales del cerramiento se han asignado con el material 000 (Abs 0).	

Figura 72. Resumen detalle de modificaciones de la Modificación 2

Tabla 41. Tabla de escalones JND en la Modificación 2

MODIFICACIÓN 2										
Frecuencias [Hz]	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard				
100 Hz	3	4	2	4	6	4				
125 Hz	2	3	2	4	4	3				
160 Hz	2	3	2	4	4	3				
200 Hz	2	3	1	3	5	2				
250 Hz	2	4	2	4	4	1				
315 Hz	1	2	1	3	2	1				
400 Hz	1	3	1	3	4	1				
500 Hz	2	4	2	4	4	2				
630 Hz	2	4	2	4	4	2				
800 Hz	2	4	2	4	3	3				
1000 Hz	2	4	2	4	2	2				
1250 Hz	3	5	3	5	3	3				
1600 Hz	2	5	2	5	4	2				
2000 Hz	2	4	2	5	2	2				
2500 Hz	2	4	2	4	1	1				
3150 Hz	1	3	1	4	1	1				
4000 Hz	1	3	1	3	1	2				
5000 Hz	1	2	1	3	1	3				
6300 Hz	2	2	2	2	2	3				
8000 Hz	2	2	2	3	1	3				
10000 Hz	4	1	5	1	2	5				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	23	43	24	27	8	1	0	0	0	0	126
% sobre Total	18%	34%	19%	21%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	
% acumulado	18%	52%	71%	93%	99%						

En la *Tabla 41*, se muestra de forma resumida los escalones JND de los parámetros *RT*, *C50* y *C80* tras la *Modificación 2*. El recuento de las celdas que podemos considerar como válidas para aceptar la simulación es del 71% (escalones 1, 2 y 3). Este porcentaje ya supera el objetivo fijado de >70%, aunque por muy poco, pero esta configuración ya podría tomarse como válida para la simulación. Sin embargo, los escalones JND de *RT* en frecuencias bajas tienen resultados que todavía podrían mejorarse. Por tanto, se van a probar diferentes modificaciones sobre el modelo para intentar mejorar el porcentaje de celdas de los tres primeros escalones.

9.2.3. MODIFICACIÓN 3

En esta modificación, como en el caso anterior, únicamente se ha aumentado de nuevo la altura del recinto, elevando el techo a 12 metros respecto de los tejados, a los laterales que surgen de esta elevación, como se ha hecho antes, se les asigna un material con la menor absorción posible (material 000 abs 0%). De nuevo, no se aplica ningún cambio sobre los materiales utilizados para cambiar la absorción de la sala.

DETALLE DE MODIFICACIONES	
4. Se ha elevado el cerramiento de la sala 12.00 metros con repesto de los tejados. Los laterales del cerramiento se han asignado con el material 000 (Abs 0).	

Figura 73. Resumen detalle de modificaciones de la Modificación 3

Tabla 42. Tabla de escalones JND en la Modificación 3

MODIFICACIÓN 3											
Frecuencias [Hz]	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard					
100 Hz	2	4	2	4	4	2					
125 Hz	1	3	1	4	4	1					
160 Hz	1	3	2	4	3	1					
200 Hz	2	4	1	3	3	2					
250 Hz	2	4	1	4	1	2					
315 Hz	1	2	1	3	1	2					
400 Hz	1	3	1	3	1	2					
500 Hz	2	4	1	4	1	1					
630 Hz	1	4	1	4	3	1					
800 Hz	1	4	1	4	2	1					
1000 Hz	2	4	1	5	1	1					
1250 Hz	2	5	2	5	3	1					
1600 Hz	2	5	2	5	3	1					
2000 Hz	1	4	1	5	2	1					
2500 Hz	1	4	1	5	1	2					
3150 Hz	1	3	1	4	4	3					
4000 Hz	1	3	1	3	3	4					
5000 Hz	2	3	2	3	3	5					
6300 Hz	2	2	3	3	1	5					
8000 Hz	3	2	3	3	2	5					
10000 Hz	5	1	5	1	2	7					

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	41	27	24	21	12	0	1	0	0	0	126
% sobre Total	33%	21%	19%	17%	10%	0%	1%	0%	0%	0%	
% acumulado	33%	54%	73%	90%	99%						

En la *Tabla 42*, se muestra de forma resumida los escalones JND de los parámetros *RT*, *C50* y *C80* tras la *Modificación 3*. El recuento de las celdas que podemos considerar como válidas para aceptar la simulación es del 73% (escalones 1, 2 y 3). Este porcentaje ya supera el objetivo fijado de >70%, como en el caso de la *Modificación 2*. Sin embargo, los escalones JND de *C50* y *C80* todavía podrían intentar mejorarse. En el caso de *RT Standard* en frecuencias altas tienen resultados en los escalones 5, 6 y 7 que también podrían mejorarse. Por tanto, se van a probar diferentes modificaciones sobre el modelo para intentar mejorar el porcentaje de celdas.

9.2.4. MODIFICACIÓN 4

En esta modificación, se han cambiado varios materiales:

- Cambio del material 180 (Revestimiento de madera 1) por el material 182 (Revestimiento de madera ligero) con el fin de arreglar la parte de bajas frecuencias, hasta los 500 Hz.
- Cambio del material 60 (Concrete or cinder block smooth face, generic) por el material 071 (Concrete or Cinder Block Smooth Face, mod BRG). Es una modificación del material 071 (Concrete or Cinder Block Smooth Face, mod NPR). Esta modificación pretende arreglar la parte de altas frecuencias y se ajusta mejor en bajas y medias frecuencias.

DETALLE DE MODIFICACIONES	
5.	Cambio del material 180 (Revestimiento de madera 1) por el material 182 (Revestimiento de madera ligero). Arregla la parte de baja frecuencia (hasta 500 Hz).
6.	Cambio del material 60 (Concrete or cinder block smooth face, generic) por el material (071 Concrete or Cinder Block Smooth Face, mod BRG). Es una modificación del material 071 (Concrete or Cinder Block Smooth Face, mod NPR). Arregla la parte de altas frecuencias y se ajusta mejor en bajas y medias frecuencias.

Figura 74. Resumen detalle de modificaciones de la Modificación 4

Tabla 43. Tabla de escalones JND en la Modificación 4

MODIFICACIÓN 4						
Frecuencias [Hz]	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard
100 Hz	2	3	1	3	3	1
125 Hz	1	3	1	3	2	1
160 Hz	2	3	2	4	3	1
200 Hz	2	4	1	4	1	1
250 Hz	2	5	2	5	4	1
315 Hz	1	3	1	4	1	1
400 Hz	1	4	1	4	3	1
500 Hz	2	5	2	5	3	1
630 Hz	2	5	2	5	1	2
800 Hz	2	5	2	5	4	2
1000 Hz	2	5	2	5	2	1
1250 Hz	2	5	2	6	2	1
1600 Hz	2	5	2	6	3	1
2000 Hz	2	5	2	6	2	1
2500 Hz	2	5	2	6	1	1
3150 Hz	1	5	1	6	1	1
4000 Hz	1	5	1	5	2	1
5000 Hz	1	5	1	6	4	2
6300 Hz	1	4	1	5	2	2
8000 Hz	2	5	2	6	2	2
10000 Hz	4	3	4	3	4	3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	36	36	14	13	20	7	0	0	0	0	126
% sobre Total	29%	29%	11%	10%	16%	6%	0%	0%	0%	0%	
% acumulado	29%	57%	68%	79%	94%						

En la Tabla 43, se muestra de forma resumida los escalones JND de los parámetros RT, C50 y C80 tras la Modificación 4. El recuento de las celdas que podemos considerar como válidas para aceptar la simulación es del 68% (escalones 1, 2 y 3). Este porcentaje ya no supera el objetivo fijado de >70%. Se ha mejora en

el RT, pero se ha empeorado en los parámetros *C50* y *C80*. Por tanto, se van a probar diferentes modificaciones sobre el modelo para intentar mejorar el porcentaje de celdas.

9.2.5. MODIFICACIÓN 5

En esta modificación se va a deshacer uno de los cambios hechos en la Modificación 4. Cambio del material 071 (Concrete or Cinder Block Smooth Face, mod BRG) por el material 60 (Concrete or cinder block smooth face, generic).

DETALLE DE MODIFICACIONES	
7. Se deshace el cambio 6. Cambio del material 071 por el material 060.	

Figura 75. Resumen detalle de modificaciones de la Modificación 5

Tabla 44. Tabla de escalones JND en la Modificación 5

MODIFICACIÓN 5						
Frecuencias [Hz]	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard
100 Hz	3	5	2	4	5	3
125 Hz	2	4	2	4	4	2
160 Hz	2	4	2	5	4	2
200 Hz	2	5	2	4	2	2
250 Hz	3	5	2	5	4	1
315 Hz	1	3	1	4	2	1
400 Hz	1	4	1	4	3	1
500 Hz	2	4	1	4	2	1
630 Hz	2	4	2	4	2	1
800 Hz	1	4	1	4	2	1
1000 Hz	2	4	1	4	1	1
1250 Hz	2	5	2	5	1	1
1600 Hz	2	4	2	5	3	1
2000 Hz	1	4	1	5	2	1
2500 Hz	1	4	1	4	4	2
3150 Hz	1	3	1	4	5	3
4000 Hz	1	3	1	3	4	5
5000 Hz	2	2	2	3	2	5
6300 Hz	2	2	3	2	3	5
8000 Hz	3	2	3	2	2	5
10000 Hz	5	1	5	1	4	7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	30	36	15	27	17	0	1	0	0	0	126
% sobre Total	24%	29%	12%	21%	13%	0%	1%	0%	0%	0%	
% acumulado	24%	52%	64%	86%	99%						

En la Tabla 44, se muestra de forma resumida los escalones JND de los parámetros *RT*, *C50* y *C80* tras la Modificación 5. El recuento de las celdas que podemos considerar como válidas para aceptar la simulación es del 64% (escalones 1, 2 y 3). Este porcentaje no supera el objetivo fijado de >70%. Por tanto, no es válido para realizar la simulación.

9.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN

Una vez estudiadas las modificaciones anteriores, se procede a escoger la que se va a tomar para realizar la simulación. En este caso, se elige la *Modificación 3*, ya que es la con que se han obtenido mejores resultados en la tabla en métrica JND.

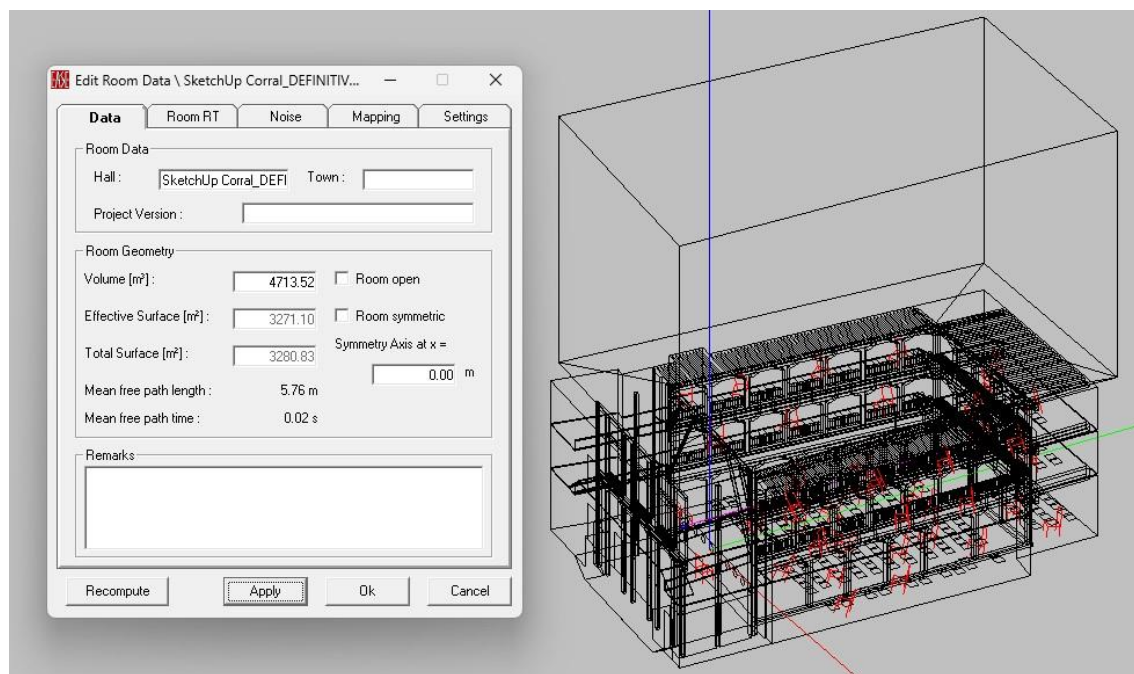


Figura 76. Modelo final en EASE con la Modificación 3

En la Figura 76 se muestra cómo es el modelo definitivo con la *Modificación 3*, donde se ha elevado la tapa del techo para aumentar el volumen de la sala. A partir de este modelo se van a generar los resultados de la simulación. Los parámetros se van a clasificar como: temporales, energéticos, espaciales y de inteligibilidad.

La comparación de resultados se hace a partir de las medias *in situ* y las simuladas en EASE. La simulación en EASE se hace mediante la opción *Standard Mapping* (en el caso de la teoría estadística) y *AURA Mapping* (en el caso de la teoría geométrica). Estas son las configuraciones utilizadas en el software EASE para el caso de *AURA Mapping*, se ha configurado una resolución alta (*Very High Resolution*) y una longitud de cálculo de la respuesta impulsiva larga (*Extended*) para obtener unos valores lo más precisos posible (Figura 77).

Una vez termina la simulación, que tarda unos 35 o 40 minutos en realizarse por completo, se extraen los datos de todos los parámetros. Los datos obtenidos se trasladan a *Excel* para su procesamiento, siguiendo el mismo procedimiento que el realizado con el procesamiento de las medidas *in situ*. En este caso no es necesario realizar un filtrado de datos con mediante la máscara de *INR* para el cálculo del promedio, ya que los datos obtenidos de EASE no tienen datos relativos a la relación impulso a ruido. En este procesamiento solo es necesario aplicar el criterio de *Chauvenet* para descartar valores estadísticamente poco representativos.

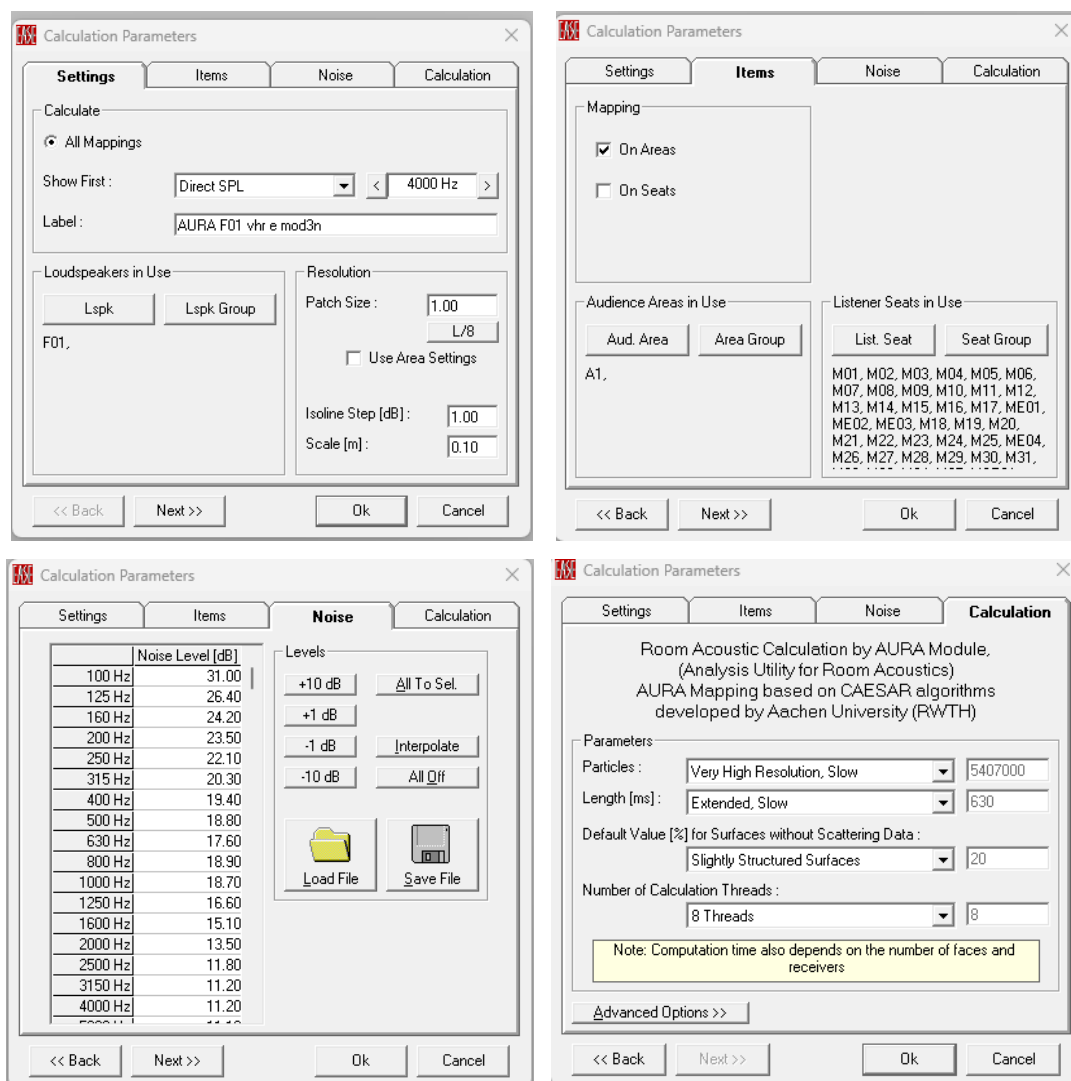


Figura 77. Configuraciones utilizadas en software EASE para el cálculo de AURA Mapping

9.3.1. PARÁMETROS TEMPORALES

- *EDT, tiempo de reverberación temprano.*

Tabla 45. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro EDT

EDT [s] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	1,46	0,41	0,97	0,34	4
125	1,51	0,38	0,99	0,34	4
160	1,46	0,35	0,97	0,34	4
200	1,30	0,31	0,93	0,28	3
250	1,13	0,18	0,91	0,20	2
315	1,15	0,19	0,89	0,23	3
400	1,24	0,18	0,85	0,31	4
500	1,17	0,14	0,83	0,29	3
630	1,19	0,17	0,79	0,33	4
800	1,13	0,14	0,75	0,34	4
1000	1,11	0,11	0,71	0,35	4
1250	1,02	0,12	0,67	0,34	4
1600	0,98	0,10	0,64	0,35	4
2000	0,93	0,08	0,60	0,36	4
2500	0,85	0,08	0,59	0,31	4
3150	0,79	0,08	0,59	0,25	3
4000	0,73	0,06	0,58	0,21	3
5000	0,66	0,06	0,53	0,20	3
6300	0,57	0,07	0,47	0,17	2
8000	0,51	0,07	0,42	0,18	2
10000	0,38	0,03	0,36	0,04	1

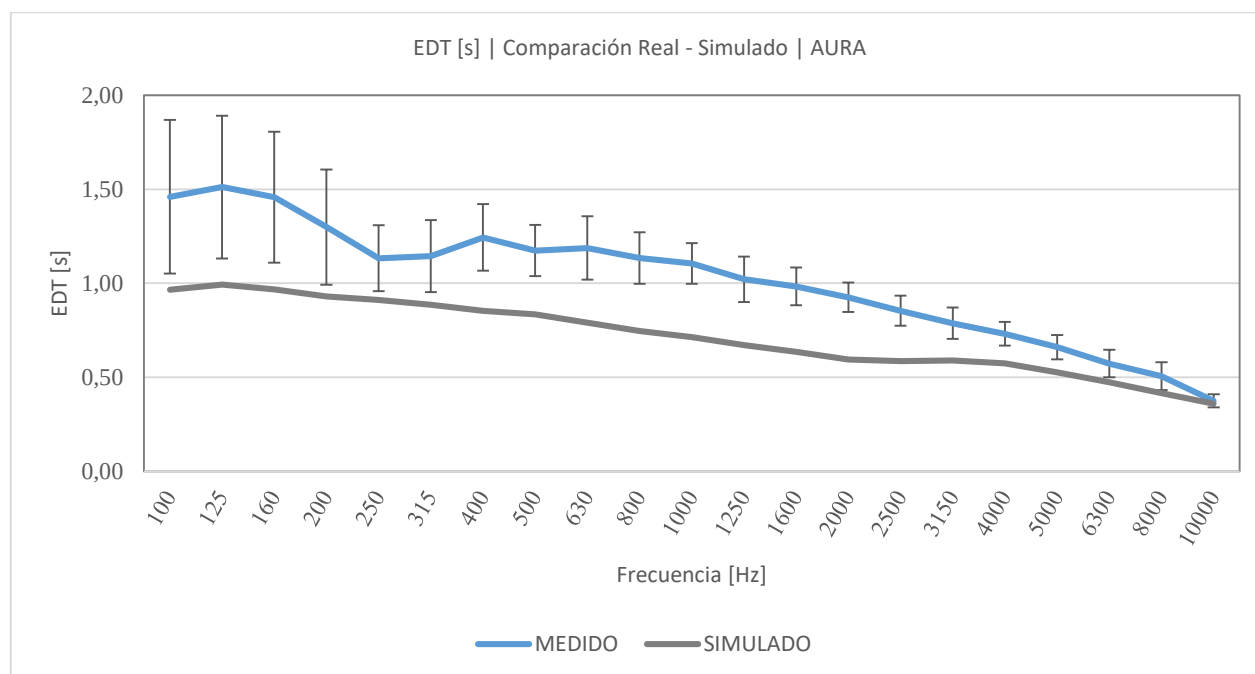


Gráfico 24. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro EDT

- T20

Tabla 46. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro T20

T20 [s] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	1,45	0,27	1,10	0,25	3
125	1,42	0,20	1,10	0,23	3
160	1,41	0,16	1,10	0,22	3
200	1,30	0,17	1,06	0,19	2
250	1,18	0,12	1,03	0,13	2
315	1,16	0,09	0,99	0,15	2
400	1,13	0,11	0,99	0,12	2
500	1,18	0,09	0,98	0,17	2
630	1,15	0,07	0,95	0,17	2
800	1,10	0,08	0,90	0,18	2
1000	1,04	0,06	0,88	0,16	2
1250	1,00	0,06	0,85	0,15	2
1600	0,95	0,05	0,82	0,13	2
2000	0,91	0,04	0,78	0,14	2
2500	0,85	0,05	0,79	0,07	1
3150	0,79	0,05	0,76	0,05	1
4000	0,74	0,04	0,72	0,03	1
5000	0,68	0,03	0,66	0,02	1
6300	0,61	0,04	0,59	0,03	1
8000	0,55	0,03	0,51	0,06	1
10000	0,43	0,02	0,44	0,01	1

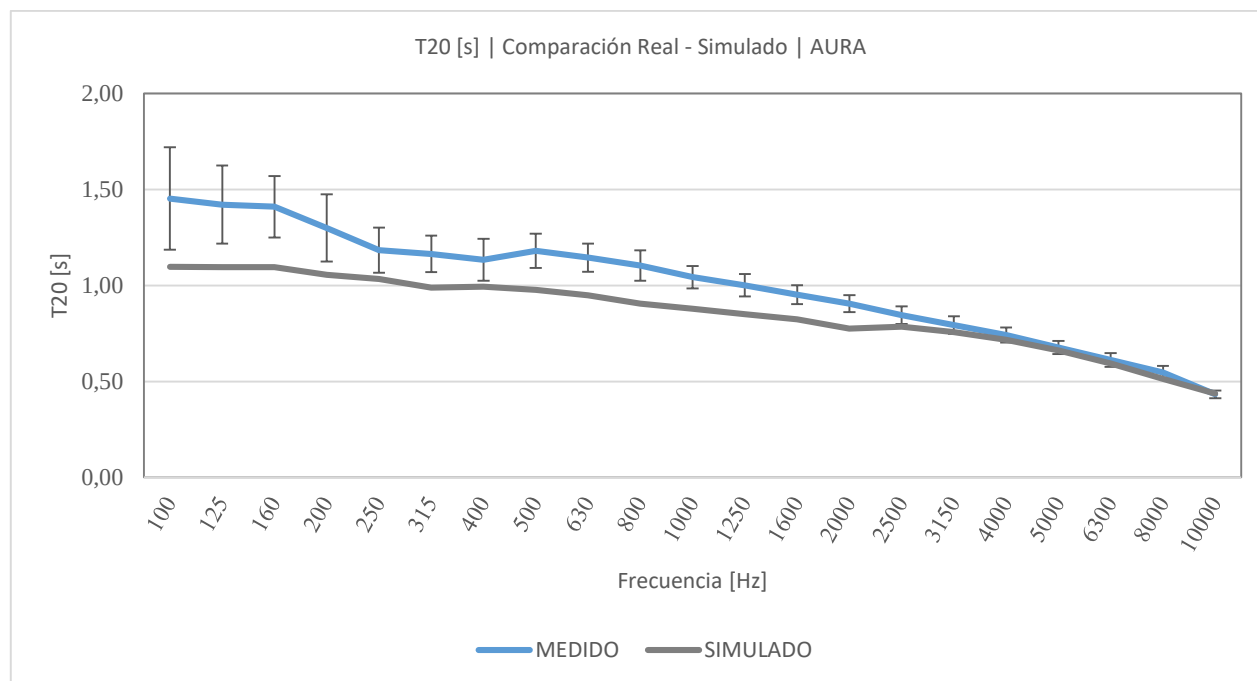
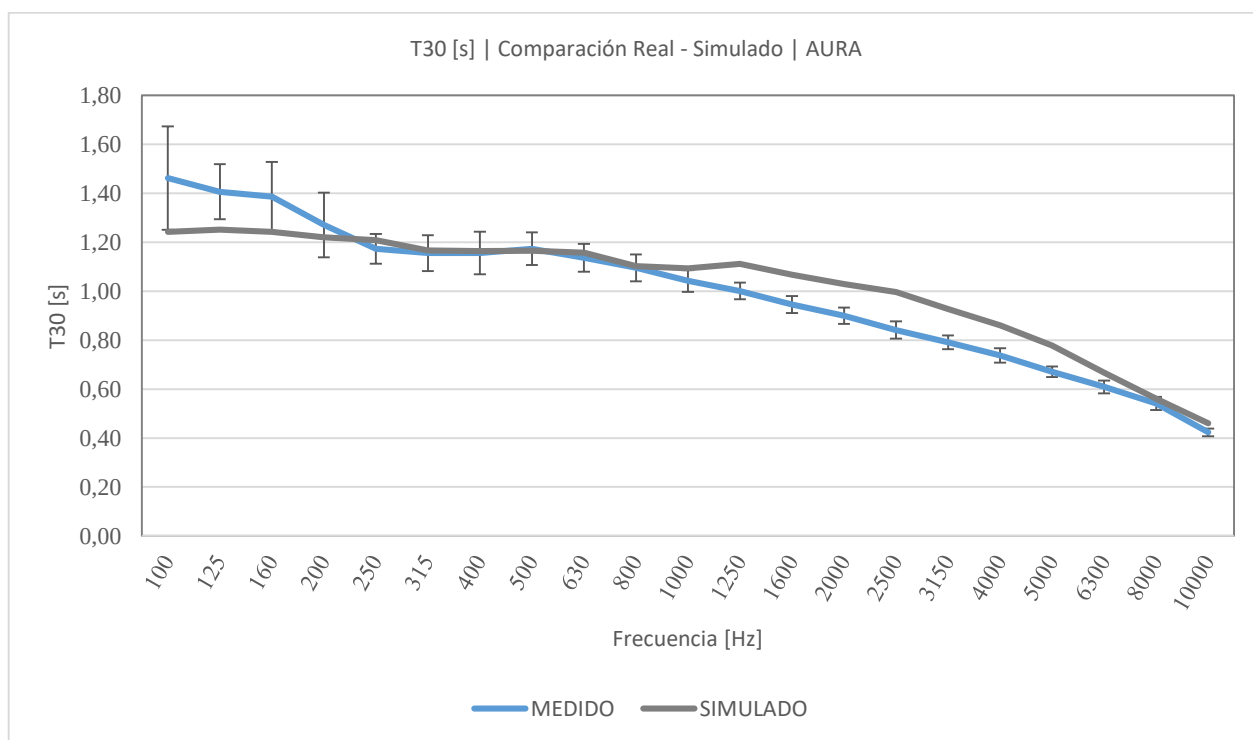


Gráfico 25. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro T20

- *T30*

Tabla 47. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *T30*

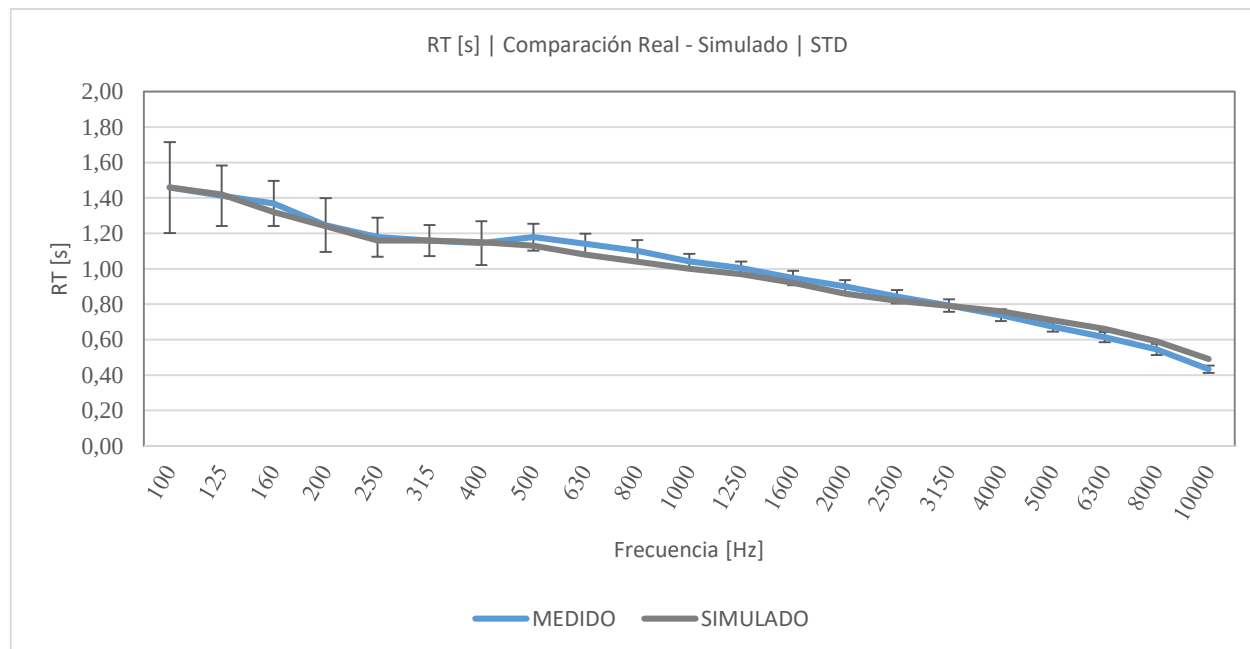
T30 [s] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	1,46	0,21	1,24	0,15	2
125	1,41	0,11	1,25	0,11	2
160	1,39	0,14	1,24	0,10	2
200	1,27	0,13	1,22	0,04	1
250	1,17	0,06	1,21	0,03	1
315	1,16	0,07	1,17	0,01	1
400	1,16	0,09	1,16	0,01	1
500	1,17	0,07	1,17	0,01	1
630	1,14	0,06	1,16	0,02	1
800	1,10	0,05	1,10	0,01	1
1000	1,04	0,04	1,09	0,05	1
1250	1,00	0,03	1,11	0,11	2
1600	0,95	0,03	1,07	0,13	2
2000	0,90	0,03	1,03	0,14	2
2500	0,84	0,03	1,00	0,18	2
3150	0,79	0,03	0,93	0,17	2
4000	0,74	0,03	0,86	0,17	2
5000	0,67	0,02	0,78	0,16	2
6300	0,61	0,03	0,67	0,10	1
8000	0,54	0,03	0,56	0,04	1
10000	0,42	0,02	0,46	0,09	1

Gráfico 26. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *T30*

- *RT, tiempo de reverberación.*

Tabla 48. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *RT*

RT [s] STD					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	1,46	0,26	1,46	0,00	1
125	1,41	0,17	1,42	0,01	1
160	1,37	0,13	1,32	0,05	1
200	1,25	0,15	1,24	0,01	1
250	1,18	0,11	1,16	0,02	1
315	1,16	0,09	1,16	0,00	1
400	1,14	0,12	1,15	0,01	1
500	1,18	0,08	1,13	0,05	1
630	1,14	0,06	1,08	0,06	1
800	1,10	0,06	1,04	0,06	1
1000	1,04	0,04	1	0,04	1
1250	1,00	0,04	0,97	0,03	1
1600	0,95	0,04	0,92	0,03	1
2000	0,90	0,04	0,86	0,04	1
2500	0,84	0,04	0,82	0,02	1
3150	0,79	0,04	0,79	0,00	1
4000	0,74	0,03	0,76	0,02	1
5000	0,67	0,03	0,71	0,04	1
6300	0,61	0,03	0,66	0,05	1
8000	0,55	0,03	0,59	0,04	1
10000	0,43	0,02	0,49	0,06	1

Gráfico 27. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *RT*

Como se puede ver con los parámetros *EDT*, *T20* y *T30*, al ser simulados por *AURA Mapping*, las formas dibujadas por los valores están un poco alejadas entre sí en ciertos puntos. En el caso de *EDT* (Gráfico 24) los valores simulados se encuentran por debajo de los valores medidos *in situ*, especialmente en las

frecuencias bajas y medias. En el caso de $T20$ (*Gráfico 25*), los valores simulados se encuentran por debajo en frecuencias bajas y medias, pero a partir de la banda de frecuencias de 4kHz son iguales. Por otro lado, con $T30$ (*Gráfico 26*) tenemos unos valores similares a frecuencias medias y valores simulados por encima de los medidos en el caso de las frecuencias altas.

En el caso del parámetro RT , es simulado mediante *Standard Mapping*, al ser teoría estadística se puede observar en el *Gráfico 40*, que los valores medidos y simulados son prácticamente iguales.

9.3.2. PARÁMETROS ENERGÉTICOS

- *C50, claridad de voz.*

Tabla 49. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro C50

Frecuencias [Hz]	C50 [dB] STD					C50 [dB] AURA				
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	-2,33	4,10	-1,00	1,34	2	-2,33	4,10	1,10	3,44	4
125	-1,66	3,77	-1,13	0,52	1	-1,66	3,77	0,89	2,54	3
160	-1,51	2,50	-0,99	0,51	1	-1,51	2,50	1,05	2,55	3
200	-1,56	3,01	-0,79	0,77	1	-1,56	3,01	1,31	2,88	3
250	-1,47	2,81	-0,66	0,81	1	-1,47	2,81	1,46	2,94	3
315	-0,03	3,12	-0,56	0,53	1	-0,03	3,12	1,67	1,70	2
400	-0,21	2,18	-0,40	0,19	1	-0,21	2,18	1,95	2,16	3
500	-0,88	1,97	-0,30	0,58	1	-0,88	1,97	2,18	3,06	4
630	-0,54	1,67	-0,02	0,52	1	-0,54	1,67	2,53	3,07	4
800	-0,06	1,45	0,31	0,38	1	-0,06	1,45	3,03	3,09	4
1000	-0,14	1,60	0,59	0,72	1	-0,14	1,60	3,39	3,53	4
1250	-0,41	1,54	0,90	1,31	2	-0,41	1,54	3,95	4,36	5
1600	0,31	1,79	1,16	0,85	1	0,31	1,79	4,38	4,07	5
2000	1,20	2,05	1,50	0,30	1	1,20	2,05	4,89	3,70	4
2500	1,46	1,76	1,51	0,06	1	1,46	1,76	4,87	3,41	4
3150	2,03	2,19	1,53	0,51	1	2,03	2,19	4,89	2,86	3
4000	2,84	2,16	1,68	1,16	2	2,84	2,16	4,97	2,13	3
5000	3,65	1,90	2,05	1,60	2	3,65	1,90	5,57	1,92	2
6300	4,92	1,67	2,59	2,33	3	4,92	1,67	6,29	1,36	2
8000	5,98	1,68	3,37	2,61	3	5,98	1,68	7,38	1,40	2
10000	9,24	1,10	4,44	4,81	5	9,24	1,10	8,41	0,83	1

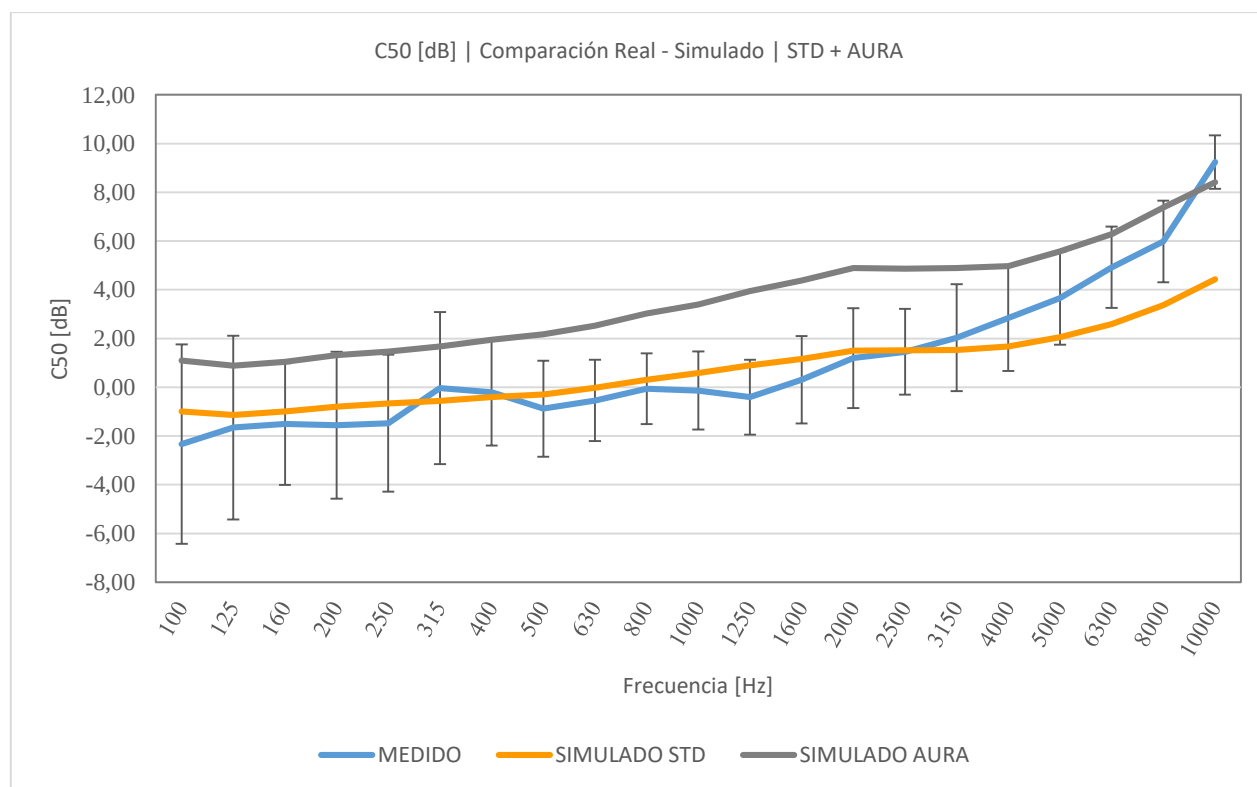


Gráfico 28. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro C50

- *C80, claridad musical.*

Tabla 50. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro C80

C80 [dB] STD						C80 [dB] AURA				
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	0,76	3,26	1,56	0,80	1	0,76	3,26	4,01	3,24	4
125	0,77	3,55	1,41	0,64	1	0,77	3,55	3,76	2,99	3
160	0,61	2,08	1,56	0,95	1	0,61	2,08	3,95	3,34	4
200	1,90	2,38	1,79	0,11	1	1,90	2,38	4,26	2,36	3
250	1,60	2,63	1,95	0,34	1	1,60	2,63	4,35	2,75	3
315	2,75	2,84	2,06	0,69	1	2,75	2,84	4,58	1,83	2
400	2,90	1,90	2,25	0,65	1	2,90	1,90	5,05	2,15	3
500	2,15	1,51	2,36	0,21	1	2,15	1,51	5,25	3,09	4
630	2,31	1,45	2,68	0,37	1	2,31	1,45	5,70	3,39	4
800	2,66	1,30	3,07	0,41	1	2,66	1,30	6,24	3,58	4
1000	2,89	1,15	3,39	0,51	1	2,89	1,15	6,65	3,76	4
1250	2,79	1,05	3,76	0,97	1	2,79	1,05	7,23	4,44	5
1600	3,24	1,49	4,07	0,83	1	3,24	1,49	7,73	4,49	5
2000	4,13	1,85	4,48	0,35	1	4,13	1,85	8,32	4,19	5
2500	4,63	1,48	4,50	0,12	1	4,63	1,48	8,35	3,73	4
3150	5,18	1,70	4,53	0,65	1	5,18	1,70	8,35	3,18	4
4000	6,03	1,76	4,72	1,31	2	6,03	1,76	8,53	2,50	3
5000	7,16	1,57	5,19	1,97	2	7,16	1,57	9,29	2,13	3
6300	8,52	1,57	5,88	2,64	3	8,52	1,57	10,27	1,74	2
8000	9,76	1,56	6,90	2,86	3	9,76	1,56	11,63	1,87	2
10000	13,48	0,83	8,35	5,14	6	13,48	0,83	13,17	0,32	1

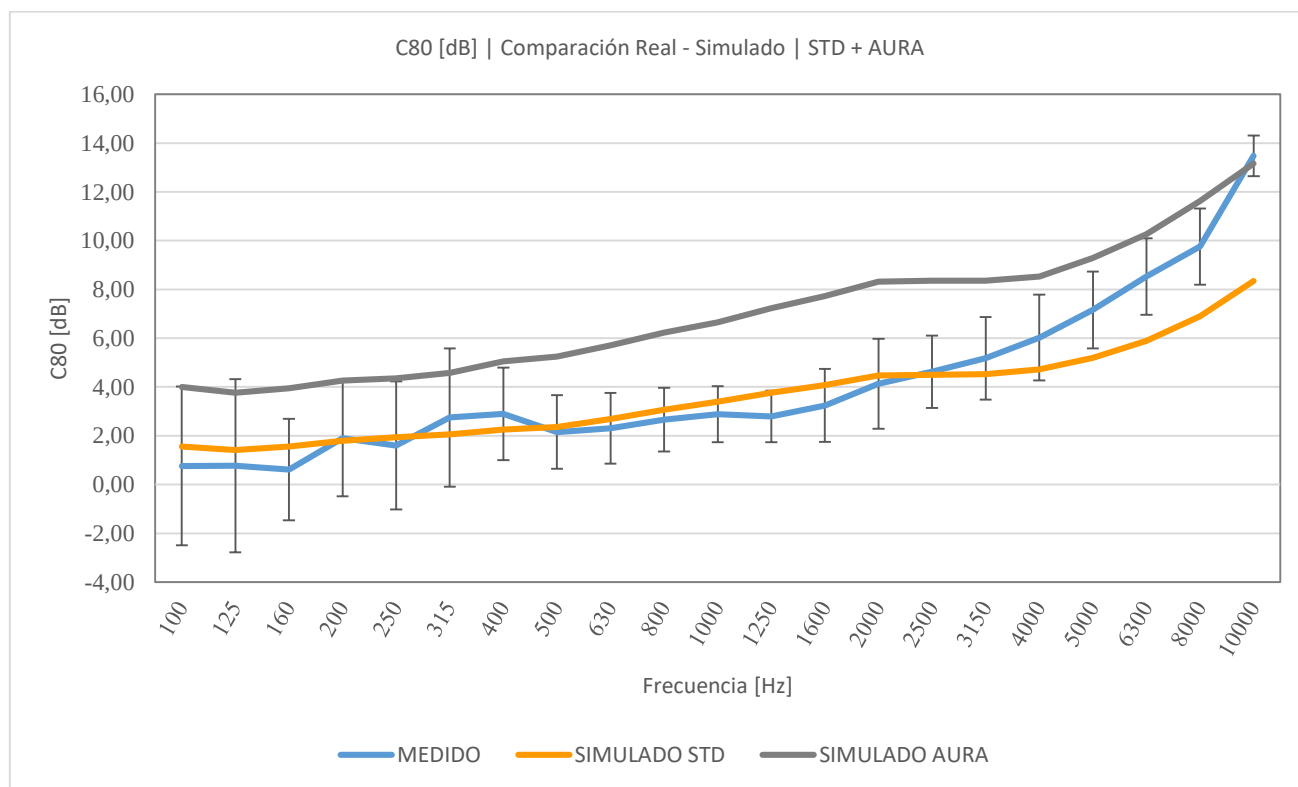


Gráfico 29. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro C80

- *D50, definición.*

Tabla 51. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro D50

D50 [-] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	0,39	0,20	0,56	0,44	5
125	0,42	0,18	0,55	0,32	4
160	0,42	0,13	0,56	0,33	4
200	0,42	0,15	0,57	0,37	4
250	0,42	0,14	0,58	0,38	4
315	0,50	0,16	0,59	0,20	2
400	0,48	0,13	0,61	0,28	3
500	0,45	0,13	0,62	0,38	4
630	0,48	0,11	0,64	0,32	4
800	0,50	0,08	0,67	0,34	4
1000	0,49	0,09	0,69	0,39	4
1250	0,48	0,09	0,71	0,49	5
1600	0,52	0,10	0,73	0,42	5
2000	0,57	0,11	0,75	0,34	4
2500	0,58	0,10	0,76	0,30	4
3150	0,61	0,11	0,75	0,24	3
4000	0,65	0,11	0,76	0,17	2
5000	0,69	0,09	0,78	0,13	2
6300	0,75	0,07	0,81	0,08	1
8000	0,79	0,06	0,84	0,06	1
10000	0,89	0,02	0,88	0,02	1

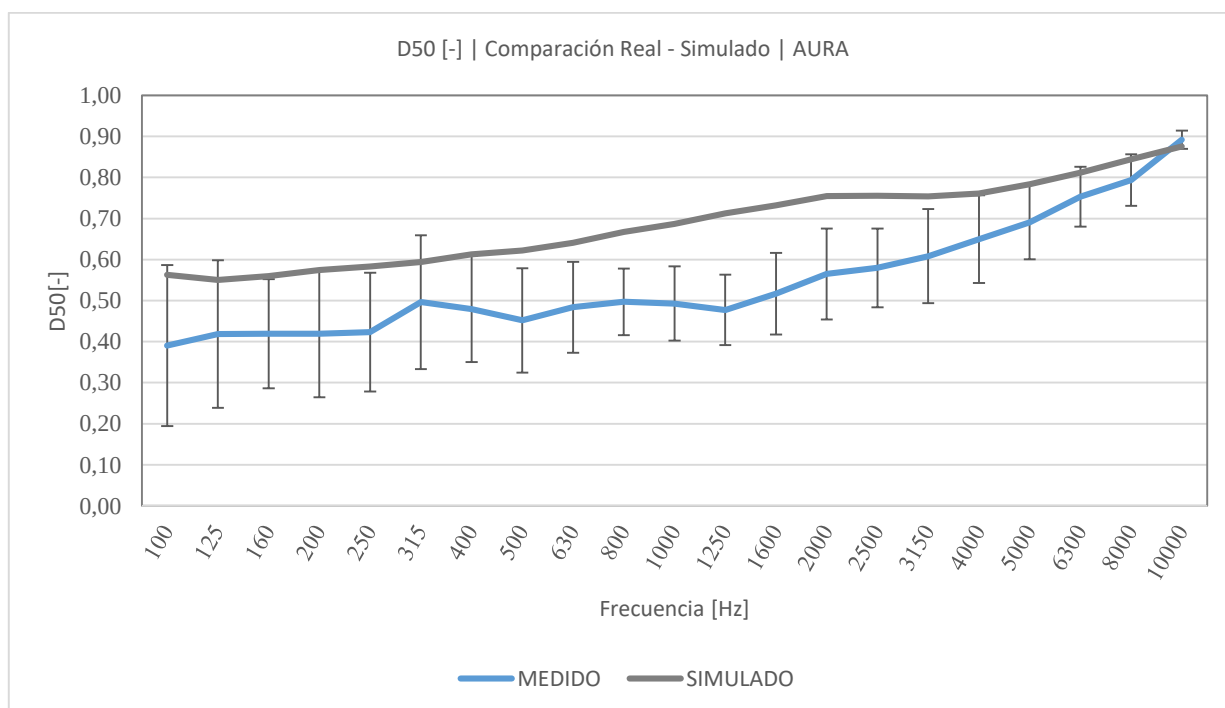
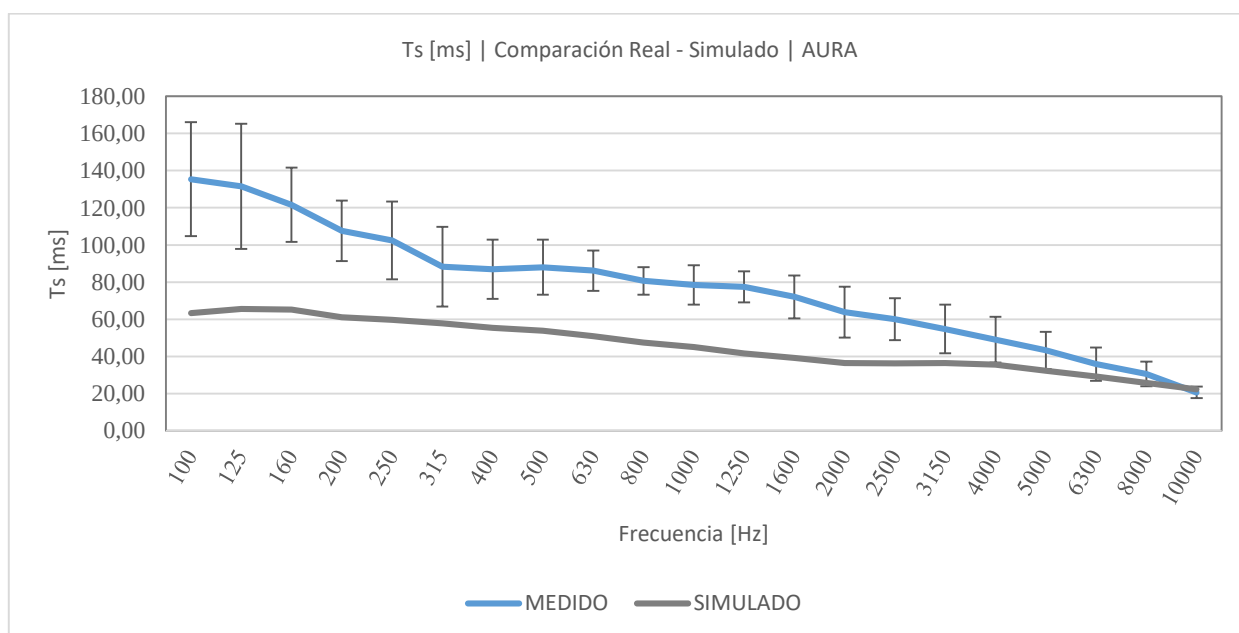


Gráfico 30. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro D50

- *T_s*, tiempo central.

Tabla 52. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *T_s*

Ts [ms] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	135,40	30,69	63,38	72,02	8
125	131,52	33,65	65,55	65,97	7
160	121,62	20,05	65,25	56,38	6
200	107,62	16,32	61,07	46,54	5
250	102,37	20,92	59,62	42,75	5
315	88,27	21,43	57,76	30,52	4
400	86,88	15,99	55,30	31,58	4
500	87,99	14,84	53,89	34,10	4
630	86,14	10,91	50,83	35,31	4
800	80,66	7,38	47,49	33,17	4
1000	78,46	10,56	45,08	33,38	4
1250	77,39	8,34	41,64	35,75	4
1600	72,05	11,57	39,11	32,93	4
2000	63,78	13,66	36,39	27,39	3
2500	59,98	11,30	36,21	23,77	3
3150	54,77	13,02	36,38	18,39	2
4000	49,04	12,30	35,64	13,40	2
5000	43,25	9,99	32,31	10,94	2
6300	35,82	8,97	29,18	6,64	1
8000	30,59	6,60	25,77	4,82	1
10000	20,64	3,05	22,35	1,70	1

Gráfico 31. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro *T_s*

Para los parámetros energéticos, *C50* y *C80* han sido simulados tanto en *Standard Mapping* como en *AURA Mapping*. Sin embargo, los parámetros *D50* y *T_s* han sido simulados solo en *AURA Mapping*. Los parámetros *C50* y *C80* tienen los valores de *AURA* por encima de los valores medidos *in situ*, mientras que los valores de *Standard* se aproximan más los medidos (Gráficos 28 y 29). En el caso de *D50* y *T_s*, los valores simulados en *AURA* se encuentran alejados de los medidos, por encima con *D50* (Gráfico 30) y por debajo con *T_s* (Gráfico 31).

9.3.3. PARÁMETROS ESPACIALES

- *LF, eficiencia lateral.*

Tabla 53. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro LF

LF [-] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	0,01	0,01	0,25	0,24	5
125	0,01	0,01	0,25	0,24	5
160	0,03	0,02	0,25	0,22	5
200	0,02	0,01	0,25	0,23	5
250	0,04	0,02	0,25	0,21	5
315	0,04	0,02	0,25	0,20	5
400	0,05	0,02	0,24	0,19	4
500	0,07	0,02	0,24	0,17	4
630	0,09	0,03	0,24	0,15	4
800	0,10	0,03	0,24	0,13	3
1000	0,12	0,04	0,23	0,11	3
1250	0,12	0,04	0,23	0,11	3
1600	0,13	0,04	0,22	0,09	2
2000	0,12	0,04	0,21	0,09	2
2500	0,12	0,03	0,21	0,09	2
3150	0,15	0,04	0,21	0,06	2
4000	0,16	0,05	0,21	0,05	2
5000	0,13	0,04	0,21	0,08	2
6300	0,10	0,04	0,20	0,10	2
8000	0,12	0,04	0,19	0,07	2
10000	0,17	0,12	0,18	0,02	1

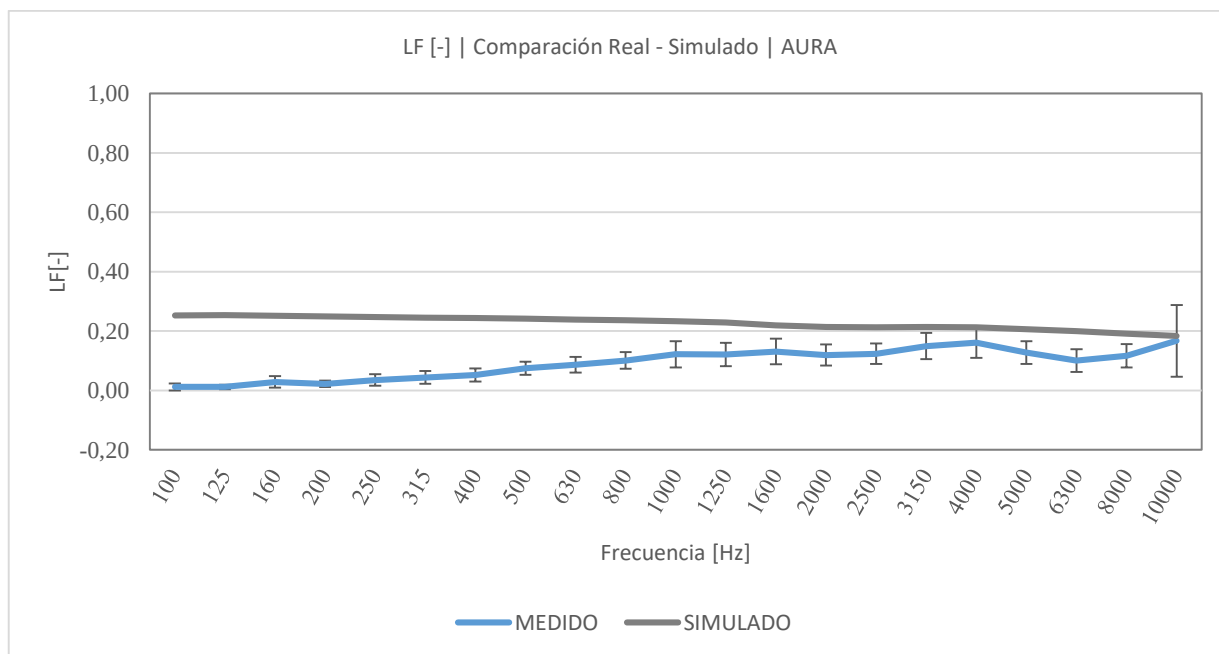


Gráfico 32. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro LF

- *LFC, eficiencia lateral coseno.*

Tabla 54. Valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro LFC

LFC [-] AURA					
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
100	0,07	0,03	0,39	0,32	7
125	0,07	0,03	0,39	0,32	7
160	0,10	0,04	0,39	0,28	6
200	0,09	0,03	0,38	0,29	6
250	0,12	0,04	0,38	0,26	6
315	0,11	0,03	0,38	0,27	6
400	0,13	0,04	0,37	0,24	5
500	0,16	0,03	0,37	0,21	5
630	0,17	0,03	0,37	0,20	4
800	0,19	0,03	0,36	0,18	4
1000	0,20	0,04	0,36	0,15	4
1250	0,21	0,04	0,35	0,14	3
1600	0,21	0,05	0,34	0,13	3
2000	0,20	0,04	0,34	0,14	3
2500	0,20	0,04	0,34	0,13	3
3150	0,23	0,06	0,34	0,11	3
4000	0,23	0,06	0,34	0,10	3
5000	0,20	0,05	0,33	0,13	3
6300	0,17	0,05	0,31	0,15	3
8000	0,18	0,05	0,30	0,13	3
10000	0,18	0,09	0,29	0,11	3

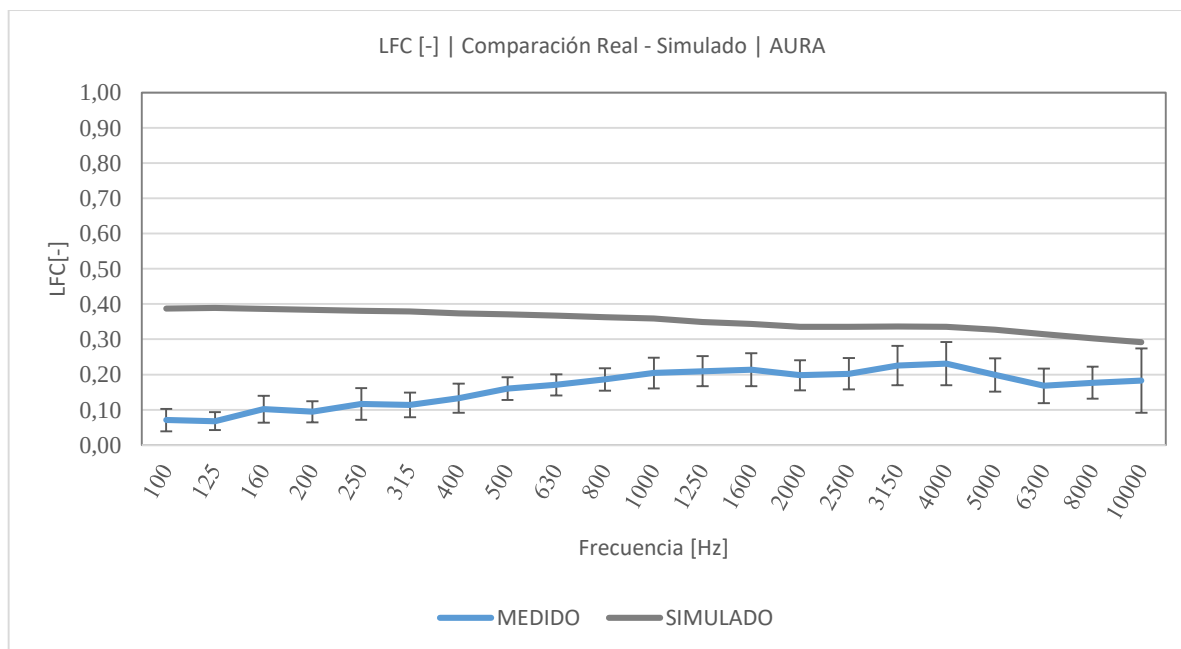


Gráfico 33. Comparación de valores medidos y simulados en tercios de octava del parámetro LFC

Los valores de los parámetros simulados mediante *AURA* se encuentran por encima de los valores obtenidos con las medidas *in situ*, además, se encuentran fuera de la desviación típica calculada. Los valores simulados presentan una respuesta prácticamente plana (Gráficos 32 y 33).

9.3.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD

- *Alcons, pérdida de articulación de consonantes.*

Tabla 55. Valores medidos y simulados del parámetro Alcons%

Frecuencias [Hz]	ALCONS [%] STD					ALCONS [%] AURA				
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
-	5,97	0,98	5,85	0,12	1	5,97	0,98	3,92	2,05	2

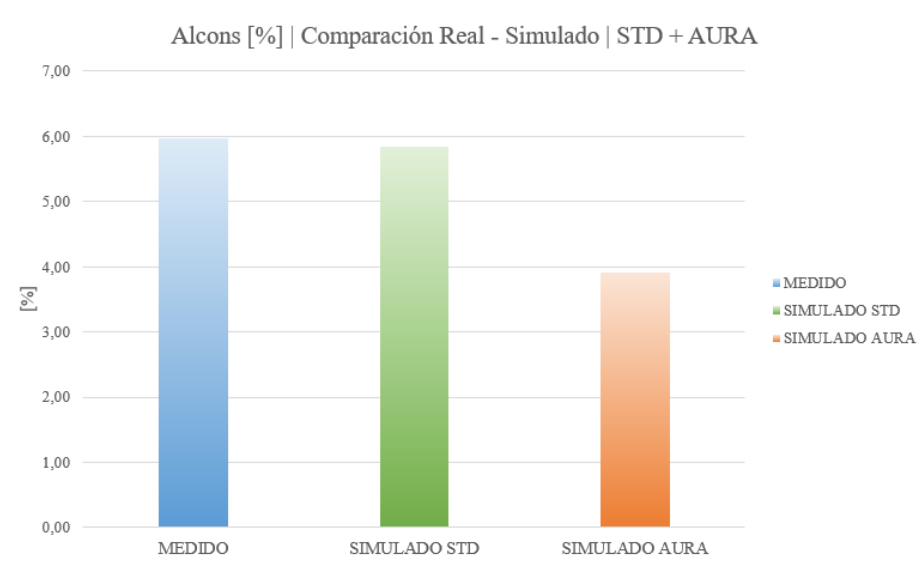


Gráfico 34. Comparación de valores medidos y simulados del parámetro Alcons%

- *STI, índice de transmisión del habla.*

Tabla 56. Valores medidos y simulados del parámetro STI

Frecuencias [Hz]	STI [-] STD					STI [-] AURA				
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA	DESVIACIÓN JND	ESCALÓN JND
-	0,62	0,03	0,62	0,00	1	0,62	0,03	0,70	0,08	3

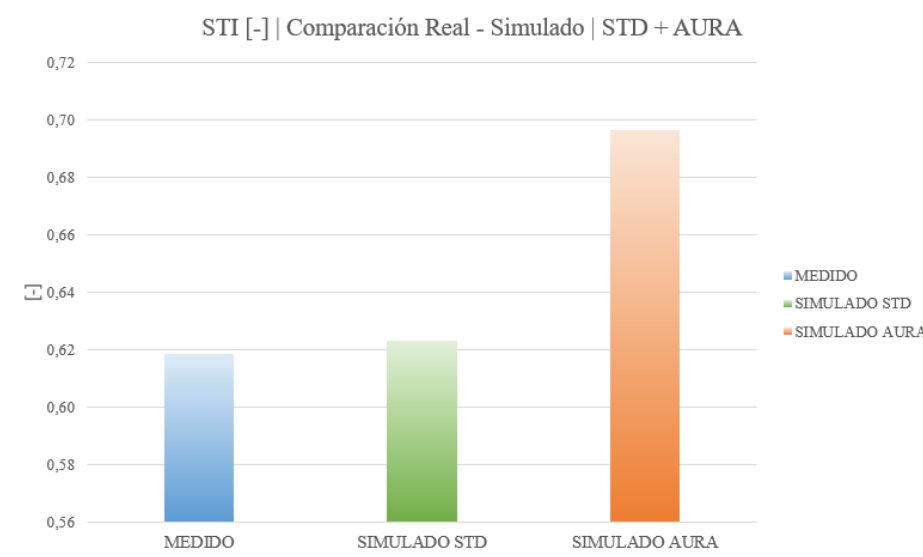


Gráfico 35. Comparación de valores medidos y simulados del parámetro STI

En la *Tabla 55* se muestra el promedio del parámetro *Alcons*, como se explicó en el apartado 4.3.4. existe una clasificación según el porcentaje de este parámetro para determinar la inteligibilidad. Según la *Tabla 1*, tanto el valor simulado por *Standard* 5,85% como el simulado por *AURA* 3,92% se encuentran en el rango de 0-7%, por tanto, la inteligibilidad del recinto se considera muy buena.

En la *Tabla 56* se muestra el promedio del parámetro *STI*, como se explicó en el apartado 4.3.4. existe una clasificación para determinar la calidad de transmisión del habla. Según la *Tabla 2*, tanto el valor simulado por *Standard* 0,62 como el simulado por *AURA* 0,70 se encuentran en el rango de 0,6-1, por tanto, la calidad de transmisión es muy buena.

9.3.5. MÉTRICA JND

Con la obtención de todos los parámetros, medidos y simulados, y hecha su comparación, se han generado las siguientes tablas de métrica JND.

Los resultados en bandas de tercios de octava se presentan en la Tabla 57 y en bandas de octava en la Tabla 58.

El porcentaje acumulado entre los tres primeros escalones en el caso de los tercios de octava es del 69% y en octavas es del 73%. Uno cumple la condición para dar por válido el modelo y el otro no, pero dado que los cálculos y la simulación se han realizado como si se tratase de un recinto cerrado, cuando en realidad el Corral de Comedias es un recinto abierto, podemos obviar ese 1% y afirmar que el modelo es válido.

Tabla 57. Tabla final de escalones JND en tercios de octava

Frecuencia [Hz]	EDT AURA	T20 AURA	T30 AURA	RT STD	C50 STD	C50 AURA	C80 STD	C80 AURA	D50 AURA	Ts AURA	LF AURA	LFC AURA	STI M STD	STI M AURA	AICons M STD	AICons M AURA
100 Hz	4	3	2	1	2	4	1	4	5	8	5	7				
125 Hz	4	3	2	1	1	3	1	3	4	7	5	7				
160 Hz	4	3	2	1	1	3	1	4	4	6	5	6				
200 Hz	3	2	1	1	1	3	1	3	4	5	5	6				
250 Hz	2	2	1	1	1	3	1	3	4	5	5	6				
315 Hz	3	2	1	1	1	2	1	2	2	4	5	6				
400 Hz	4	2	1	1	1	3	1	3	3	4	4	5				
500 Hz	3	2	1	1	1	4	1	4	4	4	4	5				
630 Hz	4	2	1	1	1	4	1	4	4	4	4	4				
800 Hz	4	2	1	1	1	4	1	4	4	4	3	4				
1000 Hz	4	2	1	1	1	4	1	4	4	4	3	4				
1250 Hz	4	2	2	1	2	5	1	5	5	4	3	3				
1600 Hz	4	2	2	1	1	5	1	5	5	4	2	3				
2000 Hz	4	2	2	1	1	4	1	5	4	3	2	3				
2500 Hz	4	2	2	1	1	4	1	4	4	3	2	3				
3150 Hz	3	1	2	1	1	3	1	4	3	2	2	3				
4000 Hz	3	1	2	1	2	3	2	3	2	2	2	3				
5000 Hz	3	1	2	1	2	2	2	3	2	2	2	3				
6300 Hz	2	1	1	1	3	2	3	2	1	1	2	3				
8000 Hz	2	1	1	1	3	2	3	2	1	1	2	3				
10000 Hz	1	1	1	1	5	1	6	1	1	1	1	3				

Cantidad por escalón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
% sobre Total	81	52	44	50	19	6	3	1	0	0	256
% acumulado	32%	20%	17%	20%	7%	2%	1%	0%	0%	100%	
		52%	69%	89%	96%	98%	100%	100%	100%	100%	

Tabla 58. Tabla final de escalones JND en octavas

Frecuencia [Hz]	EDT AURA	T20 AURA	T30 AURA	RT STD	C50 STD	C50 AURA	C80 STD	C80 AURA	D50 AURA	Ts AURA	LF AURA	LFC AURA	STIM STD	STIM AURA	AICons M STD	AICons M AURA
125 Hz	4	3	1	1	1	3	1	3	4	5	5	7				
250 Hz	3	2	1	1	1	3	1	3	3	4	5	4				
500 Hz	4	2	1	1	1	3	1	3	4	3	4	5				
1000 Hz	4	2	1	1	1	4	1	4	5	4	3	1	1	3	1	2
2000 Hz	4	2	2	1	1	4	1	5	4	3	2	5				
4000 Hz	3	1	2	2	1	3	1	3	2	2	2	6				
8000 Hz	3	2	1	1	2	3	2	3	2	1	2	7				

Cantidad por escalón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
% sobre Total	28	17	19	14	7	1	2	0	0	0	88
% acumulado	32%	19%	22%	16%	8%	1%	2%	0%	0%	0%	
	32%	51%	73%	89%	97%	98%	100%	100%	100%	100%	

10. PRESUPUESTO

En este apartado se va a desglosar el presupuesto aproximado de la realización de este proyecto. Se van a tener en cuenta alquileres de equipos de medida, precio de las licencias de los softwares utilizados y la mano de obra, ingenieros, que han participado en el proyecto. Las licencias de *AutoCAD* y *SketchUp* no están incluidas ya que entran en el paquete de licencias de la universidad. En las medidas *in situ*, se utilizó un equipo de 3 ingenieros.

Tabla 59. Presupuesto del proyecto

FASE	ACTIVIDAD	HORAS	PRESUPUESTO PARCIAL	PRESUPUESTO FINAL
Documentación	Estudio de documentación sobre el recinto	10h	-	-
Medidas in situ	Alquiler de equipos de medida	15h	600 €/día	1550 €
	Desplazamiento y alojamiento		200€	
	Montaje y toma de medidas		15 €/h por ingeniero (2)	
	Licencia DIRAC 6.0		300€	
Modelo SketchUp	Creación modelo 3D	120h	15 €/h	1800 €
Modelo EASE	Exportación de modelo 3D y ajuste de materiales	50h	15 €/h	1050 €
	Licencia EASE 4.4		300 €	
Procesado de datos	Procesado medidas in situ	50h	15 €/h	1125 €
	Procesado simulación	25h		
Validación del modelo	Comparación de resultados	40h	15 €/h	600 €
Memoria	Redacción de la memoria	60h	15 €/h	900 €
Total		370h		7025 €

11. IMPACTO DEL PROYECTO

En este apartado de la memoria se tratan las implicaciones sociales, ambientales, tecnológicas y económicas relacionadas con el proyecto, así como su relación con los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible).

El sector tecnológico en el que se enmarca el proyecto es el de acústica de salas. Es un proyecto que, como se ha mencionado anteriormente, forma parte de una base de datos del grupo de investigación GAMMA, donde se recoge información de distintos recintos, especialmente teatros e iglesias de España.

Existe variedad a la hora de identificar los grupos de interés, ya que varía según el Objetivo de Desarrollo Sostenible con el que se relacione. Destacamos el grupo de investigación, clientes que puedan querer modificar el teatro, visitantes del recinto y, en cuestión ambiental, la sociedad en general.

A continuación, se detallan los ODS que se vinculan con este proyecto.

Mediante la posibilidad de realizar ajustes virtuales en la sala, evitando así desplazarse cada vez que sea necesario realizar mediciones, existe un ahorro de tiempo y dinero. Esto se traduce en más salud, al tener menos estrés a la hora de tener que ajustarse a un horario determinado para cumplir con los objetivos del trabajo, por lo que el trabajador tendrá mayor rendimiento. Además, también conlleva menos pérdidas de dinero al no existir gastos de desplazamiento ni de alquiler de equipos. Es decir, que este punto se puede relacionar con los ODS “Salud y Bienestar” y “Trabajo Decente y Crecimiento Económico”.

Al poseer un modelo virtual 3D similar al recinto real, se puede realizar modificaciones de los materiales de la sala y ver cómo afectan al comportamiento acústico. De esta forma, pueden reemplazarse los materiales existentes por otros materiales más sostenibles. Además, esta práctica afecta directamente en la reducción de la huella de carbono, de manera que se contamina menos. Este punto se puede relacionar con el ODS “Ciudades y comunidades Sostenibles”.

A nivel social, si existiese interés en estar en la sala de manera presencial, se podría generar una auralización de la sala para escuchar cómo esta se comporta con unos auriculares. Esto combinado con una imagen 360º podría suponer una inmersión en la sala a distancia de manera realista, facilitando así que aquellas personas que no tienen la posibilidad de acceder de manera presencial al recinto puedan acudir igualmente. Este punto se puede relacionar con los ODS “Industria, Innovación e Infraestructura” y “Educación de Calidad”.

12. CONCLUSIÓN

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y validación de un modelo acústico del Corral de Comedias de Almagro que recree de la forma más precisa posible las condiciones acústicas reales del recinto. En el proyecto se ha redactado de forma detallada el proceso llevado a cabo en el diseño y validación de un modelo virtual del Corral de Comedias de Almagro, diferenciando cada una de las fases.

La dificultad principal de este recinto ha sido adaptar las pruebas y resultados obtenidos a un recinto abierto y asimétrico.

Una de las cosas más importantes es la planificación, tener bien fijadas cada una de las fases del proyecto y lo que se realiza en cada una de ellas. Para empezar, se piden los permisos necesarios para visitar y trabajar en el recinto en cuestión, en este caso se contactó con el Ayuntamiento de Almagro para reservar el Corral de Comedias durante unas horas y realizar las medidas *in situ*.

Antes de realizar las medidas se estudia la documentación de toma de medidas, planos del recinto, obtenidos a través de la plataforma de Proyectos MIRE y se eligen las posiciones de fuente y micrófono necesarios. En el proceso de medida se utilizan equipos profesionales, que requieren la presencia de tres ingenieros para su montaje y posterior uso. El uso tanto de estos equipos especializados (amplificadores, sonómetros, micrófonos, etc) como del software empleado, *DIRAC*, se realiza correctamente gracias a los conocimientos adquiridos en los laboratorios de asignaturas como acústica arquitectónica, acústica ambiental, control de ruido y vibraciones y sistemas electroacústicos.

Una de las fases más complejas de este proyecto ha sido la creación del modelo tridimensional. El uso de *AutoCAD* y *SketchUp* no ha sido el problema principal, ya que son programas bastantes intuitivos. El problema ha sido recrear un modelo pensando en cómo va a adaptarse en su exportación a *EASE*. Se realizó un primer modelo que presentaba demasiados errores en *EASE*, algunos muy difíciles de arreglar, y se optó por empezar un nuevo modelo de cero en *SketchUp*, más sencillo que el anterior y teniendo en cuenta los fallos detectados en la versión anterior. Con esta versión simplificada, *EASE* fue capaz de procesar el modelo y no se detectaron apenas fallos. Cabe destacar la ayuda y consejos del tutor en este proceso.

En la fase de simulación se han tomado ciertas decisiones, con ayuda del tutor, para intentar que los resultados fuesen lo más parecidos posible a la realidad. Como ya se ha comentado con anterioridad, el recinto de este estudio es abierto, y el software de simulación *EASE* solo es capaz de simular recintos cerrados, por lo que se decide poner una tapa en el techo del Corral para crear un recinto cerrado. La colocación de la tapa afecta de manera directa al comportamiento acústico de la sala, por lo que se busca adaptar el comportamiento de esta nueva superficie para que no influya de forma drástica en los resultados, y que los valores de los parámetros simulados se parezcan a los valores medidos *in situ*.

El procesamiento de datos, comparación y la interpretación de los resultados, es una tarea costosa y que requiere especial atención, ya que cualquier error puede afectar a la fiabilidad de los resultados y, por tanto, a la validación del modelo. Todos los datos son guardados y procesados en ficheros de Excel, donde es sencillo tenerlos organizados de forma efectiva.

En la validación, sobre los escalones de métrica JND, se necesita cumplir la condición de que el porcentaje acumulado entre los tres primeros escalones debe ser igual o superior al 70%. En el caso de los tercios de octava no se cumple (69%) y en octavas si se cumple (73%). Se decide validar el modelo ya que la diferencia de porcentajes es muy pequeña (1%) y que solo se da en tercios de octava, además esta

diferencia puede deberse precisamente a esos ajustes que se han hecho a la hora de simular el recinto, convirtiéndolo en un recinto cerrado.

El proyecto ha durado 13 meses y ha proporcionado información valiosa sobre el comportamiento acústico de un recinto histórico como es el Corral de Comedias de Almagro tanto para el propio municipio de Almagro como para la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, ya que pasará a formar parte del repositorio de estudios acústicos del grupo de investigación GAMMA.

Este proyecto ha presentado un gran reto personal y profesional, pero gracias a él he adquirido numerosos conocimientos tanto de análisis como de resolución de problemas y toma de decisiones, así como una mejora notable en la utilización de material de medida especializado y el uso de diferentes softwares.

En el anteproyecto se fijaron unos objetivos que se han cumplido en su totalidad pese a los inconvenientes de trabajar sobre un recinto abierto y asimétrico como se ha mencionado anteriormente.

13. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] ISO, NORMA UNE-EN 3382-1:2010. “Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos”.
- [2] NORMA UNE EN-61672-1. Electroacústica, “Sonómetros Parte 1: Especificaciones”.
- [3] NORMA UNE EN- 60942. Electroacústica, “Calibradores acústicos”.
- [4] Planos AutoCAD. Proyectos MIRE. [Online]. Disponible en:
<https://www.proyectomire.org/web/mireinicio.php>
- [5] Taylor, John R. An Introduction to Error Analysis. 2nd edition. Sausalito, California: University Science Books, 1997. pp 166-8
- [6] “Corral de Comedias de Almagro”. [Online]. Disponible en:
<https://www.festivaldealmagro.com/espacios/corral-de-comedias/>
- [7] “Corral de Comedias de Almagro”. [Online]. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Corral_de_comedias_de_Almagro
- [8] García de León Álvarez A., “El Corral de las Comedias y la Villa de Almagro”, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 2002.
- [9] Almarcha Núñez-Herrador M.E., “Recuperar la esencia. El Corral de Comedias y Almagro”, UCLM, 2016.
- [10] J. Sánchez, “Teoría Estadística”, Apuntes de la asignatura 595000130, Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [11] J. Sánchez, “Teoría Geométrica”, Apuntes de la asignatura 595000130, Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2020.

ANEXO 1. RUIDO DE FONDO

En este anexo se va a presentar el ruido de fondo del Corral de Comedias de Almagro. La siguiente tabla muestra los datos medidos del ruido de fondo en el recinto en 7 posiciones distintas repartidas por la sala, obteniendo representatividad temporal y espacial.

Tabla 60. Medidas ruido de fondo Corral de Comedias de Almagro

SPL [dB] Ruido de fondo									
Freq [Hz]	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desviación
12,5	33,2	37,5	42,6	37,5	35,2	31,1	41,5	36,9	4,2
16	34,0	35,0	40,8	40,3	34,5	31,1	38,7	36,3	3,6
20	32,3	32,5	38,6	39,1	37,6	25,6	39,0	35,0	5,1
25	30,1	33,2	37,4	42,8	33,7	24,6	40,0	34,5	6,2
31,5	29,5	34,6	39,6	43,2	32,9	30,2	39,7	35,7	5,2
40	31,7	31,4	33,8	38,1	36,8	31,5	41,5	35,0	3,9
50	34,0	35,0	34,3	35,6	32,8	37,1	43,3	36,0	3,5
63	31,2	33,6	31,6	34,6	32,0	37,6	29,6	32,9	2,6
80	29,0	28,7	31,6	32,0	36,9	34,9	32,0	32,2	3,0
100	27,6	29,2	30,3	32,1	34,9	33,4	29,2	31,0	2,6
125	23,5	23,6	25,6	29,4	25,0	31,5	26,2	26,4	3,0
160	20,1	21,5	22,0	29,0	23,4	28,7	24,5	24,2	3,5
200	18,6	18,9	23,0	27,8	23,9	30,3	22,3	23,5	4,3
250	20,2	17,6	25,0	25,1	18,8	24,5	23,6	22,1	3,2
315	19,1	17,5	21,3	23,7	16,7	23,0	20,6	20,3	2,7
400	21,2	16,0	20,2	21,0	16,8	19,8	20,5	19,4	2,1
500	20,3	16,4	19,5	18,6	16,1	19,4	21,5	18,8	2,0
630	20,7	15,1	16,4	17,0	13,0	18,0	22,7	17,6	3,3
800	26,2	16,0	17,0	17,6	12,3	22,0	21,3	18,9	4,6
1000	23,4	14,7	17,8	16,4	13,5	23,9	21,5	18,7	4,2
1250	24,7	12,8	15,0	14,0	11,2	17,2	21,1	16,6	4,8
1600	19,4	11,1	15,6	12,5	10,7	14,8	21,8	15,1	4,2
2000	18,1	8,8	12,8	11,0	8,9	12,6	22,0	13,5	4,9
2500	15,1	9,2	11,0	9,8	7,9	12,6	17,0	11,8	3,3
3150	14,0	9,4	9,7	9,1	7,8	10,5	18,0	11,2	3,6
4000	12,1	8,8	8,4	9,2	7,8	10,8	21,1	11,2	4,6
5000	12,0	8,5	8,4	8,7	8,0	10,1	22,1	11,1	5,0
6300	11,5	8,5	8,6	8,6	8,2	9,6	20,3	10,8	4,4
8000	13,8	8,9	8,9	9,3	8,3	9,8	17,3	10,9	3,4
10000	9,6	8,4	8,5	8,5	8,4	9,3	11,1	9,1	1,0
12500	9,1	8,5	8,0	8,6	8,5	8,9	9,9	8,8	0,6
16000	9,1	8,8	8,5	8,5	8,8	9,0	9,5	8,9	0,4
20000	10,7	9,6	9,7	9,4	9,3	10,0	10,3	9,9	0,5

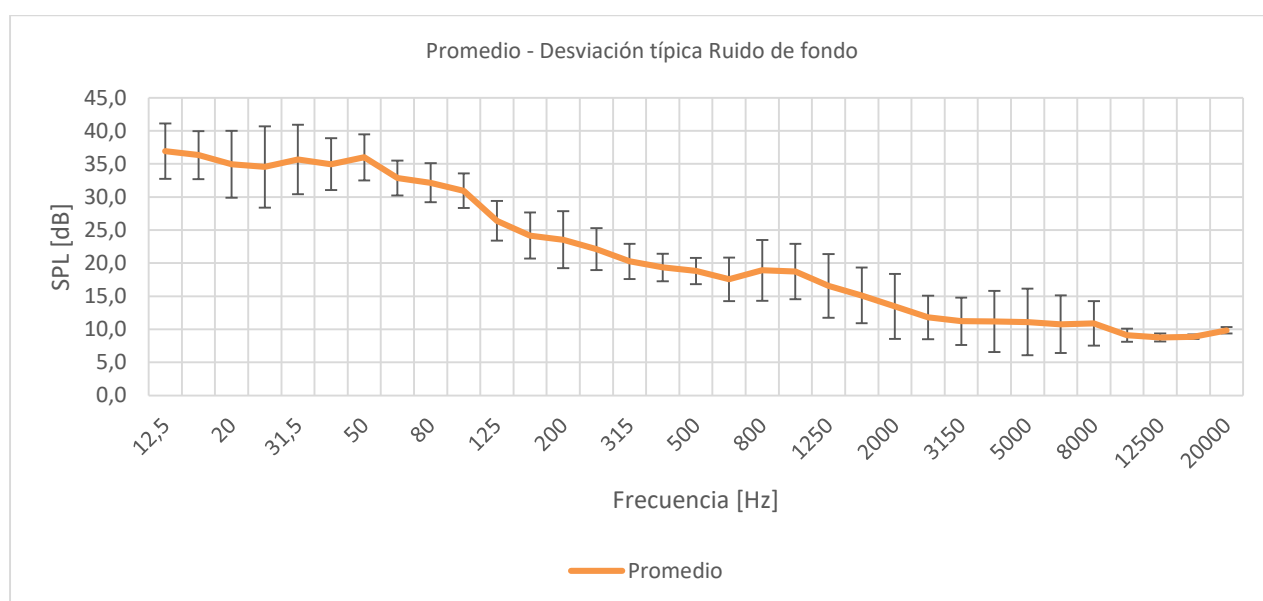


Gráfico 36. Promedio y desviación típica del ruido de fondo

ANEXO 2. ESTUDIO ACÚSTICO DEL CORRAL DE COMEDIAS DE ALMAGRO

En este anexo se van a presentar los datos obtenidos en bandas de octava medidos *in situ* en el Corral de Comedias de Almagro. Dichos datos se van a utilizar para la realización de un informe que se va a entregar a los propietarios del recinto, el Ayuntamiento de Almagro. Se muestran los valores de todos los parámetros acústicos sin ningún tipo de filtrado y acompañados de su desviación típica.

Parámetros temporales

Tabla 61. Valores del parámetro EDT[s] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,680	1,411	1,289	0,939	0,933	0,789	0,715	0,596	0,474	0,371
Planta 0	1,470	1,538	1,546	1,280	1,236	1,127	0,946	0,770	0,567	0,357
Planta 1	1,439	1,420	1,392	1,150	1,196	1,024	0,909	0,783	0,586	0,347
Planta 2	1,460	1,614	1,338	1,131	1,139	1,070	0,904	0,728	0,566	0,381
Promedio Total	1,47	1,53	1,44	1,20	1,19	1,07	0,92	0,75	0,57	0,36
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,126	0,119	0,060	0,167	0,089	0,025	0,012	0,022	0,018	0,019
Planta 0	0,290	0,300	0,210	0,184	0,084	0,079	0,052	0,043	0,058	0,083
Planta 1	0,727	0,317	0,198	0,227	0,086	0,090	0,068	0,057	0,078	0,132
Planta 2	0,564	0,266	0,235	0,102	0,070	0,062	0,073	0,064	0,087	0,083
Desviación Total	0,48	0,29	0,23	0,20	0,11	0,11	0,08	0,07	0,07	0,09

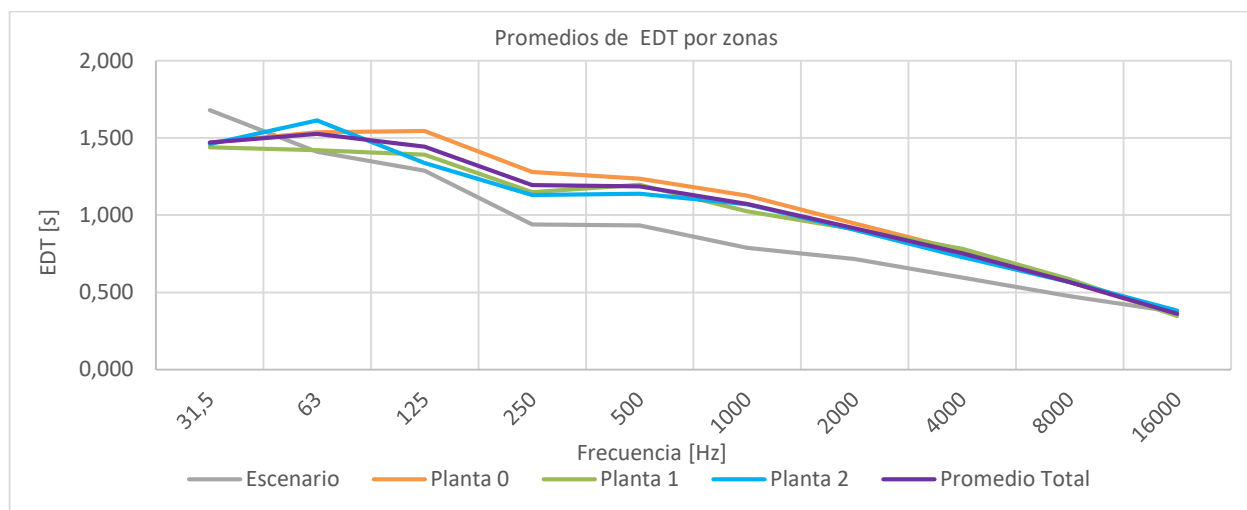


Gráfico 37. Promedios del parámetro EDT por zonas en bandas de octava

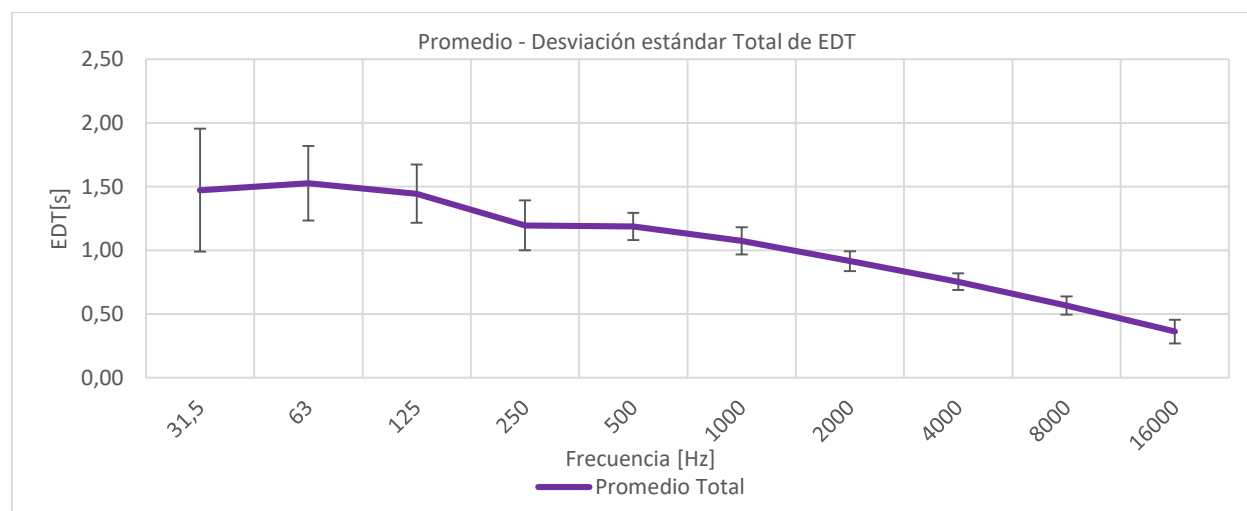


Gráfico 38. Promedio total y desviación típica del parámetro EDT en bandas de octava

Tabla 62. Valores del parámetro $RT[s]$ en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,546	1,373	1,240	1,109	1,106	0,982	0,863	0,671	0,549	0,403
Planta 0	1,453	1,590	1,430	1,221	1,178	1,067	0,928	0,780	0,610	0,360
Planta 1	1,538	1,505	1,376	1,203	1,196	1,067	0,893	0,768	0,618	0,387
Planta 2	1,374	1,697	1,385	1,196	1,134	1,044	0,896	0,749	0,615	0,317
Promedio Total	1,46	1,59	1,40	1,21	1,17	1,06	0,91	0,76	0,61	0,36
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,201	0,104	0,018	0,045	0,036	0,028	0,017	0,034	0,020	0,017
Planta 0	0,437	0,174	0,134	0,055	0,046	0,038	0,023	0,026	0,025	0,131
Planta 1	1,151	0,146	0,101	0,117	0,068	0,054	0,018	0,027	0,030	0,233
Planta 2	0,770	0,339	0,105	0,045	0,028	0,025	0,024	0,029	0,036	0,114
Desviación Total	0,72	0,24	0,12	0,07	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,15

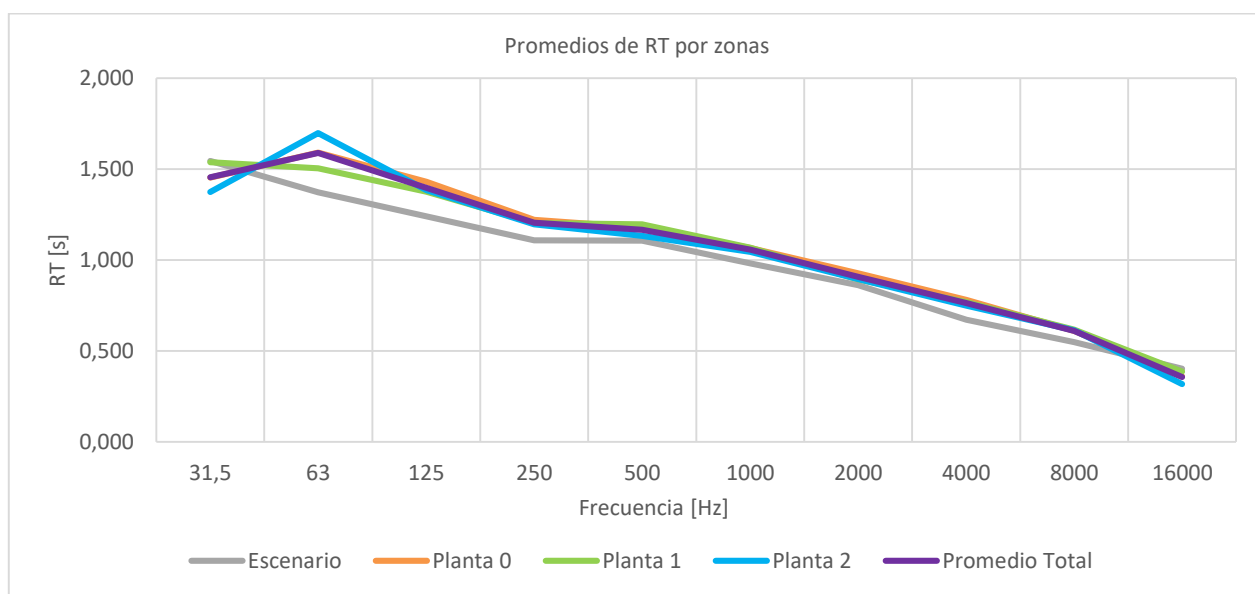
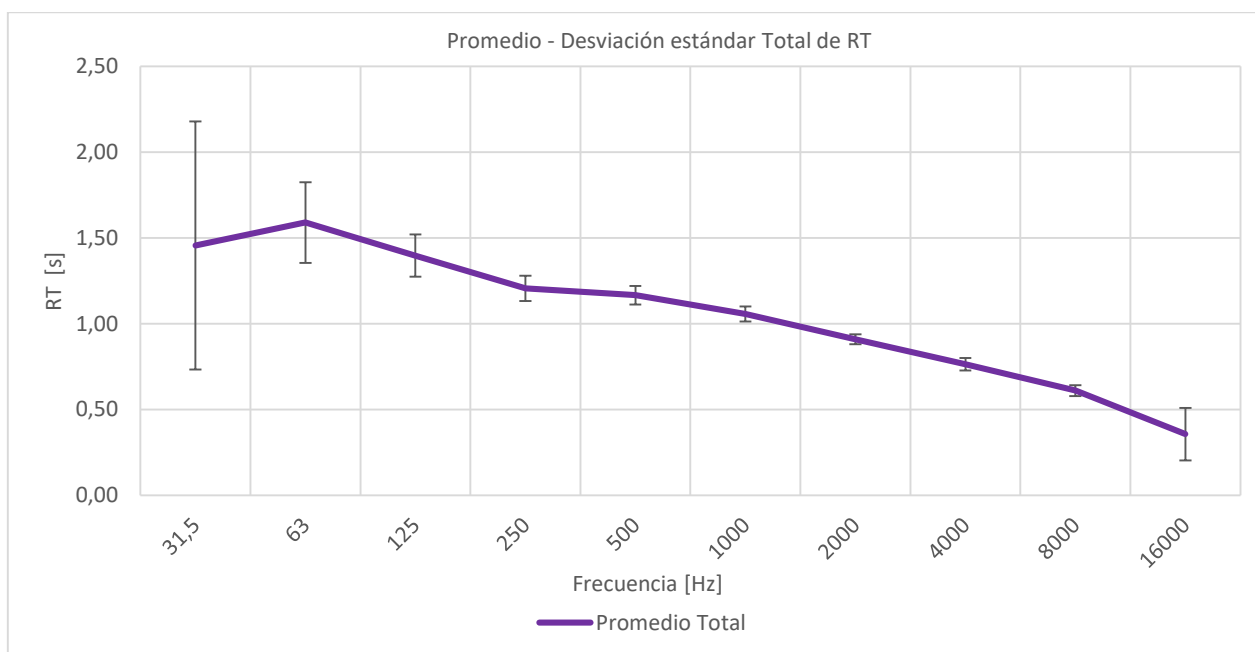
Gráfico 39. Promedios del parámetro RT por zonas en bandas de octavaGráfico 40. Promedio total y desviación típica del parámetro RT en bandas de octava

Tabla 63. Valores del parámetro T_{20} [s] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,543	1,371	1,220	1,100	1,087	0,960	0,831	0,697	0,544	0,378
Planta 0	1,441	1,595	1,452	1,212	1,167	1,068	0,930	0,779	0,610	0,283
Planta 1	1,199	1,520	1,369	1,195	1,160	1,058	0,905	0,760	0,615	0,281
Planta 2	1,312	1,763	1,373	1,159	1,113	1,038	0,893	0,753	0,612	0,243
Promedio Total	1,36	1,61	1,40	1,19	1,15	1,05	0,91	0,76	0,61	0,28
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,182	0,098	0,062	0,044	0,026	0,031	0,007	0,027	0,017	0,013
Planta 0	0,460	0,159	0,152	0,069	0,057	0,041	0,023	0,029	0,026	0,061
Planta 1	0,539	0,159	0,107	0,090	0,049	0,039	0,024	0,031	0,038	0,106
Planta 2	0,704	0,463	0,120	0,063	0,053	0,030	0,027	0,023	0,041	0,114
Desviación Total	0,54	0,29	0,14	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,09

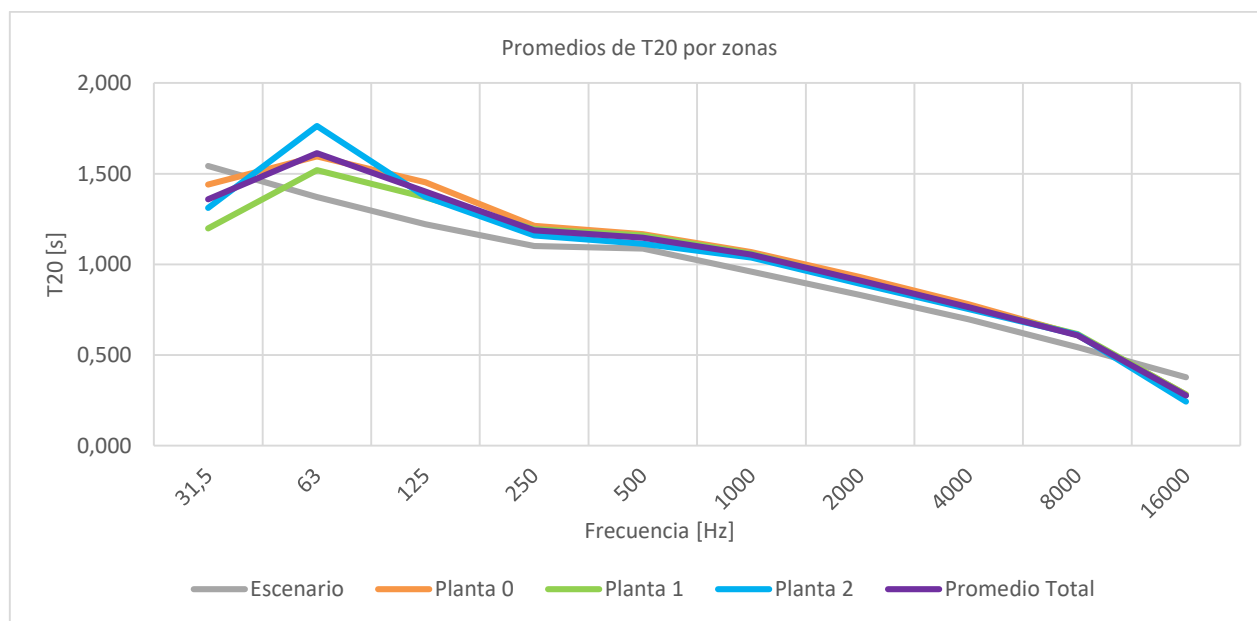
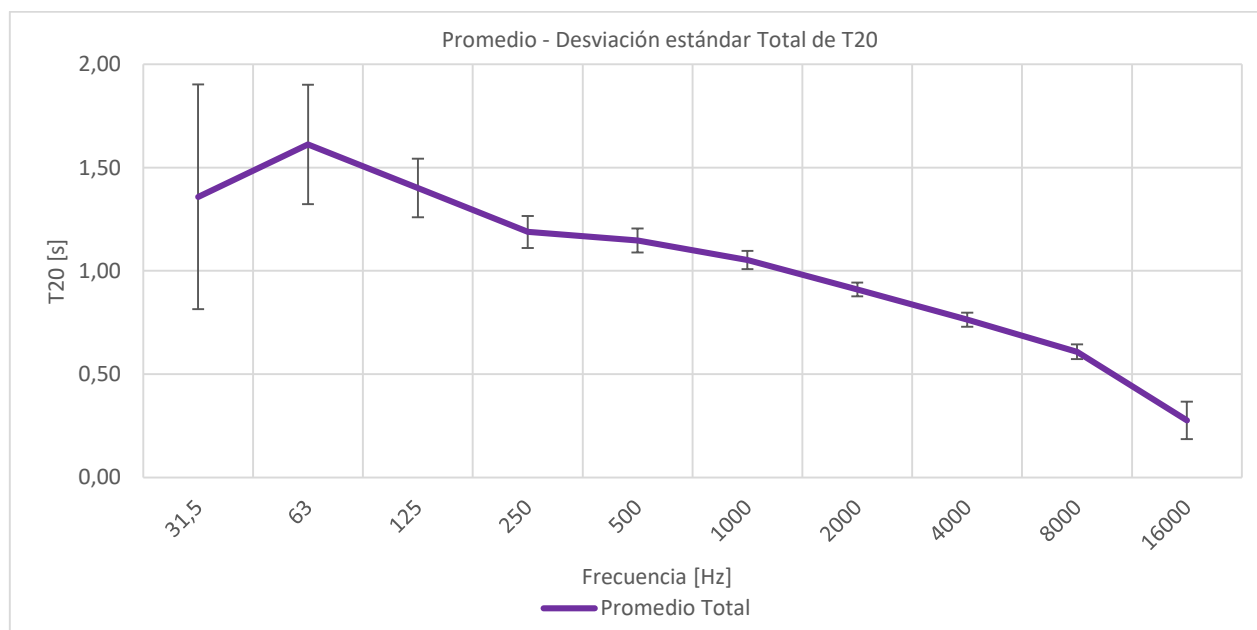
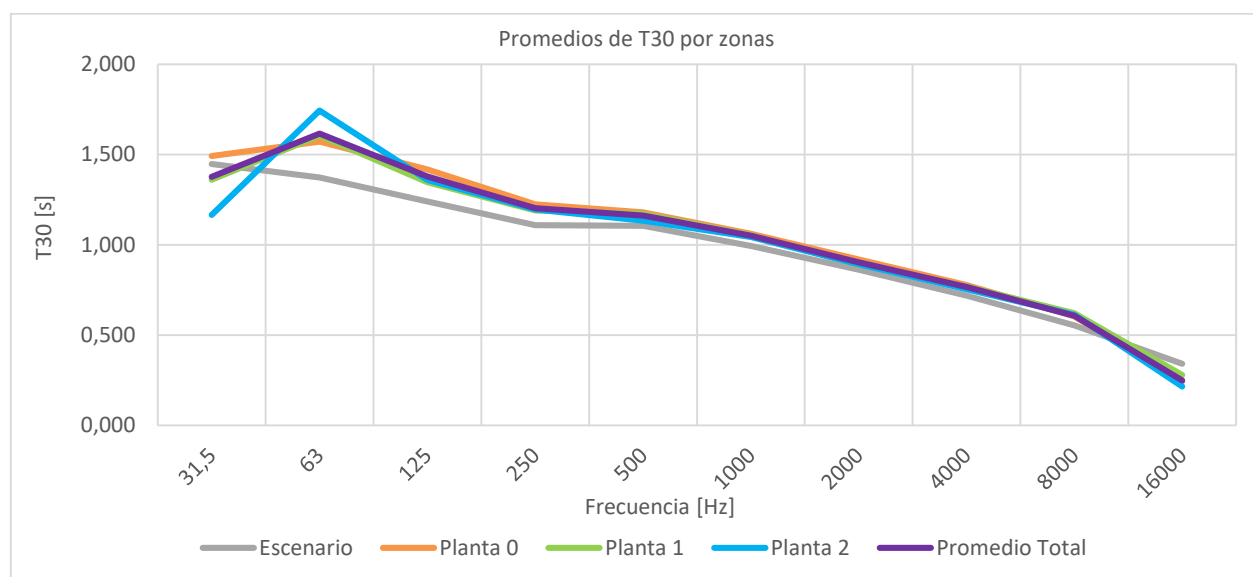
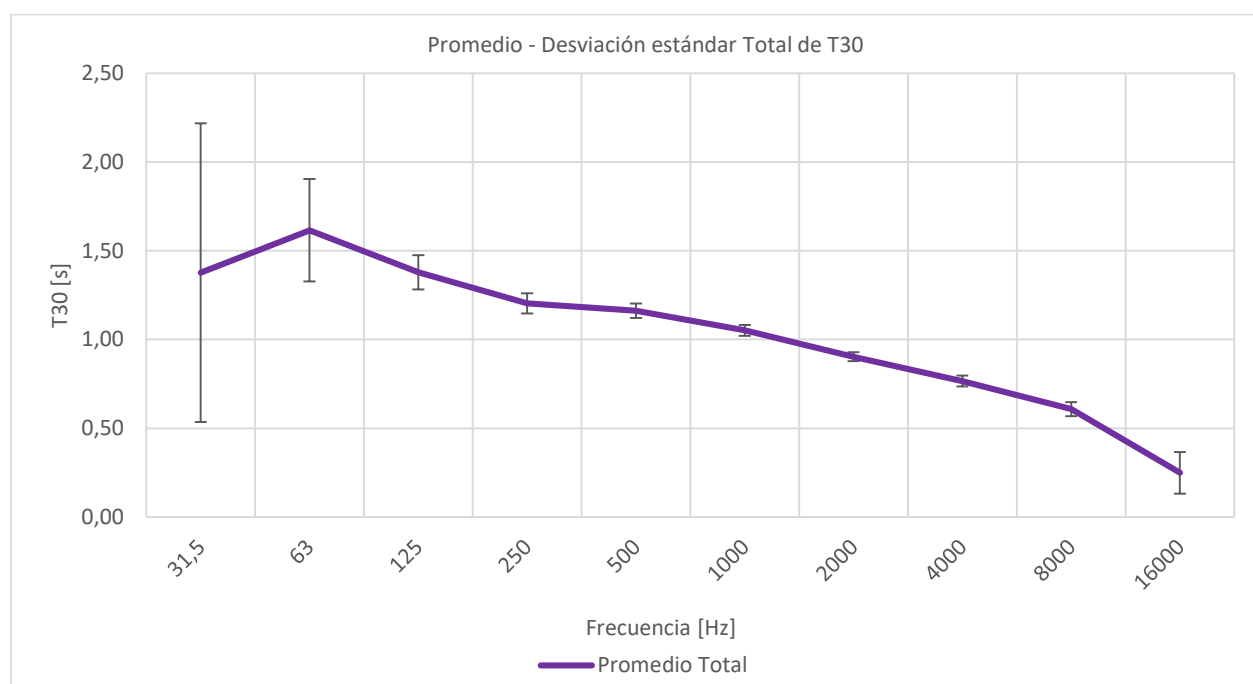
Gráfico 41. Promedios del parámetro T_{20} por zonas en bandas de octavaGráfico 42. Promedio total y desviación típica del parámetro T_{20} en bandas de octava

Tabla 64. Valores del parámetro T_{30} [s] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,448	1,373	1,240	1,109	1,106	0,994	0,863	0,719	0,554	0,342
Planta 0	1,493	1,571	1,418	1,224	1,180	1,061	0,920	0,777	0,605	0,244
Planta 1	1,361	1,606	1,347	1,191	1,172	1,053	0,891	0,769	0,621	0,279
Planta 2	1,167	1,744	1,360	1,196	1,134	1,044	0,893	0,754	0,612	0,216
Promedio Total	1,38	1,62	1,38	1,20	1,16	1,05	0,90	0,77	0,61	0,25
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,114	0,104	0,018	0,045	0,036	0,012	0,017	0,015	0,012	0,015
Planta 0	0,814	0,142	0,102	0,057	0,037	0,033	0,018	0,024	0,034	0,074
Planta 1	1,170	0,270	0,061	0,050	0,028	0,018	0,017	0,043	0,052	0,188
Planta 2	0,604	0,440	0,082	0,045	0,028	0,025	0,022	0,021	0,030	0,102
Desviación Total	0,84	0,29	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,12

Gráfico 43. Promedios del parámetro T_{30} por zonas en bandas de octavaGráfico 44. Promedio total y desviación típica del parámetro T_{30} en bandas de octava

Parámetros energéticos

Tabla 65. Valores del parámetro C50[dB] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,223	2,803	1,675	2,703	3,343	4,298	5,168	5,945	6,750	8,450
Planta 0	-2,101	-1,754	-2,297	-2,159	-0,737	-0,382	0,701	2,223	4,927	4,889
Planta 1	-2,304	-1,883	-0,529	-0,313	-0,676	-0,262	0,594	2,082	4,626	4,456
Planta 2	-2,474	-3,717	-1,227	0,332	-0,123	-0,013	1,373	3,285	5,530	5,413
Promedio Total	-2,13	-2,09	-1,43	-0,85	-0,36	-0,03	1,08	2,66	5,11	5,11
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,515	0,135	1,588	0,558	0,664	0,683	0,841	1,686	0,596	1,130
Planta 0	2,004	2,431	1,790	1,800	1,235	1,063	1,397	1,775	1,330	1,624
Planta 1	2,592	1,734	2,114	1,317	1,790	1,365	1,547	1,125	1,481	2,655
Planta 2	3,667	2,996	1,957	2,002	1,911	1,184	1,695	2,259	2,434	2,331
Desviación Total	2,66	2,76	2,12	2,18	1,76	1,51	1,77	1,98	1,75	2,19

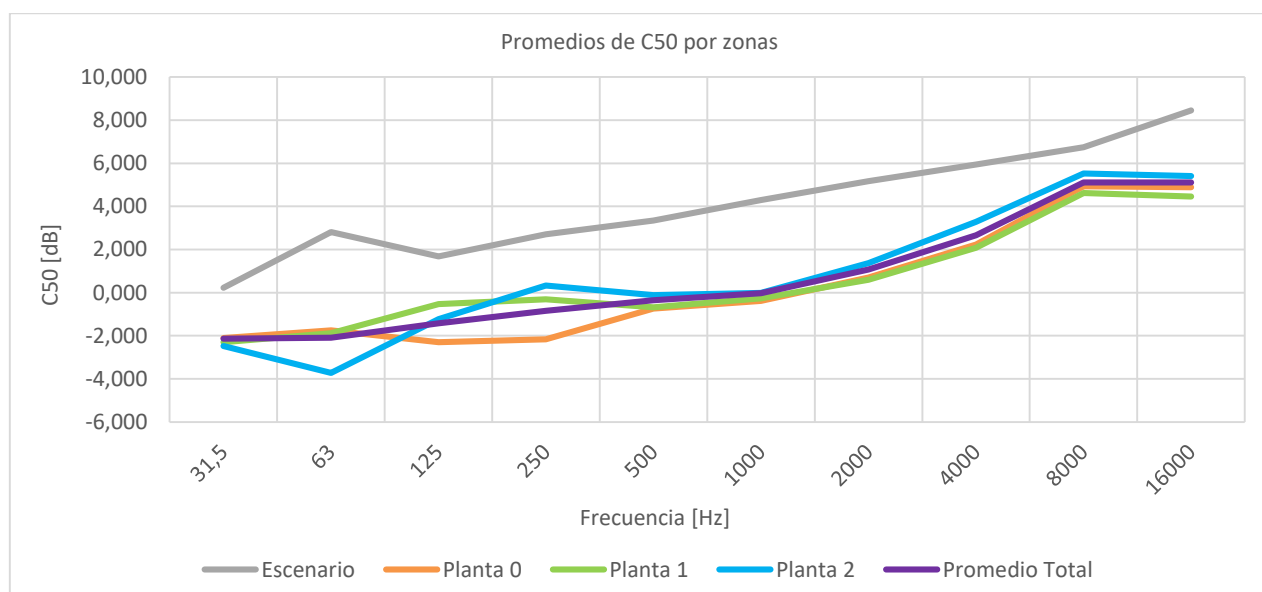


Gráfico 45. Promedios del parámetro C50 por zonas en bandas de octava

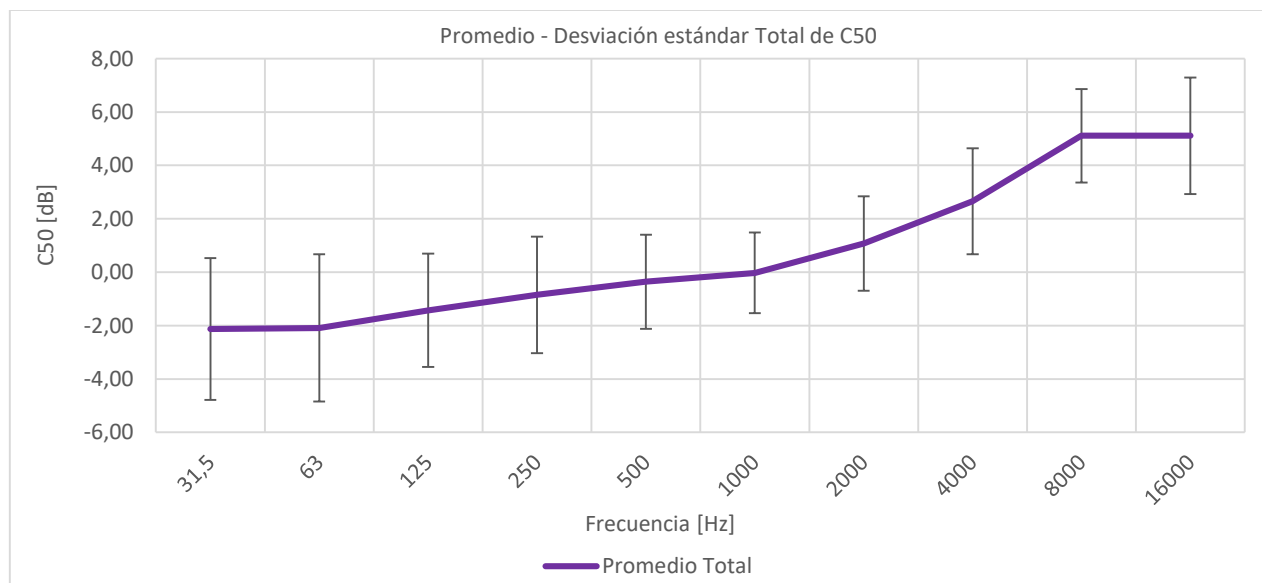


Gráfico 46. Promedio total y desviación típica del parámetro C50 en bandas de octava

Tabla 66. Valores del parámetro C80[dB] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,698	3,718	4,300	5,703	6,025	6,665	8,158	9,358	10,835	10,105
Planta 0	-0,033	1,137	0,256	1,103	2,066	2,455	3,763	5,542	8,491	7,728
Planta 1	-0,759	1,315	1,528	2,826	2,325	2,984	3,673	5,221	8,228	8,256
Planta 2	-1,736	-1,081	1,334	2,819	2,855	3,093	4,314	6,498	9,101	8,860
Promedio Total	-0,56	0,71	1,02	2,17	2,53	2,95	4,11	5,91	8,71	8,26
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,985	0,801	0,816	0,293	0,652	0,248	0,673	1,542	0,397	2,339
Planta 0	2,467	1,880	2,053	1,298	1,094	0,742	1,291	1,414	1,122	2,374
Planta 1	2,300	0,937	1,625	1,115	1,349	1,020	1,132	1,070	1,538	3,368
Planta 2	2,093	1,701	1,333	1,531	1,114	0,735	1,365	1,717	2,341	2,620
Desviación Total	2,42	2,01	1,96	1,73	1,42	1,19	1,56	1,69	1,68	2,70

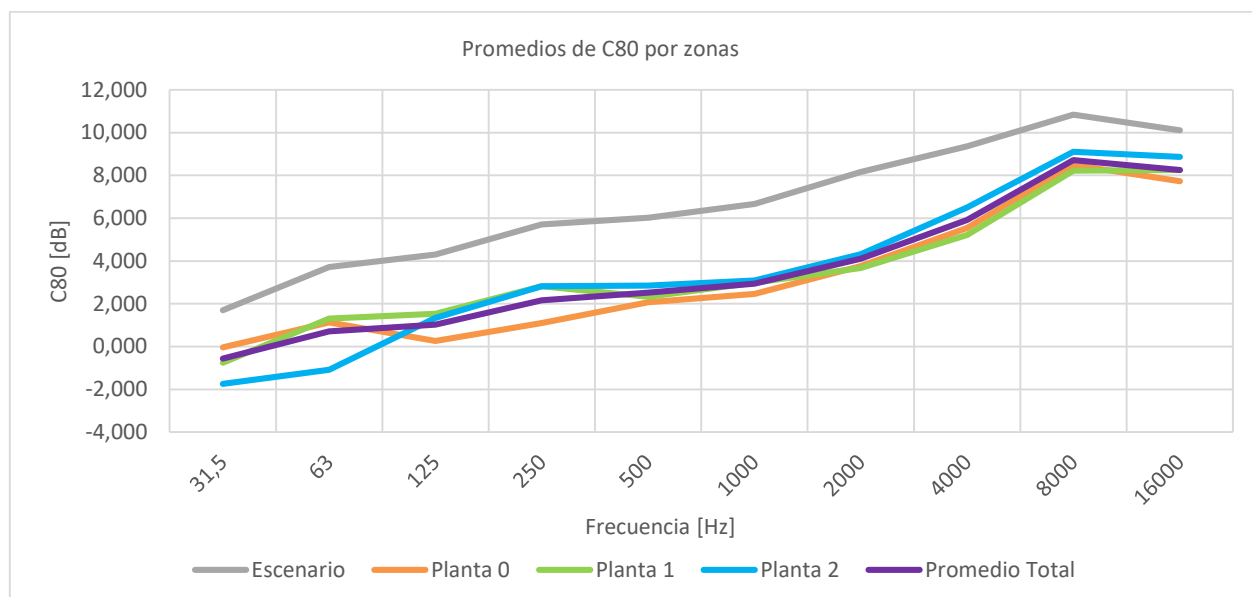


Gráfico 47. Promedios del parámetro C80 por zonas en bandas de octava

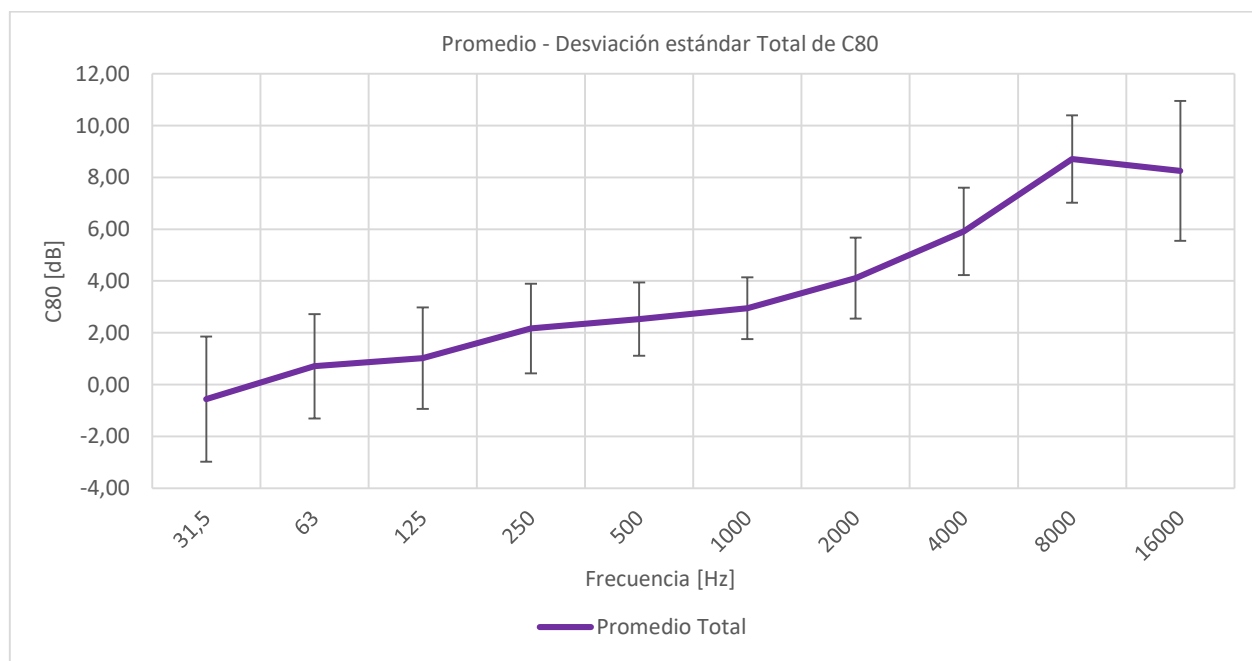


Gráfico 48. Promedio total y desviación típica del parámetro C80 en bandas de octava

Tabla 67. Valores del parámetro D50[-] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,513	0,655	0,595	0,650	0,683	0,730	0,765	0,790	0,823	0,873
Planta 0	0,388	0,407	0,375	0,382	0,458	0,478	0,539	0,621	0,753	0,748
Planta 1	0,449	0,397	0,471	0,483	0,462	0,486	0,533	0,615	0,738	0,738
Planta 2	0,386	0,315	0,433	0,517	0,493	0,500	0,576	0,672	0,767	0,785
Promedio Total	0,41	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,56	0,64	0,76	0,76
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,026	0,006	0,087	0,029	0,032	0,029	0,035	0,064	0,022	0,030
Planta 0	0,105	0,125	0,095	0,097	0,068	0,060	0,078	0,093	0,056	0,072
Planta 1	0,233	0,093	0,117	0,074	0,101	0,077	0,087	0,060	0,070	0,138
Planta 2	0,146	0,139	0,106	0,110	0,107	0,068	0,093	0,115	0,095	0,107
Desviación Total	0,15	0,14	0,12	0,12	0,10	0,08	0,10	0,10	0,07	0,10

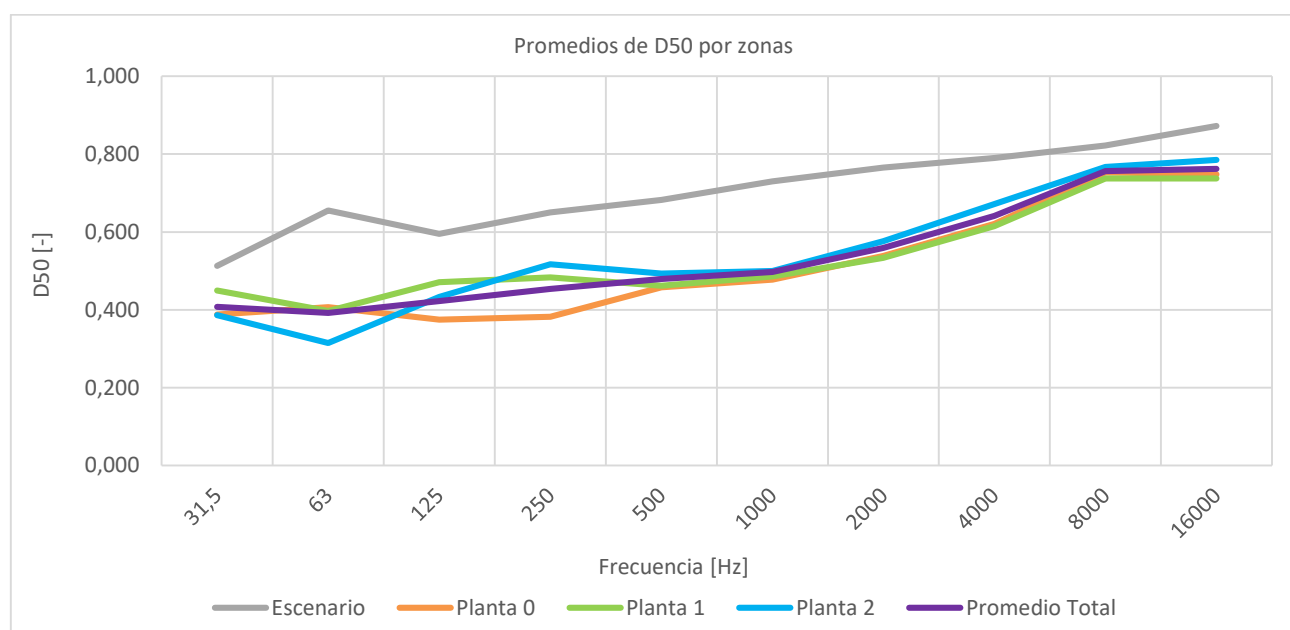


Gráfico 49. Promedios del parámetro D50 por zonas en bandas de octava

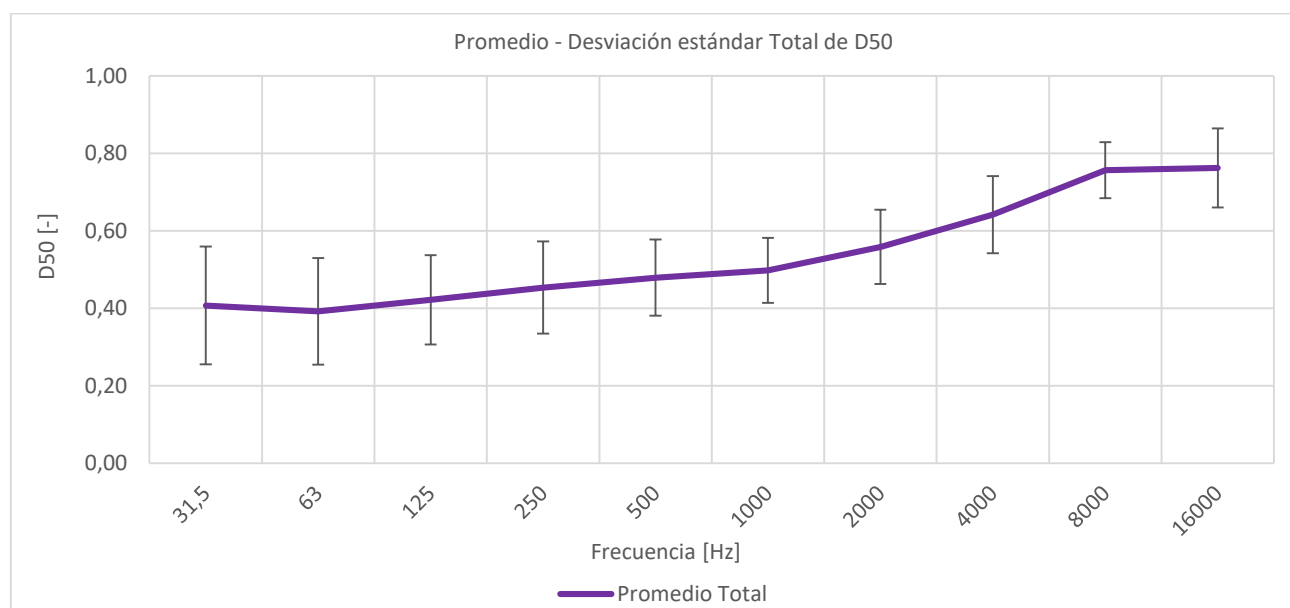
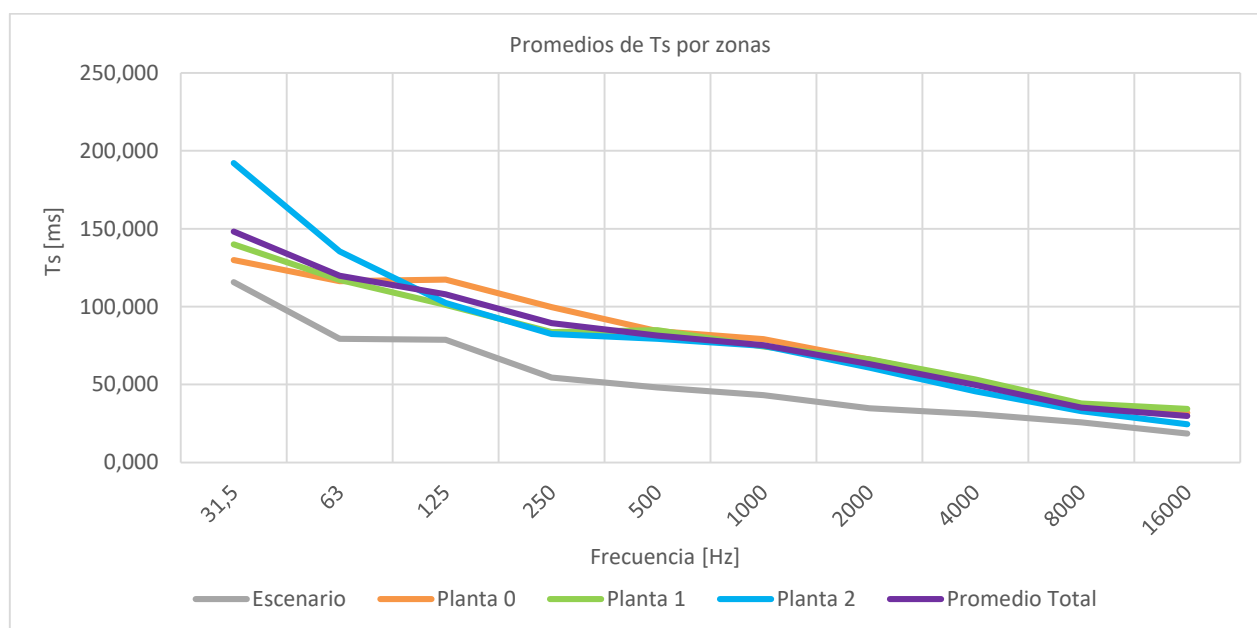
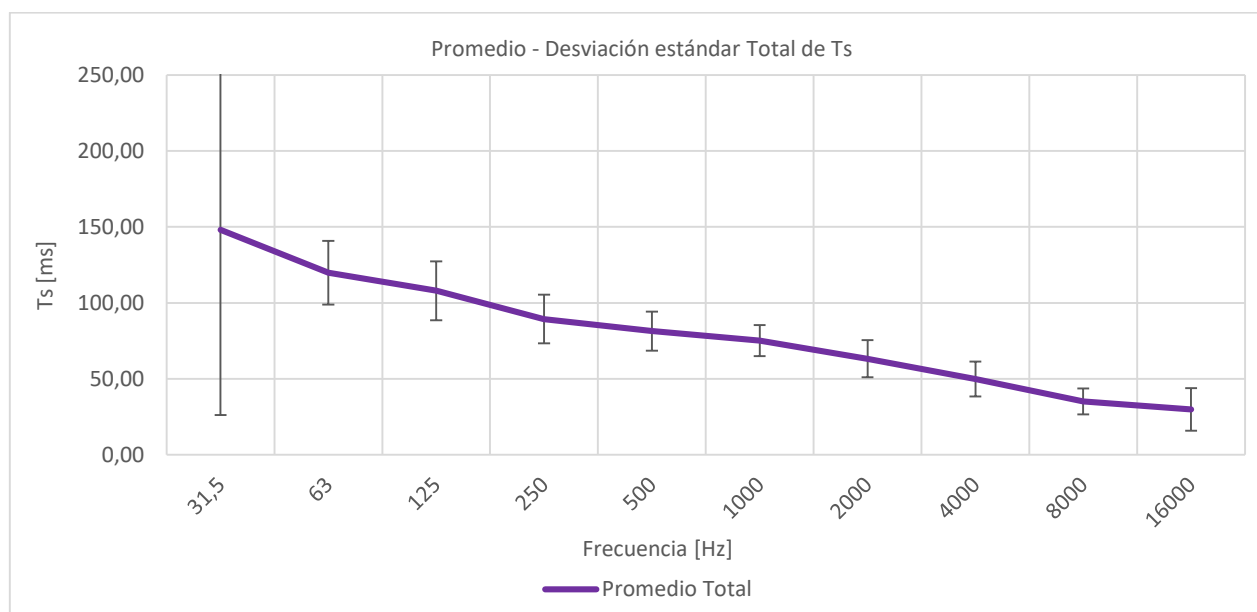


Gráfico 50. Promedio total y desviación típica del parámetro D50 en bandas de octava

Tabla 68. Valores del parámetro T_s [ms] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	115,725	79,425	78,650	54,525	48,050	43,225	34,850	31,050	25,850	18,575
Planta 0	129,982	116,261	117,455	99,700	84,374	79,145	66,082	52,416	36,134	31,824
Planta 1	139,894	117,211	101,161	83,767	84,900	74,450	66,244	53,344	37,833	34,356
Planta 2	192,077	135,459	102,459	82,382	79,350	74,777	60,973	45,759	32,932	24,555
Promedio Total	148,12	119,82	107,96	89,35	81,37	75,19	63,22	49,79	35,15	29,78
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,034	3,840	8,319	5,757	5,112	1,615	6,236	9,708	3,039	3,327
Planta 0	21,137	19,248	17,395	11,573	8,034	6,625	9,889	10,636	5,865	10,688
Planta 1	77,775	13,784	20,604	7,935	11,758	8,022	9,944	7,433	8,424	21,181
Planta 2	220,800	16,782	12,961	14,148	12,680	7,085	11,518	12,185	11,620	10,547
Desviación Total	121,90	20,91	19,41	16,06	12,81	10,23	12,18	11,53	8,58	13,99

Gráfico 51. Promedios del parámetro T_s por zonas en bandas de octavaGráfico 52. Promedio total y desviación típica del parámetro T_s en bandas de octava

Parámetros espaciales

Tabla 69. Valores del parámetro LF[-] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,053	0,020	0,025	0,025	0,065	0,138	0,135	0,195	0,188	0,188
Planta 0	0,037	0,011	0,019	0,038	0,076	0,119	0,127	0,151	0,117	0,148
Planta 1	0,048	0,010	0,018	0,039	0,074	0,114	0,134	0,164	0,112	0,121
Planta 2	0,050	0,013	0,023	0,029	0,064	0,097	0,110	0,122	0,080	0,088
Promedio Total	0,04	0,01	0,02	0,04	0,07	0,11	0,12	0,15	0,11	0,13
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,010	0,000	0,017	0,006	0,006	0,010	0,040	0,110	0,032	0,036
Planta 0	0,064	0,010	0,009	0,013	0,019	0,025	0,024	0,032	0,033	0,057
Planta 1	0,048	0,005	0,006	0,019	0,017	0,021	0,036	0,042	0,021	0,031
Planta 2	0,080	0,008	0,012	0,011	0,016	0,017	0,042	0,048	0,037	0,043
Desviación Total	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05

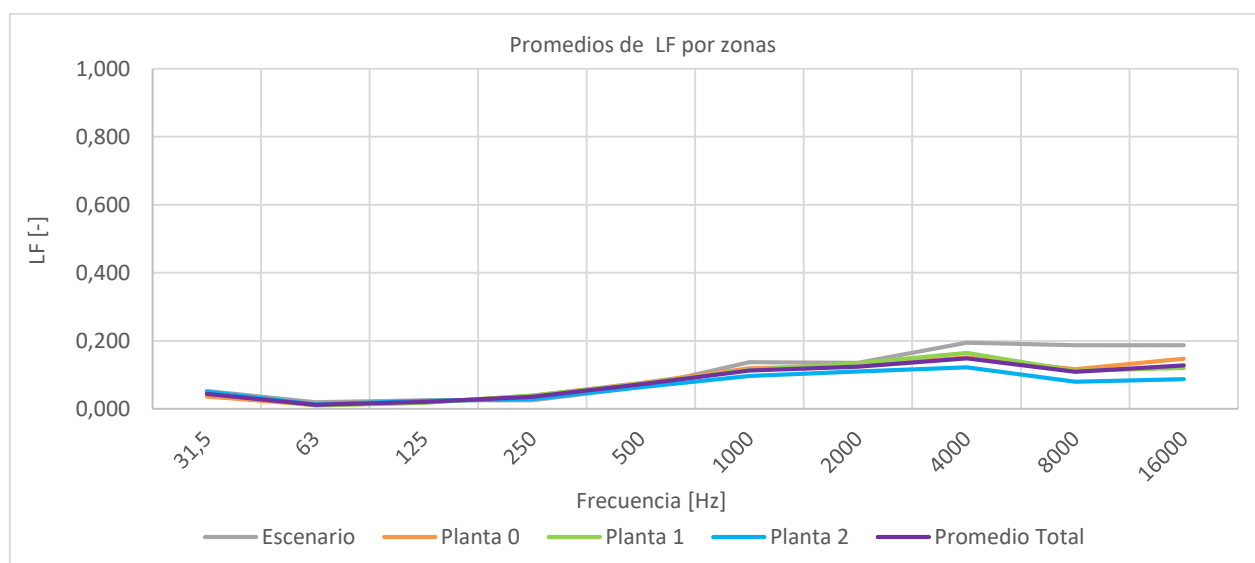


Gráfico 53. Promedios del parámetro LF por zonas en bandas de octava

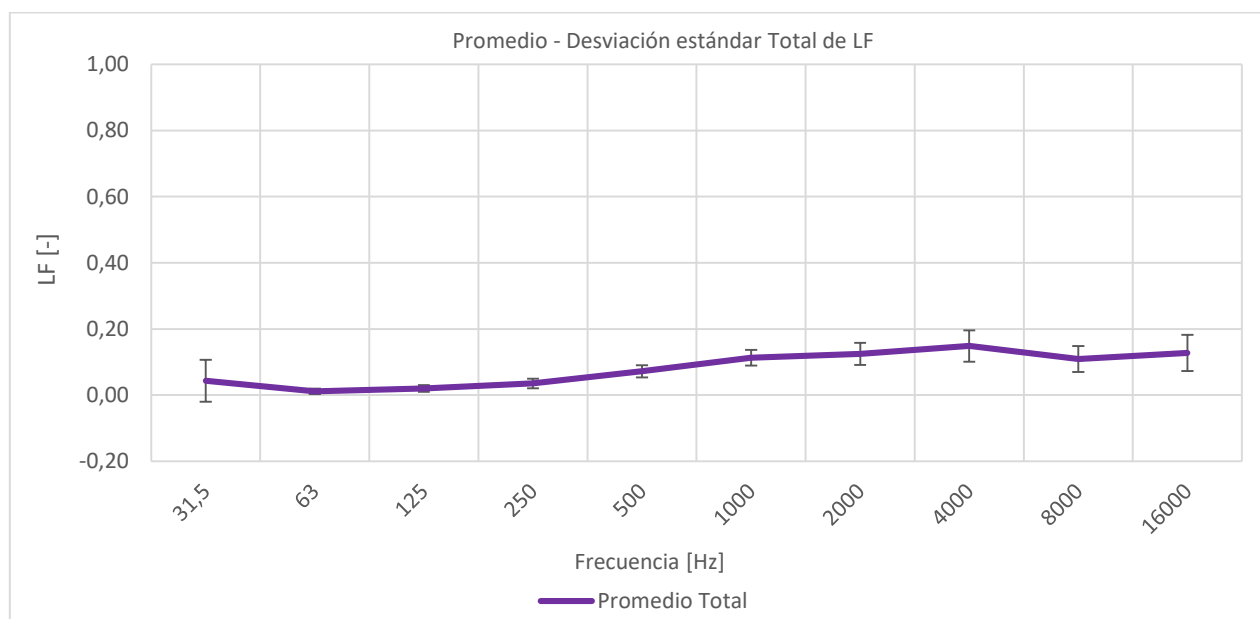


Gráfico 54. Promedio total y desviación típica del parámetro LF en bandas de octava

Tabla 70. Valores del parámetro LFC[-] en bandas de octava

Promedios de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	1,000	1,000	0,433	0,115	0,140	0,265	0,085	0,055	0,000	1,000
Planta 0	1,000	1,000	0,700	0,224	0,167	0,366	0,131	0,088	0,000	1,000
Planta 1	1,000	1,000	0,727	0,148	0,204	0,359	0,112	0,083	0,000	1,000
Planta 2	1,000	1,000	0,906	0,194	0,150	0,382	0,119	0,055	0,000	1,000
Promedio Total	1,00	1,00	0,75	0,19	0,17	0,36	0,12	0,08	0,00	1,00
Desviaciones de los datos por zonas										
Frecuencias (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Escenario	0,671	0,104	0,062	0,013	0,000	0,006	0,017	0,013	0,000	1,000
Planta 0	1,000	1,000	0,198	0,083	0,046	0,059	0,019	0,023	0,000	1,000
Planta 1	1,000	1,000	0,273	0,035	0,065	0,059	0,029	0,022	0,000	1,000
Planta 2	1,000	1,000	0,389	0,043	0,026	0,107	0,030	0,013	0,000	1,000
Desviación Total	1,00	1,00	0,29	0,07	0,05	0,08	0,03	0,02	0,00	1,00

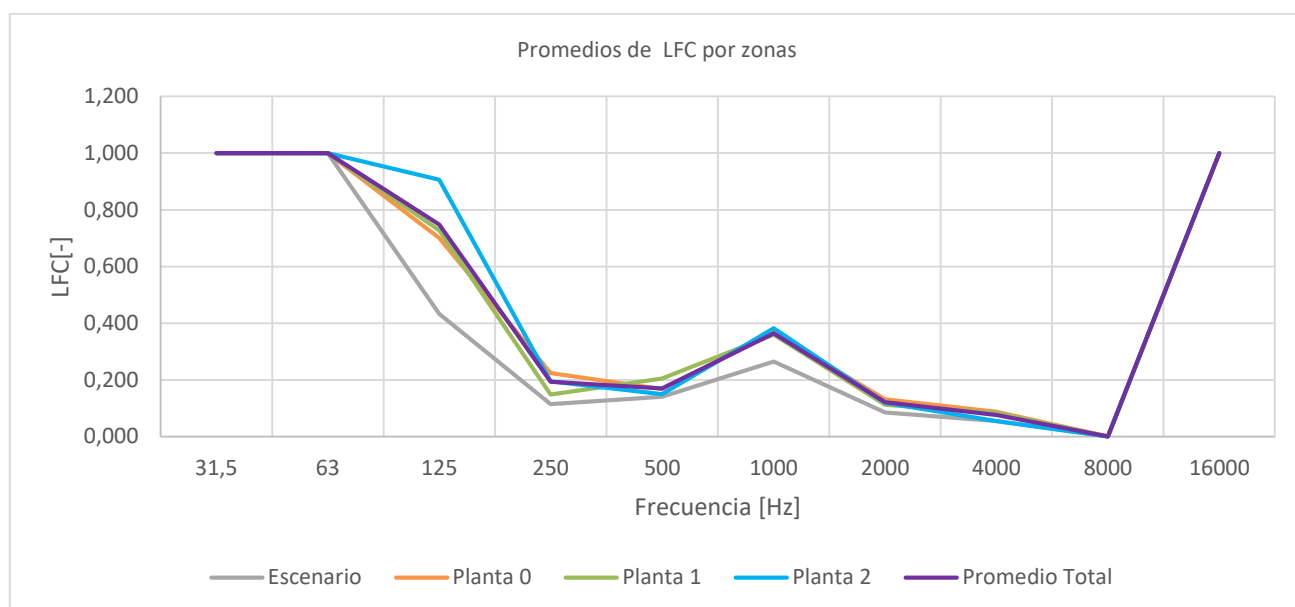


Gráfico 55. Promedios del parámetro LFC por zonas en bandas de octava

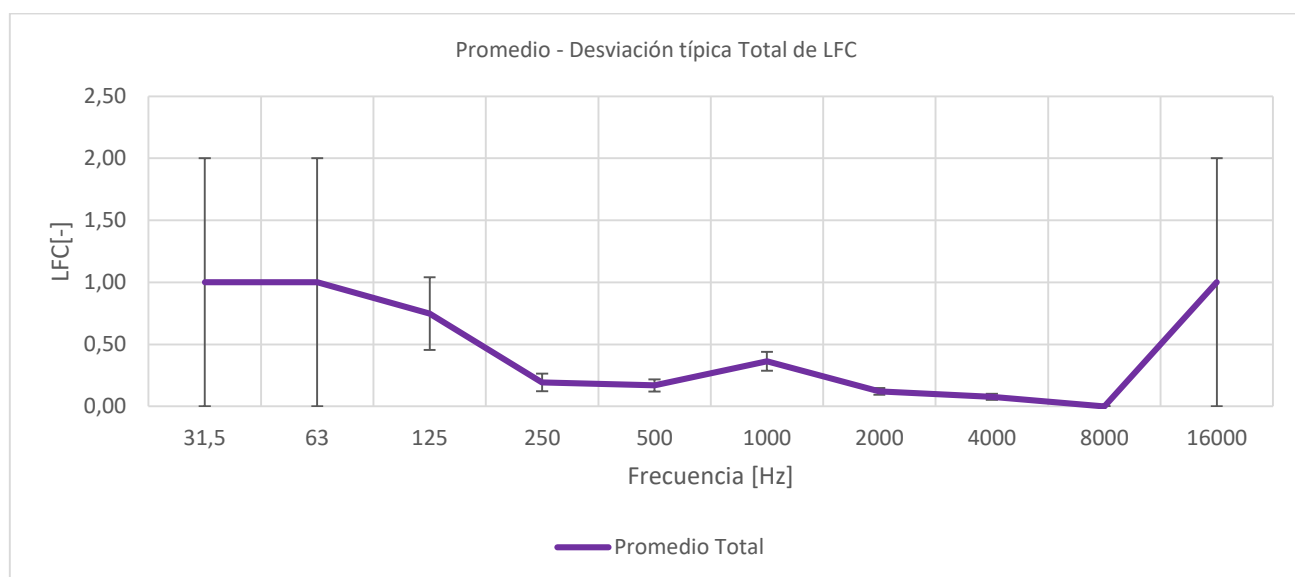


Gráfico 56. Promedio total y desviación típica del parámetro LFC en bandas de octava

Tabla 71. Valores del parámetro STI[-]

Promedios de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	-
Escenario	0,708
Planta 0	0,609
Planta 1	0,613
Planta 2	0,632
Promedio Total	0,62
Desviaciones de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	-
Escenario	0,010
Planta 0	0,021
Planta 1	0,024
Planta 2	0,035
Desviación Total	0,03

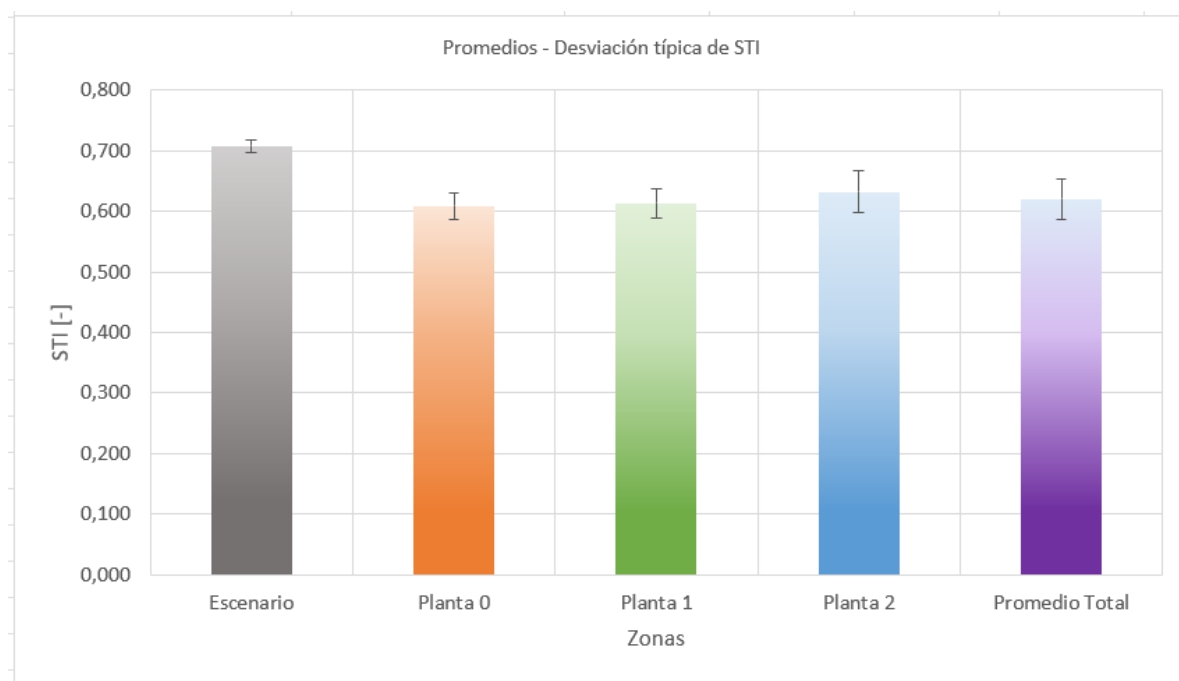


Gráfico 57. Promedios por zonas, promedio total y desviación típica del parámetro STI

Tabla 72. Valores del parámetro Alcons[%]

Promedios de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	-
Escenario	3,715
Planta 0	6,296
Planta 1	6,186
Planta 2	5,643
Promedio Total	5,97
Desviaciones de los datos por zonas	
Frecuencias (Hz)	-
Escenario	0,168
Planta 0	0,713
Planta 1	0,797
Planta 2	1,007
Desviación Total	0,98

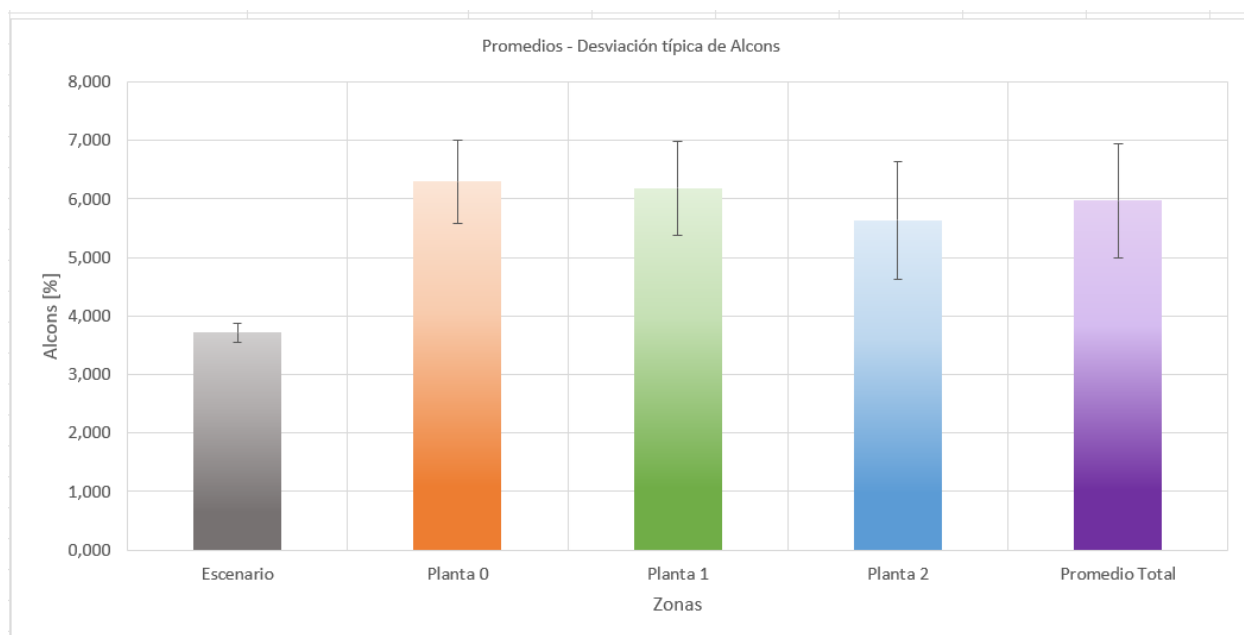


Gráfico 58. Promedios por zonas, promedio total y desviación típica del parámetro Alcons

