



**CAMPUS SUR-UPM** ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN



**POLITÉCNICA**

## PROYECTO FIN DE GRADO

**TÍTULO:** DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO GEOMÉTRICO PARA EL ESTUDIO DEL TEATRO CARRIÓN (VALLADOLID)

**AUTOR/A:** JAIME MONTAÑÉS SOTOCA

**TITULACIÓN:** GRADO EN INGENIERÍA DE SONIDO E IMAGEN

**TUTOR/A:** JUAN JOSÉ GÓMEZ ALFAGEME

**DEPARTAMENTO:** INGENIERÍA AUDIOVISUAL Y COMUNICACIONES

VºBº TUTOR/A

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE/A:** JOSÉ LUIS LÓPEZ PRESA

**TUTOR/A:** JUAN JOSÉ GÓMEZ ALFAGEME

**SECRETARIO/A:** ELENA BLANCO MARTÍN

**Fecha de lectura:**

**Calificación:**

El Secretario/La Secretaria,



## RESUMEN

La acústica arquitectónica es la rama de la física y más en concreto de la acústica que estudia los fenómenos sonoros en recintos o salas. Está fundamentada en las bases de la propagación del sonido. La investigación en este nicho y en sus campos de aplicación está aún en desarrollo y cobra cada día más importancia.

El diseño y validación de un modelo geométrico para el estudio acústico del Teatro Carrión surge por la necesidad de estudiar la acústica de la sala. Así se pueden dar explicaciones de los fenómenos sonoros que acontecen en su interior o mejorar la acústica simulando posibles escenarios reales.

En el presente documento se pretende recoger el proceso completo de creación y validación del modelo, dividido en etapas secuenciales. Se comienza con la realización de mediciones in-situ siguiendo la norma UNE-EN ISO 3382 – Parte 1: Salas de espectáculos. Los datos obtenidos se procesan y se filtran para trabajar con precisión y se diseña la métrica JND (*Just Noticeable Difference*) que sirve como herramienta de comparación.

Seguidamente se comienza con la creación del modelo geométrico, con apoyo de AutoCAD y Sketch-Up, donde se trata de representar con el mayor rigor posible una réplica del recinto de estudio. El estudio acústico es realizado en el *software* de simulación acústica EASE, programa de donde se extrae la información necesaria para la comparación.

Durante todo el proyecto se trabaja con Excel, que será de utilidad para procesar datos, validar el modelo y extraer conclusiones de la comparación. Con los resultados obtenidos, se puede afirmar que la acústica del recinto es buena, ya que tiene un tiempo de reverberación correcto, y los valores de los parámetros energéticos que se analizan son adecuados. Ello resulta en que la inteligibilidad del recinto es idónea, cosa indispensable teniendo en cuenta el propósito de la sala.

Tras la validación del modelo, se llega a la conclusión de que el recinto construido representa con suficiencia la realidad, pudiendo ser usado para la realización de cualquier estudio acústico. Además, ofrece la posibilidad de realizar cualquier mejora acústica y que la sensación en los oyentes sea agradable y de calidad.



## **ABSTRACT**

Architectural acoustics is the branch of physics and more specifically of acoustics that studies sound phenomena in enclosures or rooms. It is based on the fundamentals of sound propagation. Research in this niche and in its fields of application is still developing and is becoming increasingly important.

The design and validation of a geometric model for the acoustic study of the Carrión Theater arose from the need to study the acoustics of the hall. In this way, it is possible to explain the sound phenomena that takes place inside the theater or to improve the acoustics by simulating possible real scenarios.

In this document we intend to collect the complete process of creation and validation of the model, divided into sequential stages. It starts with the realization of in-situ measurements following the UNE-EN ISO 3382 standard - Part 1: Performance halls. The data obtained are processed and filtered to work accurately and the JND (Just Noticeable Difference) metric is designed to serve as a comparison tool.

Then we start with the creation of the geometric model, with the support of AutoCAD and Sketch-Up, where we try to represent as rigorously as possible a replica of the study enclosure. The acoustic study is carried out in the acoustic simulation software EASE, a program from which the necessary information for the comparison is extracted.

Throughout the project we worked with Excel, which will be useful to process data, validate the model and draw conclusions from the comparison. With the results obtained, it can be stated that the acoustics of the enclosure is good, since it has a correct reverberation time, and the values of the energetic parameters that are analyzed are adequate. As a result, the intelligibility of the room is ideal, which is essential considering the purpose of the room.

After the validation of the model, it is concluded that the constructed enclosure sufficiently represents the reality, being able to be used for the realization of any acoustic study. In addition, it offers the possibility of making any acoustic improvement and that the sensation in the listeners is pleasant and of quality.



## LISTA DE ACRÓNIMOS

TR	Tiempo de reverberación; <i>Reverberation Time</i>
EDT	Tiempo de reverberación temprano; <i>Early Decay Time</i>
C	Claridad; <i>Clarity</i>
D	Definición; <i>Definition</i>
TS	Tiempo Central; <i>Central Time</i>
LF	Eficiencia Lateral; <i>Lateral Fraction</i>
LFC	Eficiencia Lateral Coseno; <i>Lateral Fraction Cosine</i>
ALCONS	Pérdida de Inteligibilidad de Consonantes; <i>Percentage Loss of Consonants</i>
STI	Transmisión del Habla; <i>Speech Transmission Index</i>
JND	Diferencia Mínima Notable; <i>Just Noticeable Difference</i>
XLR	Línea de Retorno Externa; <i>eXternal Line Return</i>
USB	Bus Universal en Serie; <i>Universal Serial Bus</i>
INR	Relación Impulso Ruido; <i>Impulse Response to Noise Ratio</i>
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación; <i>Information and communication technology</i>
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible; <i>Sustainable Development Goals</i>



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
<b>3. TEATRO CARRIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>4. INTRODUCCION TEORICA</b> .....	<b>27</b>
4.1. CONCEPTOS INICIALES.....	27
4.2. ACÚSTICA ESTADISTICA.....	30
4.3. ACUSTICA GEOMÉTRICA.....	31
4.4. PARÁMETROS ACÚSTICOS.....	32
4.4.1. PARÁMETROS TEMPORALES: TIEMPO DE REVERBERACIÓN Y ESTIMADORES DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN: $T_{10}$ , $T_{20}$ , $T_{30}$ , EDT.....	32
4.4.2. PARÁMETROS ENERGETICOS: CLARIDAD DEFINICION Y TIEMPO CENTRAL.....	34
4.4.3. PARÁMETROS ESPACIALES: EFICIENCIA LATERAL Y EFICIENCIA LATERAL COSENO.....	35
4.4.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD: PÉRDIDA DE ARTICULACIÓN DE CONSONANTES E ÍNDICE DE TRANSMISIÓN DEL HABLA.....	35
4.5. MÉTRICA JND.....	37
<b>5. MEDICIONES IN-SITU</b> .....	<b>39</b>
5.1. NORMA UNE-EN ISO 3382-1:2010.....	39
5.2. EQUIPAMIENTO.....	39
5.3. MEDICIONES.....	42
5.4. PROCESADO DE DATOS.....	46
5.4.1. MÁSCARA INR Y CRITERIO DE CHAUVENET.....	46
5.4.2. PROMEDIO Y DESVIACIÓN TÍPICA.....	51
<b>6. CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO</b> .....	<b>65</b>
6.1. PLANOS DE AUTOCAD.....	65
6.2. CONSTRUCCIÓN EN SKETCH-UP.....	67
6.3. EXPORACIÓN A EASE.....	79
<b>7. VALIDACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO</b> .....	<b>83</b>
7.1. AJUSTE DE MATERIALES.....	83
7.2. SIMULACIÓN DE PARÁMETROS.....	87
7.3. COMPARACIÓN DE VALORES.....	89
<b>8. PRESUPUESTO</b> .....	<b>115</b>
<b>9. IMPACTO DEL PROYECTO</b> .....	<b>117</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>119</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b> .....	<b>121</b>
<b>ANEXO I RUIDO DE FONDO</b> .....	<b>123</b>
<b>ANEXO II PLANOS DE AUTOCAD</b> .....	<b>125</b>

<b>ANEXO III ESTUDIO ACÚSTICO DEL TEATRO CARRIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 3382.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO IV MATERIALES EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN .....</b>	<b>141</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exterior del Teatro Carrión .....	21
Figura 2. Teatro Carrión en la actualidad .....	22
Figura 3. Arco del escenario. Producción propia. ....	22
Figura 4. Vista general de la sala desde el escenario. Producción propia. ....	23
Figura 5. Lámpara central de la sala. Producción propia. ....	24
Figura 6. Vistas laterales desde platea y anfiteatro. Producción propia. ....	25
Figura 7. Campo directo (izquierda) vs campo reverberante (derecha). Producción propia. ....	28
Figura 8. Reflexión especular. Producción propia.....	28
Figura 9. Reflexión difusa. Producción propia.....	29
Figura 10. Refracción de ondas. Producción propia.....	29
Figura 11. Difracción de ondas sonoras. Producción propia.....	29
Figura 12. Absorción de un material. Producción propia.....	30
Figura 13. Campo difuso. Producción propia.....	31
Figura 14. Trazado de rayos de teoría geométrica. Producción propia. ....	31
Figura 15. Cálculo del tiempo de reverberación. Producción propia. ....	32
Figura 16. Cálculo de $T_{20}$ y $T_{30}$ . Producción propia.....	33
Figura 17. Cálculo de EDT. Producción propia. ....	34
Figura 18. Figura de Peutz para la obtención del % Alcons.....	36
Figura 19. Fuente AVM DO-12. [11].....	39
Figura 20. Micrófonos AKG CK 92 (izquierda) [12] y AKG CK 94 (derecha) [13].....	40
Figura 21. Preamplificador AKG SE-300B [14].....	40
Figura 22. Ordenador portátil con Software Dirac 6.0.....	40
Figura 23. Tarjeta de sonido MOTU UltraLite MK3 [15].....	41
Figura 24. Amplificador de potencia CROWN XLS 2002 DriveCore [16].....	41
Figura 25. Sonómetro Bruel & Kjaer 2260 [17].....	41
Figura 26. Calibrador Bruel & Kjaer [18].....	42
Figura 27. Diagrama de bloques del conexionado.....	42
Figura 28. Posiciones de los micrófonos de medición en la platea. Producción propia. ....	44
Figura 29. Posiciones de los micrófonos de medición del anfiteatro y posiciones de las fuentes. Producción propia.....	45
Figura 30. Distribución normal o gaussiana. Producción propia.....	49
Figura 31. EDT medido por zonas en todo el rango de frecuencias.....	52
Figura 32. EDT medido por zonas.....	53
Figura 33. RT medido por zonas .....	54
Figura 34. $T_{20}$ medido por zonas .....	55
Figura 35. $T_{30}$ medido por zonas .....	56
Figura 36. $C_{50}$ medido por zonas .....	57
Figura 37. $C_{80}$ medido por zonas .....	58
Figura 38. $D_{50}$ medido por zonas.....	59
Figura 39. $T_s$ medido por zonas.....	60
Figura 40. LF medido por zonas.....	61
Figura 41. LFC medido por zonas .....	62
Figura 42. STI medido por zonas .....	63
Figura 43. ALCONS medido por zonas .....	64
Figura 44. Planos del Teatro Carrión .....	65
Figura 45. Planos adicionales del Teatro Carrión .....	66
Figura 46. Planos simplificados exportados a Sketch-Up. Producción propia.....	67
Figura 47. Planos exportados girados en Sketch-Up.....	68
Figura 48. Construcción del suelo de platea y escenario y levantamiento de paredes .....	68
Figura 49. Construcción de los laterales de la boca del escenario.....	69
Figura 50. Construcción del anfiteatro .....	70

Figura 51. Construcción del arco del escenario.....	71
Figura 52. Unión de ambos pisos de la zona de audiencia .....	71
Figura 53 Construcción de la lámpara central .....	72
Figura 54. Construcción del techo .....	72
Figura 55. Construcción de elementos pequeños: Butacas y escalera del escenario .....	72
Figura 56. Construcción de elementos pequeños: Lámparas, puertas y sillas .....	73
Figura 57. Construcción de elementos pequeños: Cabinas de sonido y proyección .....	73
Figura 58. Organización de capas y código de color .....	74
Figura 59. Recinto listo para ser duplicado .....	74
Figura 60. Estructura exterior del modelo geométrico .....	75
Figura 61. Vista Global desde el escenario (superior) y desde el anfiteatro (inferior) .....	76
Figura 62. Vistas desde la platea al escenario .....	77
Figura 63. Anfiteatro y su forjado .....	78
Figura 64. Palcos y techo.....	78
Figura 65. Comparación realidad - modelo geométrico I.....	78
Figura 66. Comparación realidad - modelo geométrico II .....	78
Figura 67. Comparación realidad - modelo geométrico III .....	79
Figura 68. Comparación realidad - modelo geométrico IV .....	79
Figura 69. Vistas del modelo geométrico en EASE .....	80
Figura 70. Materiales iniciales asignados a cada capa .....	80
Figura 71. Sala en EASE lista para simular.....	81
Figura 72. Trazado de rayos en el recinto .....	81
Figura 73. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) iniciales.....	82
Figura 74. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) tras segundo ajuste.....	84
Figura 75. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) tras tercer ajuste .....	84
Figura 76. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) final.....	85
Figura 77. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro EDT .....	89
Figura 78. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro RT.....	90
Figura 79. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_{20}$ .....	91
Figura 80. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_{30}$ .....	92
Figura 81. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $C_{50}$ .....	93
Figura 82. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $C_{80}$ .....	94
Figura 83. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $D_{50}$ .....	95
Figura 84. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_s$ .....	96
Figura 85. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LF .....	97
Figura 86. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LFC .....	98
Figura 87. Comparación Medido – Simulado. Parámetro STI .....	99
Figura 88. Comparación Medido – Simulado. Parámetro ALCONS .....	100
Figura 89. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro EDT.....	102
Figura 90. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro RT .....	103
Figura 91. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_{20}$ .....	104
Figura 92. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_{30}$ .....	105
Figura 93. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $C_{50}$ .....	106
Figura 94. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $C_{80}$ .....	107
Figura 95. Comparación Medido – Simulado en octavas Parámetro $D_{50}$ .....	108
Figura 96. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_s$ .....	109
Figura 97. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LF.....	110
Figura 98. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LFC .....	111
Figura 99. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro STI .....	112
Figura 100. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro ALCONS.....	113
Figura 101. Promedio y desviación del ruido de fondo.....	124
Figura 102. Planos en planta de ambas alturas del Teatro Carrión .....	125
Figura 103. Plano de la parte superior del anfiteatro y sus salas exteriores .....	125

Figura 104. Plano estructural del Teatro Carrión .....	126
Figura 105. Planos adicionales en tres vistas del Teatro Carrión .....	126
Figura 106. Plano del escenario del Teatro Carrión .....	127
Figura 107. Planos modificados y simplificados exportados a Sketch-Up. Producción propia. ....	128
Figura 108. EDT medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	129
Figura 109. RT medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	130
Figura 110. $T_{20}$ medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	131
Figura 111. $T_{30}$ medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	132
Figura 112. $C_{50}$ medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	133
Figura 113. $C_{80}$ medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	134
Figura 114. $D_{80}$ medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	135
Figura 115. $T_s$ medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	136
Figura 116. LF medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	137
Figura 117. LFC medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	138
Figura 118. STI medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	139
Figura 119. ALCONS medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	140
Figura 120. Valores de absorción del material 1 .....	141
Figura 121. Valores de absorción del material 2 .....	141
Figura 122. Valores de absorción del material 3 .....	142
Figura 123. Valores de absorción del material 4 .....	142
Figura 124. Valores de absorción del material 5 .....	143
Figura 125. Valores de absorción del material 6 .....	143
Figura 126. Valores de absorción del material 6 con scattering circular.....	144
Figura 127. Valores de absorción del material 6 con scattering cuadrado .....	144
Figura 128. Valores de absorción del material 7 .....	144
Figura 129. Valores de absorción del material 8 .....	145
Figura 130. Valores de absorción del material 9 .....	145
Figura 131. Valores de absorción del material 10 .....	146
Figura 132. Valores de absorción del material 11 .....	146
Figura 133. Valores de absorción del material 12 .....	147
Figura 134. Valores de absorción del material 13 con scattering lineal .....	147
Figura 135. Valores de absorción del material 13 con scattering cuadrado .....	148
Figura 136. Valores de absorción del material 13 con scattering circular.....	148
Figura 137. Valores de absorción del material 14 .....	148
Figura 138. Valores de absorción del material 15 .....	149
Figura 139. Valores de absorción del material 15 con scattering lineal .....	149
Figura 140. Valores de absorción del material 16 .....	150
Figura 141. Valores de absorción del material 17 .....	150
Figura 142. Valores de absorción del material 18 .....	151
Figura 143. Valores de absorción del material 19 .....	151
Figura 144. Valores de absorción del material 20 .....	152
Figura 145. Valores de absorción del material 21 .....	152
Figura 146. Valores de absorción del material 22 .....	153
Figura 147. Valores de absorción del material 23 .....	153
Figura 148. Valores de absorción del material 24 .....	154
Figura 149. Valores de absorción del material 25 .....	154
Figura 150. Valores de absorción del material 26 .....	155



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Baremo del índice Alcons .....	37
Tabla 2. Baremo del índice STI.....	37
Tabla 3. Cálculo del escalón JND de cada parámetro .....	38
Tabla 4. Escalones JND.....	38
Tabla 5. Humedad y temperatura en el intervalo de la medición .....	46
Tabla 6. Estructura de los datos del procesado.....	46
Tabla 7. Parte de la máscara de INR aplicada en tercios de octava.....	47
Tabla 8. Parte de la máscara INR aplicada al parámetro $C_{50}$ .....	48
Tabla 9. Parte de los datos de $C_{50}$ habiendo aplicado Chauvenet. (Se separa el escenario).....	50
Tabla 10. Porcentaje de muestras eliminadas con el filtrado en la platea y anfiteatro .....	50
Tabla 11. Porcentaje de muestras eliminadas por filtrado en el escenario .....	51
Tabla 12. Porcentaje de muestras eliminadas por filtrado total.....	51
Tabla 13. EDT medido por zonas .....	53
Tabla 14. RT medido por zonas.....	54
Tabla 15. $T_{20}$ medido por zonas.....	55
Tabla 16. $T_{30}$ medido por zonas.....	56
Tabla 17. $C_{50}$ medido por zonas .....	57
Tabla 18. $C_{80}$ medido por zonas .....	58
Tabla 19. $D_{50}$ medido por zonas .....	59
Tabla 20. $T_s$ medido por zonas .....	60
Tabla 21. LF medido por zonas .....	61
Tabla 22. LFC medido por zonas .....	62
Tabla 23. STI medido por zonas.....	63
Tabla 24. ALCONS medido por zonas.....	64
Tabla 25. Comparativa inicial de los parámetros en el ajuste de materiales .....	83
Tabla 26. Comparativa inicial de los parámetros en el tercer ajuste de materiales .....	85
Tabla 27. Comparativa final de los parámetros en el quinto ajuste de materiales.....	86
Tabla 28. Distribución de las muestras en los distintos valores .....	86
Tabla 29. Estructura de los datos procesados de la simulación.....	87
Tabla 30. Parte de los datos de $T_{30}$ habiendo aplicado Chauvenet.....	88
Tabla 31. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro EDT .....	89
Tabla 32. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro RT.....	90
Tabla 33. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_{20}$ .....	91
Tabla 34. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_{30}$ .....	92
Tabla 35. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $C_{50}$ .....	93
Tabla 36. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $C_{80}$ .....	94
Tabla 37. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $D_{50}$ .....	95
Tabla 38. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro $T_s$ .....	96
Tabla 39. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LF .....	97
Tabla 40. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LFC.....	98
Tabla 41. Comparación Medido – Simulado. Parámetro STI .....	99
Tabla 42. Comparación Medido – Simulado. Parámetro ALCONS.....	100
Tabla 43. Tabla en métrica JND en tercios de octava de la validación final.....	101
Tabla 44. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro EDT .....	102
Tabla 45. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro RT.....	103
Tabla 46. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_{20}$ .....	104
Tabla 47. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_{30}$ .....	105
Tabla 48. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $C_{50}$ .....	106
Tabla 49. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $C_{80}$ .....	107
Tabla 50. Comparación Medido – Simulado en octavas Parámetro $D_{50}$ .....	108
Tabla 51. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro $T_s$ .....	109

Tabla 52. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LF .....	110
Tabla 53. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LFC .....	111
Tabla 54. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro STI.....	112
Tabla 55. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro ALCONS.....	113
Tabla 56. Tabla de escalones JND en octavas de la validación final .....	113
Tabla 57. Presupuesto del proyecto.....	115
Tabla 58. Medidas del ruido de fondo.....	123
Tabla 59. EDT medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	129
Tabla 60. RT medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	130
Tabla 61. T <sub>20</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	131
Tabla 62. T <sub>30</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	132
Tabla 63. C <sub>50</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	133
Tabla 64. C <sub>80</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	134
Tabla 65. D <sub>80</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	135
Tabla 66. T <sub>s</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	136
Tabla 67. LF medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	137
Tabla 68. LFC medido por zonas en octavas y sin filtrado. ....	138
Tabla 69. STI medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	139
Tabla 70. ALCONS medido por zonas en octavas y sin filtrado.....	140

## 1. INTRODUCCIÓN

La obra teatral es una de las principales artes escénicas nacida hace más de 2500 años. Su representación se lleva a cabo en teatros, cuyas características han ido cambiando a lo largo de la historia.

Desde teatros griegos, romanos, orientales o medievales hasta los actuales o modernos, herederos de los anteriores. Y aunque cada uno presume de sus particularidades, todos velan por cuidar el sonido como una de las prioridades principales.

La acústica en estos recintos de espectáculos es de gran importancia, ya que es determinante en la experiencia del espectador ante la actuación. Está principalmente marcada por la geometría de la sala y los materiales presentes en ella.

Para lograr la mejor acústica posible, es necesario conocer los valores de los parámetros acústicos del recinto con el que se trabaja, para, en función de ellos, actuar con las herramientas disponibles sobre el mismo y sacar el máximo rendimiento al espacio.

Por tanto, un estudio acústico, permite conocer acústicamente el recinto analizado, con lo que brinda la posibilidad de mejorar cuantitativamente los atributos sonoros del mismo. Así se logra dotar de versatilidad al recinto, pudiéndolo adaptar a las necesidades de cada ocasión.

En este proyecto se realiza un estudio acústico exhaustivo del Teatro Carrión de Valladolid, basado en un modelo geométrico simulado, que es validado comparándolo con medidas tomadas in-situ. De esta manera, se ratifica la similitud del modelo con la realidad, con el objetivo de trabajar con el mayor rigor posible.

Para la realización del mismo, se establece una organización en cascada de 3 grandes fases.

Se comienza con la medición in-situ obteniendo las medidas acústicas y arquitectónicas del recinto. En esta primera fase se hace el procesado de datos con el que se comparará más adelante. Posteriormente se realiza el modelo geométrico y se finaliza con la validación del mismo tomando en cuenta las simulaciones y los datos medidos en el teatro.

Cada uno de estos bloques se desglosa en tareas explicadas en cada capítulo, que ayudan a desgranar el contenido del bloque correspondiente para su mejor comprensión.



## 2. OBJETIVOS

Se pretende la creación y posterior validación de un modelo acústico del Teatro Carrión. El modelo geométrico se crea con las herramientas informáticas más adelante detalladas. Para realizar su validación, los datos simulados se comparan con un registro de medidas llevadas a cabo en el Teatro. Estas mediciones se realizan siguiendo la norma UNE-EN ISO 3382 - Parte 1: Salas de Espectáculos [1].

Así mismo, el estudio acústico confeccionado será entregado a la empresa gestora del Teatro. Con él se pueden detectar nuevas mejoras a aplicar en la sala para perfeccionar la acústica de la misma.

Por último, se registra el diseño en una base de datos creada por el grupo de investigación GAMMA de la Universidad Politécnica de Madrid. Este registro contiene información análoga sobre recintos del mismo tipo, que servirá de ayuda en un futuro para la realización de estudios que se requieran llevar a cabo.

Para cumplir los objetivos, se deben tener en cuenta las **especificaciones y restricciones de diseño**:

### **Especificaciones:**

- El diseño de los planos del recinto se lleva a cabo con herramientas de representación gráfica 2D (AutoCAD).
- El modelo arquitectónico simplificado se realiza mediante con herramientas de representación gráfica 3D (Sketch-Up).
- El modelo geométrico y el análisis acústico del diseño realizado se obtiene mediante un software específico de simulación acústica (EASE).
- Las medidas in situ deben seguir la norma UNE-EN ISO 3382: “Medición de parámetros acústicos en recintos”.
- El modelo geométrico es validado según las medidas in situ.

### **Restricciones:**

- El modelo geométrico en 3D contiene simplificaciones 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 100Hz y 10kHz, 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 a la geometría y disposición específica del teatro en el momento de la toma de medidas in situ.
- La validación del modelo se realiza con respecto de los valores promedio de los parámetros acústicos medidos in situ.



### 3. TEATRO CARRIÓN

El Teatro Carrión, inaugurado en 1943, y con capacidad para 802 personas se encuentra en el centro de la ciudad de Valladolid. Debe su nombre a los primeros propietarios, los hermanos Carrión.

Fue diseñado por Ramón Pérez Lozana en época de posguerra, hecho que explica los elementos arquitectónicos propios del racionalismo que fueron usados en su construcción.

Pese a competir directamente con los reconocidos teatros Lope de Vega, Zorrilla o Calderón a tan solo unas manzanas, ha sabido hacerse con un hueco en una de las ciudades con más historia teatral de España. En la figura 1 se observa el aspecto sobrio y apagado del exterior del teatro.



*Figura 1. Exterior del Teatro Carrión <sup>1</sup>*

Además de su propósito teatral, se diseñó con objetivo cinematográfico. De hecho, se realizó una cabina de proyección separada de la sala para esta finalidad. También es apto para albergar ópera, conciertos u otro tipo de espectáculos.

Se produjo un incendio en 1956 que deterioró gravemente el Teatro. Por ello, se remodeló en el año 1958. En el año 2016 se produjo una segunda reforma, dejando el teatro como lo conocemos en la actualidad (figura 2).

---

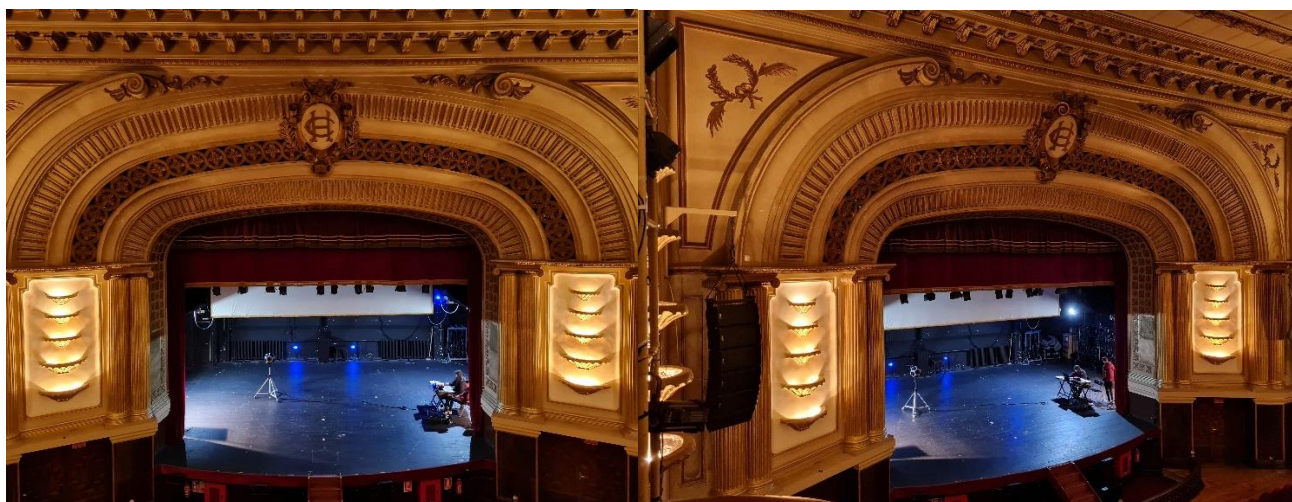
<sup>1</sup> Imagen extraída de: <https://www.taquilla.com/valladolid/teatro-carrion-valladolid#imagenes-videos>



*Figura 2. Teatro Carrión en la actualidad <sup>2</sup>*

Estructuralmente tiene 2 plantas: platea y anfiteatro, donde el aforo es de 488 y 304 personas respectivamente. Además, hay dos pequeños palcos de aforo variable en los laterales delanteros del anfiteatro.

El majestuoso arco de la boca del escenario llama la atención. Repleto de adornos de todo tipo y presidido por un gran escudo, se introduce con inclinación en la sala creando una geometría que se fusiona con la gran moldura decorativa del techo. En la figura 3 se puede comprobar la composición del mismo.

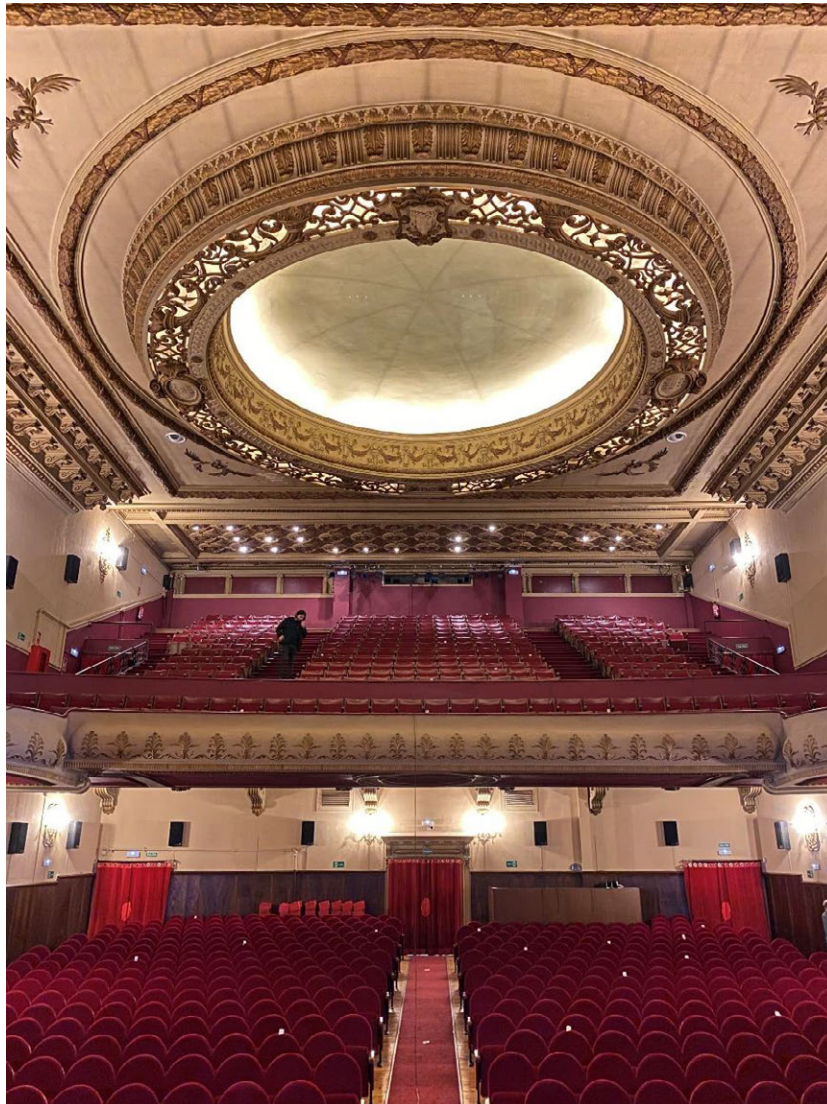


*Figura 3. Arco del escenario. Producción propia.*

A diferencia de los teatros a la italiana el teatro Carrión, no tiene forma de herradura, sino que es recto. Esto acústicamente hace que se pueda comportar de manera distinta. Para lograr que los rayos sonoros se dispersen

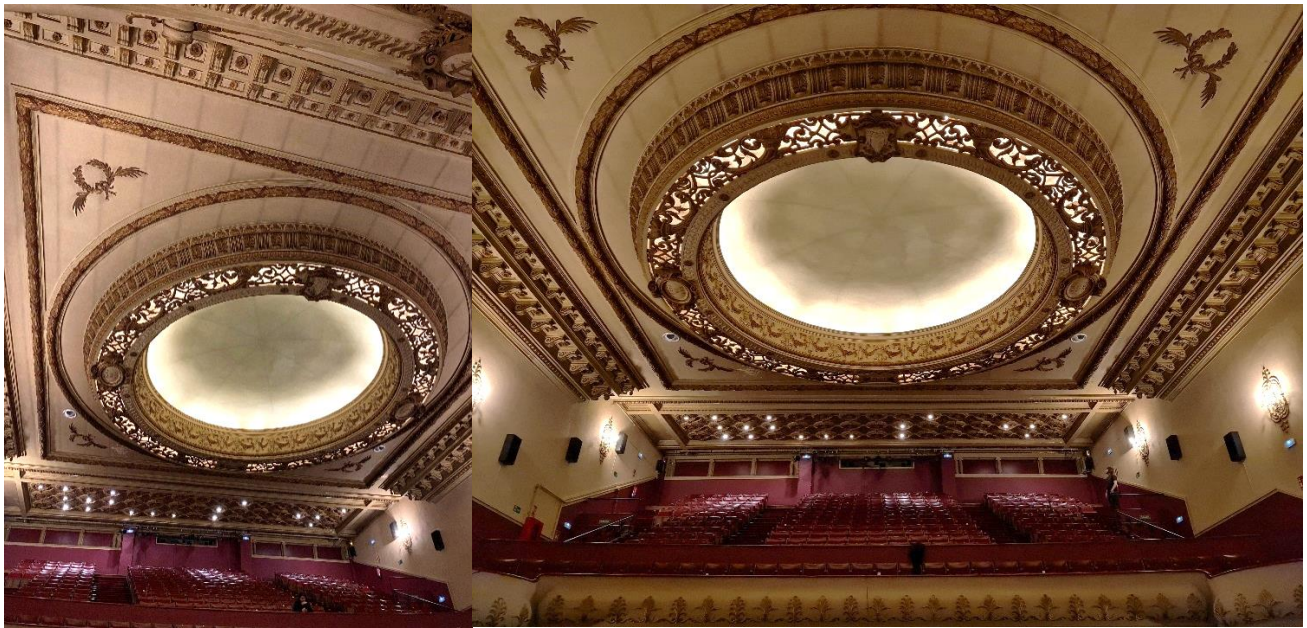
<sup>2</sup> Imagen extraída de: <https://teatrocarrión.com/galeria-imagenes-teatro-carrion.html>

en muchas direcciones, se percibe el detalle del abombamiento de la parte exterior del antepecho del anfiteatro. Éste se muestra en la figura 4.



*Figura 4. Vista general de la sala desde el escenario. Producción propia.*

Con un ambiente cálido, y escasa luz, predominan los colores rojo y beige en los distintos elementos, logrando una atmósfera acogedora. Destaca la gran lámpara central que aporta luz tenue a la sala, visible en la figura 5. Completan la iluminación lámparas a ambos lados de la pared y de la boca del escenario.



*Figura 5. Lámpara central de la sala. Producción propia.*

En cuanto a materiales se refiere, y en un primer vistazo, predomina la tarima, el ladrillo pintado, la escayola y las butacas de terciopelo. Será en la parte de validación del modelo donde se opere más con estos componentes hasta lograr un espacio afín al real. En la figura 6 se comprueba la presencia de estos materiales.

En la parte trasera de la platea y delimitada por biombos de madera, se sitúa una cabina de control de sonido y alumbrado, donde se tiene el control de lo que ocurre en escena.



*Figura 6. Vistas laterales desde platea y anfiteatro. Producción propia.*

Acompaña al conjunto el sistema de sonido de la sala, compuesto por un gran array a cada lado del escenario, y un sistema de refuerzo con 12 cajas de medios y agudos, 4 de subgraves y 4 de *frontfill*. Cuenta con un sistema de sonorización específico de cine con formato digital *Dolby 5.1* instalado en las paredes laterales y traseras de la sala.

Finalmente, cabe destacar que la escalera interior y parte de la fachada fueron declarados patrimonio histórico, y que a día de hoy el teatro presta total actividad.



## 4. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

A la hora de diseñar y construir un teatro u otro tipo de recinto se ha de prestar atención a la acústica del mismo. No solo es importante cumplir la legislación vigente sino que también cobra importancia la calidad del sonido que se percibe en su interior. Para lograr este objetivo, se debe tener en cuenta el aislamiento y el acondicionamiento de los que se dota al recinto.

Esto se hace aplicando acústica arquitectónica. Con ello, se es capaz de estudiar los fenómenos acústicos que acontecen en cualquier recinto, como locales, viviendas, salas de cine, teatros y otros.

Antes de aplicar estos conceptos de acústica arquitectónica se repasan los fundamentos básicos y el comportamiento de las ondas sonoras en recintos cerrados. Sirve como cimiento esencial para comprender el estudio acústico del Teatro Carrión.

### 4.1. CONCEPTOS INICIALES

El **sonido** se entiende como la propagación de ondas mecánicas audibles a través de un medio determinado. La percepción del mismo por el ser humano es estudiada por la psicoacústica, a través de los fundamentos físicos del sonido y fisiológicos del oído.

El nivel de presión sonora o, en inglés *Sound Pressure Level* (SPL), es la presión sonora existente en un punto y tiempo determinados, expresado en unidades logarítmicas. Este parámetro afecta al resto de los medidos y está directamente relacionado con la sonoridad que percibe el oyente. Matemáticamente:

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

donde:

$p_{rms}$ : Presión sonora rms

$p_{ref}$ : Presión sonora de referencia. 20  $\mu$ Pa.

Estas ondas en los recintos de estudio y como no puede ser de otra manera, se propagan a través del aire. En los recintos cerrados las ondas sonoras rebotan con los distintos elementos con los que se encuentran y producen reflexiones. Se tiene por tanto campo directo y campo reverberante.

El **campo directo** está compuesto por las ondas que provienen de la fuente sin sufrir ninguna reflexión. Es decir, las ondas sonoras no han chocado con ningún elemento y por lo tanto son de orden 0.

El **campo reverberante** por su parte se define como todo el sonido que llega al oyente tras haber sufrido una o más reflexiones. Las reflexiones pueden ser de orden bajo, es decir, pocos y cortos rebotes o por lo contrario de orden alto. Se representa en la figura 7 un esquema del campo directo y reverberante, marcados en rojo en cada caso.

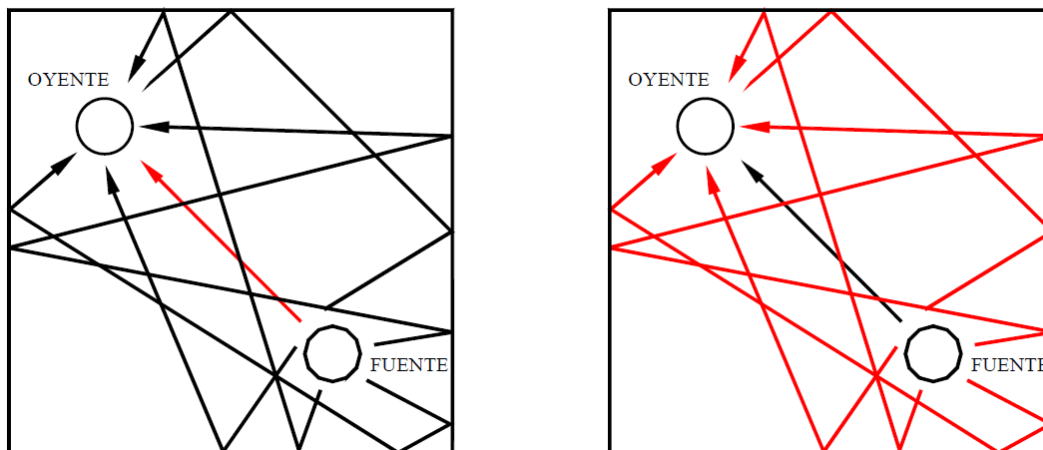


Figura 7. Campo directo (izquierda) vs campo reverberante (derecha). Producción propia.

Si se está en campo directo, la energía aportada por éste es mayor a la energía reverberante de la sala. De igual forma, se está en campo reverberante cuando la energía aportada por sonido reflejado es superior a la aportada por sonido directo. El punto frontera, o **distancia crítica** es la distancia a la cual la energía aportada por el campo reverberante y campo directo es igual. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$r_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{R \cdot Q}{\pi}} [m] \tag{2}$$

donde:

R: Constante de la sala

Q: Factor de directividad de la fuente

Haciendo énfasis en lo que ocurre en el campo reverberante, se introducen los fenómenos que sufren las ondas cuando colisionan.

**Reflexión:** Cambio de dirección que sufre la onda cuando impacta con cualquier superficie.

Si la superficie es lisa, se produce reflexión especular, donde se cumple que el ángulo de incidencia es el mismo que el de reflexión (figura 8). Si por el contrario la superficie con la que choca es rugosa o irregular se produce reflexión no especular, y se refleja en todas direcciones (figura 9)

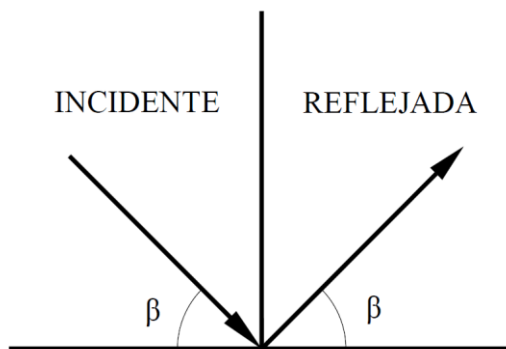


Figura 8. Reflexión especular. Producción propia.

Si se sufre reflexión difusa, las dimensiones de las rugosidades han de ser similares a la longitud de onda. Si  $\lambda$  es mucho menor que las irregularidades, provocará reflexión especular en ese fragmento de superficie pero teniendo en cuenta cada uno de los fragmentos se obtiene reflexión difusa.

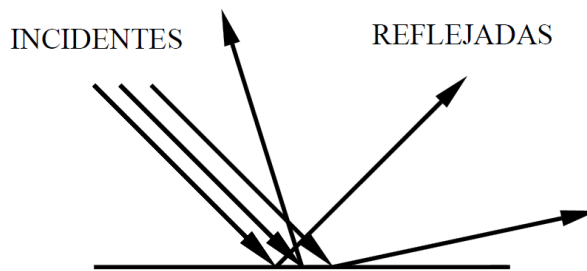


Figura 9. Reflexión difusa. Producción propia.

**Refracción:** Cambio de velocidad (y posterior dirección) que sufre una onda cuando cambia el medio en el que se propaga. No se va producir ya que en el recinto hay un solo medio. El comportamiento de la onda se visualiza en la figura 10.

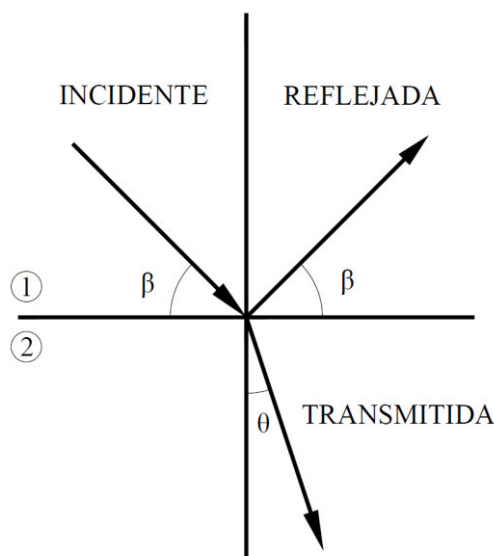


Figura 10. Refracción de ondas. Producción propia.

**Difracción:** Fenómeno producido cuando las ondas sonoras se topan con un objeto. La afectación depende del tamaño del objeto en relación a la longitud de onda. En la figura 11 se observa la difracción producida por una apertura pequeña.

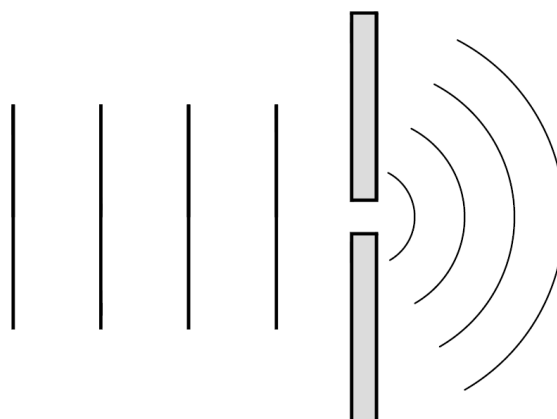


Figura 11. Difracción de ondas sonoras. Producción propia.

En relación a la propagación de las ondas, el papel de la absorción de los materiales del entorno es muy significativo.

La **absorción** es la capacidad que tienen los materiales de atenuar la energía sonora. Se representa mediante el coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) y es fundamental en la acústica de la sala. Toma valores entre 0 y 1 siendo 0 nada absorbente y 1 muy absorbente. Estos valores varían en función de la frecuencia para un mismo material. Así pues, hay elementos dedicados a la absorción de energía de graves, medios o agudos. El grosor y colocación de los mismos son claves a la hora de configurar acústicamente una sala. Conviene enfatizar que el propio medio de propagación (aire) también hace de elemento atenuante. En la figura 12 se muestra un esquema resumido.

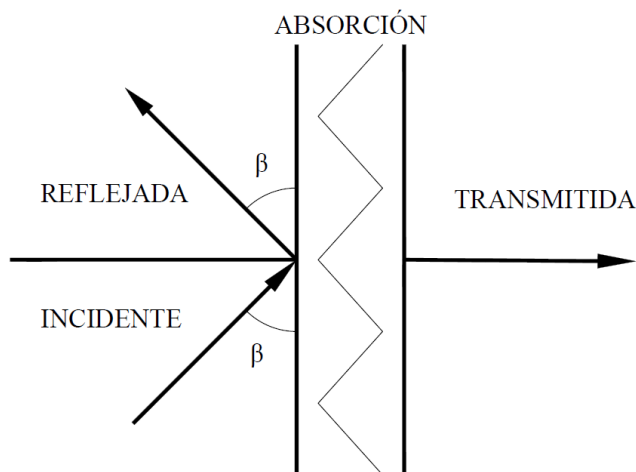


Figura 12. Absorción de un material. Producción propia.

Para realizar un estudio acústico, es necesario conocer las bases y normas que lo sostienen. Este proyecto, se apoya en las aproximaciones de acústica estadística y acústica geométrica. Cada una de ellas, con sus hipótesis y sus métodos darán unos resultados distintos que se mostrarán más adelante.

## 4.2. ACÚSTICA ESTADÍSTICA

La acústica estadística, al igual que la geométrica, ayuda a comprender el comportamiento del sonido dentro de un recinto. En base al tiempo de reverberación calcula el valor de los parámetros acústicos de la sala.

Se parte de la premisa de que la fuente radia igual en todas las direcciones, provocando en la sala la presencia de un campo sonoro difuso (figura 13). Las reflexiones se producen en todas las direcciones de propagación, y todas las ellas son equiprobables. Del mismo modo, todos los puntos están sometidos a la misma energía, que es igual a las energías de todas las ondas que llegan a ese punto. El nivel total se puede expresar en base a la fórmula (3).

$$L_T = L_D + L_R \text{ [dB]} \quad (3)$$

donde

$L_T$ : Nivel de presión sonora total

$L_D$ : Nivel de presión sonora de campo directo

$L_R$ : Nivel de presión sonora de campo reverberante

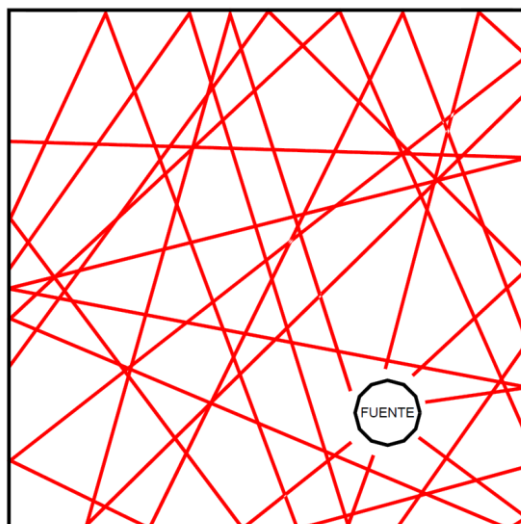


Figura 13. Campo difuso. Producción propia.

Por ende, se realiza un estudio estadístico de la propagación en la sala que no siempre es preciso, ya que debido a las particularidades acústicas de la misma, (por geometría o materiales), puede no haber un campo sonoro difuso. Pese a su más baja exactitud, puede resultar ventajoso ya que la complejidad del cálculo es menor.

### 4.3. ACÚSTICA GEOMÉTRICA

A diferencia de la acústica estadística, la acústica geométrica tiene en cuenta las reflexiones de forma individual. Las evalúa según su orden, recorrido y pérdidas, para conseguir un resultado más exacto. Se aplica la técnica del trazado de rayos y/o fuentes imagen, y se tiene en cuenta que la energía no es uniforme en los primeros intervalos de tiempo. El estudio o trazado de rayos es diferente si el rayo sonoro impacta con superficies lisas o si lo hace contra superficies curvas. En la figura 14 se muestra un esquema simplificado de cómo se representa una reflexión de orden 1 (1 choque) con su fuente imagen. En este caso se representa una reflexión especular:  $\beta = \beta$ . La energía de la reflexión viene ponderada por el coeficiente de reflexión del material, que se expresa como  $1 - \text{coeficiente de absorción } (\alpha)$

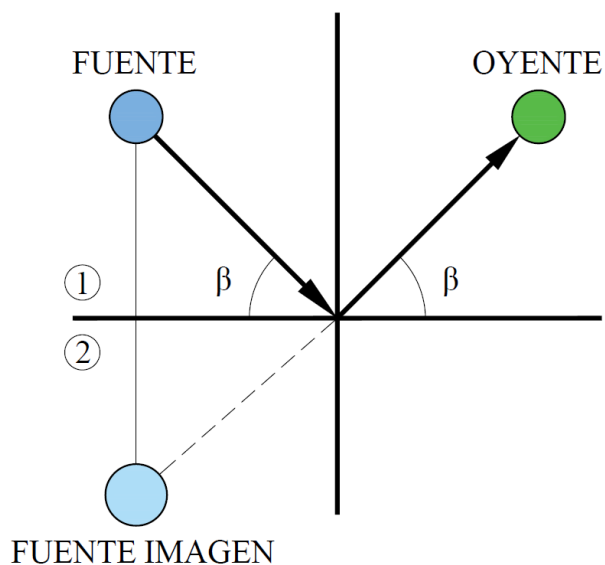


Figura 14. Trazado de rayos de teoría geométrica. Producción propia.

Para evaluar las pérdidas en la reflexión se considera la absorción de cada material con más precisión. Además, se tiene en cuenta que algunas superficies pueden no ser totalmente planas, con lo que se pueden producir reflexiones no especulares.

#### 4.4. PARÁMETROS ACÚSTICOS

Se han de conocer los parámetros acústicos con los que se va a trabajar. Estas magnitudes representan en función de su valor la calidad de ciertas características acústicas que tiene el recinto.

Los hay de cuatro tipos distintos: temporales, energéticos, espaciales y de inteligibilidad. Solo los estudiados en el último grupo son independientes de la frecuencia. Todos ellos aportan valor para conocer la conducta conjunta de la sala ante excitación sonora.

##### 4.4.1. PARÁMETROS TEMPORALES: TIEMPO DE REVERBERACIÓN Y ESTIMADORES DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN $T_{10}$ , $T_{20}$ , $T_{30}$ , EDT

Desde que comienza la emisión de una fuente en una sala durante un tiempo hasta su cese, se produce una evolución de la energía sonora distinguible en 3 fases. Estas 3 fases son: fase de crecimiento, fase estacionaria (no siempre está presente) y fase de decrecimiento. Para medir el tiempo de reverberación se examina la fase de decrecimiento.

Es de importancia distinguir la diferencia entre reverberación y tiempo de reverberación. Son conceptos de fácil confusión pero fundamentales a la hora de realizar un análisis como el presente. Se conoce como reverberación de una sala, al fenómeno por el cual el sonido se mantiene en ésta durante un periodo de tiempo después de haber cesado la emisión de la fuente de sonido.

Por su parte, el tiempo de reverberación es el tiempo que acontece desde que la excitación sonora finaliza hasta que el nivel de presión sonora disminuye 60 dB. Es decir, la energía acústica del recinto ha de disminuir a una millonésima parte de su valor inicial. En función del recinto, este tiempo será mayor o menor, aunque en la mayoría de recintos generalmente oscila entre 0.5 y 2 segundos. Su valor afectará al resto de parámetros. Se muestra en la figura 15 un ejemplo de cálculo gráfico del tiempo de reverberación.

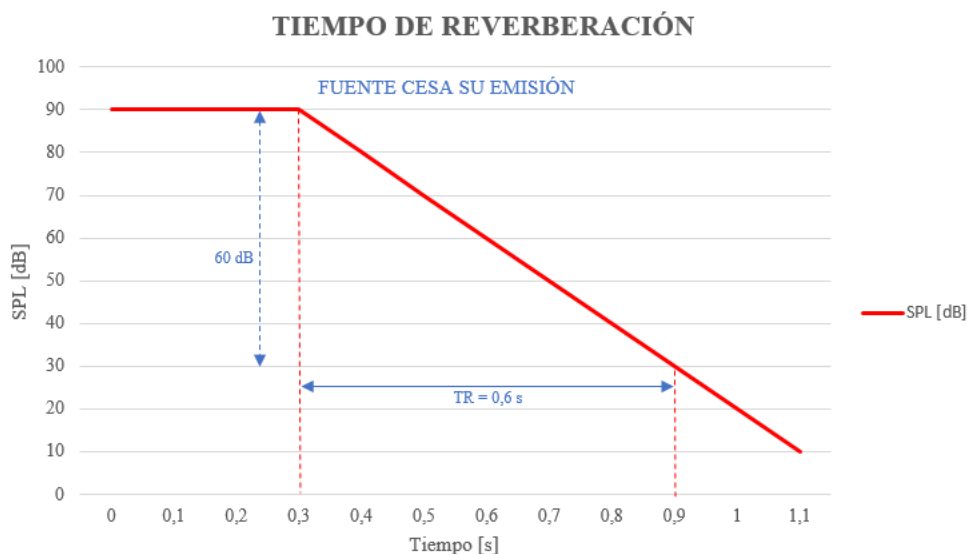


Figura 15. Cálculo del tiempo de reverberación. Producción propia.

Existen varias formas de calcular su valor, sin embargo, las más comunes y las utilizadas en este proyecto son mediante los métodos de Wallace Clement Sabine y Carl Ferdinand Eyring, que se calculan mediante las fórmulas (4) y (5) respectivamente.

$$RT = \frac{0,16 \cdot V}{A} = \frac{0,16 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \text{ [s]} \tag{4}$$

$$RT = \frac{0,16 \cdot V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \text{ [s]} \tag{5}$$

donde

$V$ : Volumen del recinto

$A$ : Área de absorción sonora equivalente

$S$ : Superficie total de la sala

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

Normalmente es complicado poder medir una caída de 60 dB de nivel de presión sonora para calcular el tiempo de reverberación. La presencia de ruido de fondo y el nivel de la fuente no siempre lo hacen posible.

Por ello, se establecen los estimadores  $T_{10}$ ,  $T_{20}$  y  $T_{30}$ . Indican el tiempo transcurrido hasta que la energía decae desde su valor estacionario 10 dB, 20 dB o 30 dB respectivamente. Conlleva una ventaja de cálculo al poder esquivar el ruido de fondo. Asimismo posibilita dejar un margen de al menos 5 dB desde la fase estacionaria por posibles fluctuaciones producidas por las interferencias constructivas o destructivas entre ondas. Debido a que conseguir caídas de 30 dB se considera viable y más aproximado, es el parámetro con más uso. En la figura 16, análoga a la anterior, se muestra el cálculo gráfico de los dos más utilizados.

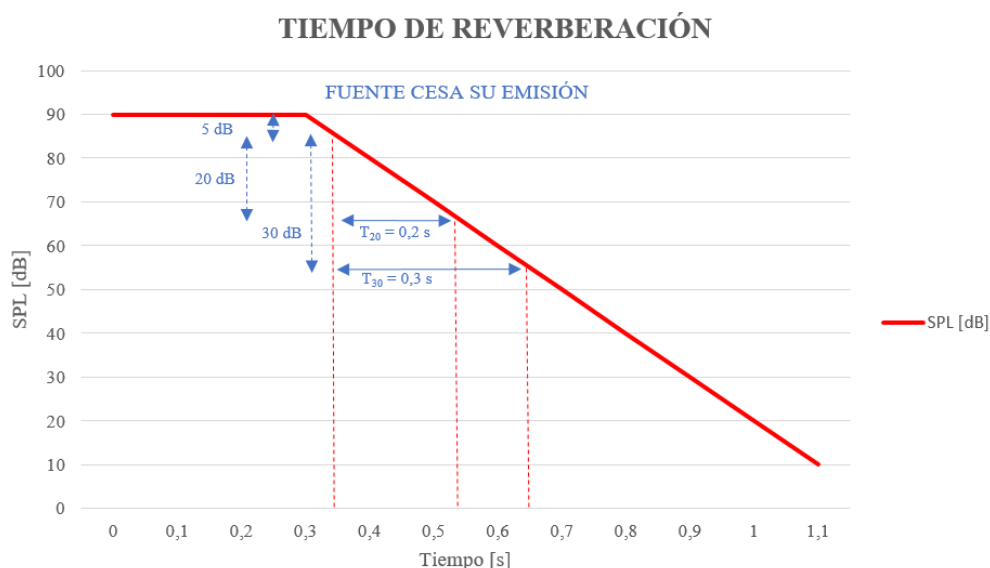


Figura 16. Cálculo de  $T_{20}$  y  $T_{30}$ . Producción propia.

El tiempo de reverberación temprano o EDT, es seis veces el tiempo que discurre en la caída de los primeros 10 dB. Con ello se obtienen indicios si la sala es viva (EDT similar a TR) o sala seca (EDT considerablemente menor que RT). Este estimador de tiempo de reverberación tiene relación con la percepción que tiene el ser humano de la reverberación existente en la sala. Para su obtención, no se deja el margen de 5 dB desde la fase estacionaria, como se comentó en los anteriores estimadores.

En la figura 17 se puede observar un ejemplo gráfico de EDT.

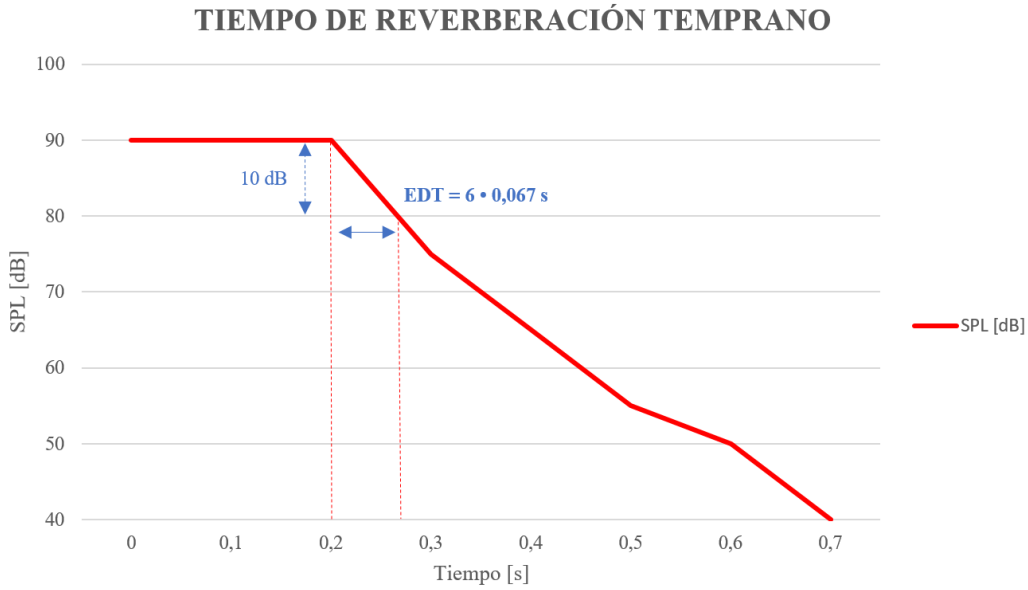


Figura 17. Cálculo de EDT. Producción propia.

#### 4.4.2. PARÁMETROS ENERGÉTICOS: CLARIDAD, DEFINICIÓN Y TIEMPO CENTRAL

Los parámetros energéticos representan una relación entre dos valores de presión sonora. En este caso los índices de claridad representan la relación entre la energía que recibe el oyente en los primeros 50 ms u 80 ms (campo directo) y la energía que recibe posterior a esos 50 ms u 80 ms. Ambos parámetros dependen de la frecuencia.

$C_{50}$  representa la claridad de la voz. Se ha de intentar que este coeficiente sea siempre superior a 2 dB, teniendo en cuenta que cuanto más elevado sea (sin llegar a extremos) mejor inteligibilidad tendrá el recinto. Se calcula de la siguiente manera:

$$C_{50} = \frac{\text{Energía en los primeros 50 ms}}{\text{Energía posteriores a los primeros 50 ms}} [dB] \quad (6)$$

$$C_{50} = 10 \cdot \log \left( \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_{50}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB] \quad (7)$$

donde

$p(t)$ : Nivel de presión sonora instantánea

$C_{80}$  representa la claridad musical y su cálculo es análogo al de  $C_{50}$  pero tomando en cuenta los primeros 80 ms. Depende más del punto donde se mida que los parámetros anteriores, ya que cobra importancia la energía durante los primeros 80 ms. Los valores entre - 2 dB y 2 dB denotan que la claridad es buena. Se calcula de la siguiente manera:

$$C_{80} = \frac{\text{Energía en los primeros 80 ms}}{\text{Energía posteriores a los primeros 80 ms}} [dB] \quad (8)$$

$$C_{80} = 10 \cdot \log \left( \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \right) [dB] \quad (9)$$

Similar a  $C_{50}$  o  $C_{80}$ , la definición de palabra o  $D_{50}$  presenta la relación de energía llegada en los primeros 50 ms y la energía total. Se pretende que sus valores sean superiores a 0,5 para catalogarlo como óptimo. Se puede expresar como:

$$D_{50} = \frac{\text{Energía en los primeros 50 ms}}{\text{Energía total}} [-] \quad (10)$$

$$D_{50} = \left( \frac{\int_0^{50} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right) [-] \quad (11)$$

De forma semejante, se puede evaluar  $D_{80}$ , pero tomando en este caso la energía que llega al espectador en los primeros 80 ms. Adaptando los cálculos:

$$D_{80} = \frac{\text{Energía en los primeros 80 ms}}{\text{Energía total}} [-] \quad (12)$$

$$D_{80} = \left( \frac{\int_0^{80} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \right) [-] \quad (13)$$

El tiempo central es el instante donde el nivel de energía anterior y posterior al mismo, son iguales. Se cataloga como el centro de gravedad.

Evidencia que la sala tiene mucha reverberación si el valor es grande, mientras que si es pequeño, hay menos energía aportada por el campo reverberante y el recinto tiene más claridad o nitidez. Matemáticamente se calcula como sigue:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [ms] \quad (14)$$

#### 4.4.3. PARÁMETROS ESPACIALES: EFICIENCIA LATERAL Y EFICIENCIA LATERAL COSENO

La Eficiencia Lateral o LF es el cociente de energía en los laterales del espectador entre la energía que llega en todas las direcciones en un periodo de 80 ms.

Nótese que se excluye el sonido directo, y que se ha de medir con dos micrófonos de distinta direccionalidad; uno bidireccional y otro omnidireccional.. De forma resumida:

$$LF = \frac{\text{Energía lateral en los primeros 80 ms}}{\text{Energía total en los primeros 80 ms}} [-] \quad (15)$$

$$LF = \frac{\int_0^{80} p_L^2(t) dt}{\int_0^{80} p(t) dt} [-] \quad (16)$$

La Eficiencia Lateral Coseno o LFC es una corrección basada en el coseno del ángulo con el que inciden las ondas con el fin de aproximar el resultado de forma más realista. De forma numérica:

$$LFC = \frac{\int_0^{80} |p_L(t) \cdot p(t)| dt}{\int_0^{80} p^2(t) dt} [-] \quad (17)$$

#### 4.4.4. PARÁMETROS DE INTELIGIBILIDAD: PÉRDIDA DE ARTICULACIÓN DE CONSONANTES E ÍNDICE DE TRANSMISIÓN DEL HABLA

La inteligibilidad es la cualidad por la cual el sonido puede ser comprendido con nitidez y sin dificultad. Cuando se evalúa la inteligibilidad de la palabra se ha de tener en cuenta 2 parámetros principales.

El Alcons o pérdida de articulación de consonantes (*Articulation Loss of Consonants*) evalúa de forma porcentual la inteligibilidad del habla, de tal forma que, cuanto menor sea el porcentaje de pérdidas, mayor será

la calidad acústica percibida. Un tiempo de reverberación excesivo hace que su valor se incremente, no posibilitando una escucha adecuada. Asimismo, la presencia de ruido de fondo puede afectar considerablemente el resultado haciendo menos comprensible el habla. De forma representativa:

$$Alcons = \frac{\text{Consonantes entendidas}}{\text{Consonantes totales emitidas}} [\%] \quad (18)$$

Para su cálculo se procede con el gráfico de Peutz, figura 18, basado en el tiempo de reverberación y la diferencia de nivel directo y reverberante. Con este último valor, y con el apoyo de la gráfica, se determina el punto porcentual de Alcons para el punto estudiado.

$$L_D - L_R = 10 \cdot \log\left(\frac{Q \cdot R}{r^2}\right) - 17 [dB] \quad (19)$$

siendo R:

$$R = \frac{S \cdot \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} [-] \quad (20)$$

donde:

$L_D$ : 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 acústica de la sala

$r$ : Distancia desde la fuente hasta el punto analizado

$S$ : Superficie total de la sala

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

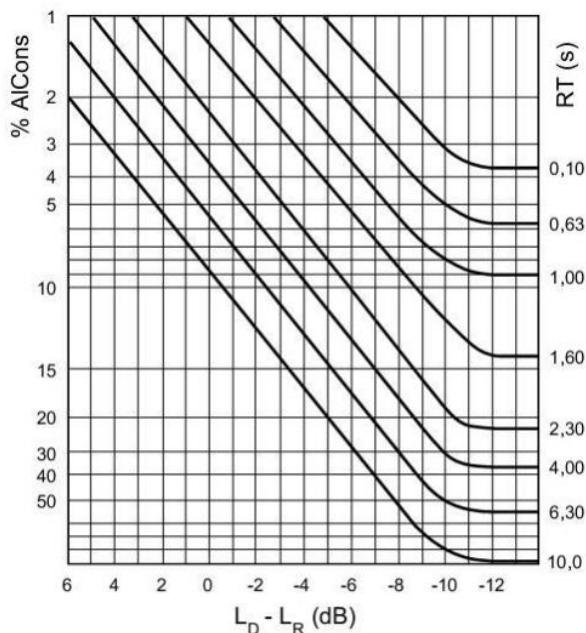


Figura 18. Figura de Peutz para la obtención del % Alcons<sup>3</sup>

En la siguiente tabla 1 se muestran los valores que puede tomar el parámetro Alcons y la calidad de éstos.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Imagen extraída de: A. C. Isbert, “Diseño acústico de espacios arquitectónico”, 1998, pp 67.

<sup>4</sup> La categorización de la calidad de los valores puede variar ligeramente dependiendo de la precisión utilizada

Tabla 1. Baremo del índice Alcons

ALCONS [%]	INTELIGIBILIDAD
0% - 3%	EXCELENTE
3% - 8%	MUY BUENA
8% - 11%	BUENA
11% - 15%	ADECUADO
15% - 18%	MALA
> 18%	INADMISIBLE

El índice de transmisión del habla o STI es el segundo de los parámetros que se va a estudiar para conocer la inteligibilidad. Es algo más complejo que Alcons, y se puede calcular haciendo una aproximación de éste. El baremo de este índice se encuentra mostrado en la tabla 2.<sup>5</sup>

Tabla 2. Baremo del índice STI

STI [-]	INTELIGIBILIDAD
0,75 - 1	EXCELENTE
0,6 - 0,75	MUY BUENA
0,45 - 0,6	BUENA
0,3 - 0,45	ADECUADO
0,25 - 0,3	MALA
< 0,25	INADMISIBLE

#### 4.5. MÉTRICA JND

Una parte fundamental del análisis recae en la utilización del escalón JND. El umbral diferencial o *Just Noticeable Difference* se utiliza para catalogar cuantitativamente el grado de desviación mínimamente perceptible por el espectador.

Se presenta en la tabla 3 de forma resumida el cálculo a realizar para evaluar los escalones JND en función del parámetro estudiado. Dependiendo de cada parámetro se calcula de distinta manera, aunque siempre a partir de la desviación estándar y dividiendo entre el escalón que corresponda.

<sup>5</sup> La categorización de la calidad de los valores puede variar ligeramente dependiendo de la precisión utilizada

Tabla 3. Cálculo del escalón JND de cada parámetro

PARÁMETRO	ESCALÓN	CÁLCULO
RT, T <sub>20</sub> , T <sub>30</sub> y EDT	5%	$JND = \frac{\left(\frac{ Medido - Simulado }{Medido}\right)}{5} \cdot 100$
C <sub>50</sub> y C <sub>80</sub>	1 dB	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{1}$
T <sub>s</sub>	10 ms	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{10}$
D <sub>50</sub> , LF y LFC	0,05	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{0,05}$
STI	0,03	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{0,03}$
Alcons	2	$JND = \frac{ Medido - Simulado }{2}$

Esta métrica permite comparar variaciones en los parámetros medidos y simulados, para así, poder ajustar y validar el modelo. El índice obtenido facilita la rápida comparación entre parámetros. Se fija una serie de 10 escalones JND que se visualizan en la tabla 4.

Tabla 4. Escalones JND

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

Un escalón de 1 JND no es perceptible para el ser humano (valor más óptimo), mientras que si el escalón es de 2 o 3 JND la diferencia es captada pero se puede asumir. Valores de 4, 5 o 6 no son satisfactorios y los superiores a estos no son aceptables. Además, se implanta un código de colores que ayuda al rápido reconocimiento visual del resultado.

## 5. MEDICIONES IN-SITU

Se aborda en este capítulo la fase de medidas in-situ realizadas en el Teatro Carrión. Con ellas y una vez procesadas, se valida el posterior modelo creado en el capítulo 6.

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

Una norma es un documento técnico que contiene información específica acerca de procesos, requisitos, equipamientos u otros estándares que han de cumplirse cuando se trabaja en su campo de aplicación.

La norma UNE EN-ISO 3382-1:2010 se ocupa en su parte 1 de la medición acústica in-situ en salas de espectáculos. Las condiciones principales establecidas son las siguientes:

- Se debe medir temperatura y humedad con precisión de  $\pm 1$  °C y  $\pm 5$  % respectivamente.
- La fuente acústica utilizada debe ser lo más omnidireccional posible y ser capaz de generar suficiente nivel de presión sonora para medir tiempo de reverberación. (INR superior a 45 dB).
- Para mayor exactitud se requiere que la fuente cubra con suficiencia de 100 Hz a 5000 Hz en octavas de frecuencia.
- La sala se puede excitar mediante ruido interrumpido o repuesta al impulso integrada.
- La relación señal a ruido debe ser de al menos 50 dB en todas las bandas.
- Se miden al menos 2 posiciones de fuente a 1,5 metros de altura. Se sitúan donde habitualmente están las fuentes naturales.
- Se debe utilizar micrófono omnidireccional lo más pequeño posible. Se debe utilizar también micrófonos bidireccionales de respuesta en ocho para medir los parámetros LF y LFC.
- Los micrófonos se sitúan de forma uniforme y representativa en la audiencia. Se colocan a 1,2 metros del suelo en posiciones naturales.
- La distancia entre micrófonos ha de ser, de al menos, 2 metros.
- La distancia entre cualquier superficie reflectante y micrófono ha de ser de 1 metro como mínimo.

### 5.2. EQUIPAMIENTO

Cumpliendo la norma descrita anteriormente, y con la instrumentación disponible aportada por la Universidad Politécnica de Madrid, se realizan las mediciones con:

**Fuente Omnidireccional** AVM DO-12. Es una fuente omnidireccional dodecaédrica con potencia de entrada 600 W (figura 19). La potencia máxima de emisión es de 120 dB. Para su colocación a 1,5 m de altura se utiliza un trípode.



Figura 19. Fuente AVM DO-12. [11]

**Micrófonos** AKG CK 92 y AKG CK 94. El primero de ellos omnidireccional y el segundo bidireccional. Miden en todo el rango de frecuencias audibles (20 Hz – 20 kHz) y tienen una sensibilidad de 10 mV/Pa. En la figura 20 se muestran ambas cápsulas. Un adaptador colocado en un trípode facilita la colocación de los micrófonos.



Figura 20. Micrófonos AKG CK 92 (izquierda) [12] y AKG CK 94 (derecha) [13]

**Preamplificador** AKG SE-300B que se conecta entre los micrófonos (uno para cada uno) y el analizador de señal. Tiene un rango dinámico de 77 dBA. Se muestra en la figura 21.



Figura 21. Preamplificador AKG SE-300B [14]

**Ordenador.** Portátil (figura 22) con el *software* Dirac 6.0 que genera la señal de excitación y registra la señal captada por los micrófonos. Calcula los datos de cada parámetro que posteriormente se exportan para su procesado.



Figura 22. Ordenador portátil con Software Dirac 6.0

**Interfaz de sonido** MOTU UltraLite MK3 (figura 23). Hace de intermediario entre el ordenador y los dispositivos de emisión y captura de señal. Así pues, a él se conectan los micrófonos y del mismo modo se canaliza la señal de excitación generada por Dirac hasta el amplificador de potencia.



Figura 23. Tarjeta de sonido MOTU UltraLite MK3 [15]

**Amplificador de potencia** CROWN XLS 2002 DriveCore (figura 24). Amplifica la señal proveniente la MOTU hacia la fuente. Se utiliza haciendo un puente de las dos entradas de 650 W a 4  $\Omega$  cada una logrando 1300 W a 8  $\Omega$ .



Figura 24. Amplificador de potencia CROWN XLS 2002 DriveCore [16]

**Sonómetro Bruel & Kjaer 2260** (figura 25). Es independiente al sistema de conexionado que forman los equipos anteriores y se utiliza para la medición del ruido de fondo. El proceso de medida y procesado lo hace conjuntamente ya que interiormente integra todos los componentes. Cumple la norma UNE-EN 61672-1 Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.



Figura 25. Sonómetro Bruel & Kjaer 2260 [17]

**Calibrador Bruel & Kjaer 4231** (figura 26). Usado para la verificación del correcto funcionamiento del sonómetro utilizado. Cabe destacar que lo que se lleva a cabo es una verificación, en ningún caso se trata de un ajuste o calibración, ya que para ello se ha de hacer en un laboratorio homologado.



Figura 26. Calibrador Bruel & Kjaer [18]

**Medidor de temperatura,** presión y humedad relativa del aire. Añadido a esto, se utiliza **cableado** de distinta tipología como XLR o USB.

**Metro láser.** Utilizado para medir la sala. Las medidas se utilizan para la comparación con los planos del teatro y la construcción del modelo.

Se muestra en la figura 27 de forma esquematizada un diagrama de conexionado de los elementos usados en las mediciones.

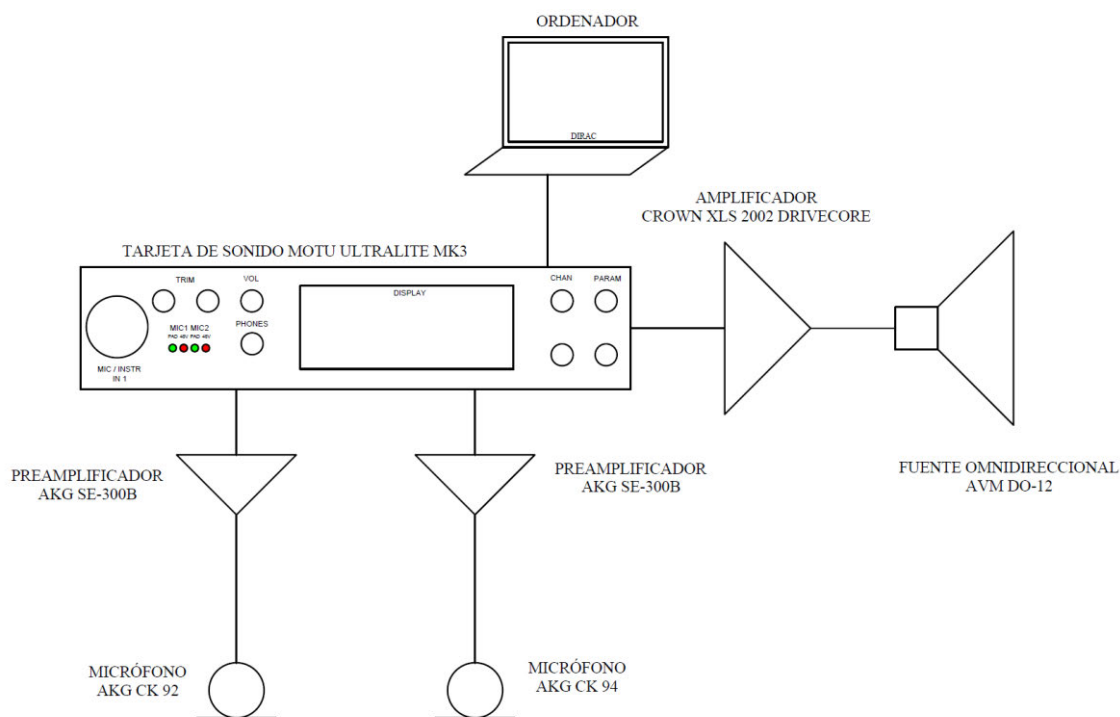


Figura 27. Diagrama de bloques del conexionado

### 5.3. MEDICIONES

El 30 marzo de 2023 se realizan las mediciones in-situ en el Teatro Carrión, con las herramientas del apartado 5.2 y siguiendo la norma UNE EN-ISO 3382.

Previo al día de la medición y con los planos del teatro, se establecen tanto las posiciones de medida de las fuentes como la de los micrófonos. Una vez en el teatro se modifican algunos de los puntos propuestos para lograr mayor representatividad. Teniendo en cuenta las dimensiones de la sala y su aforo se establecen 43 posiciones de medida de distintos tipos.

De forma desglosada:

**Posiciones de la fuente:** Se opera con dos posiciones. La primera en el origen del eje de coordenadas 1,5 metros por detrás del eje longitudinal de la sala. La segunda, más retrasada y desplazada hacia el lado derecho del escenario.

**Micrófonos normales:** Se distribuyen a lo largo de la platea y anfiteatro en los puntos donde se quieren llevar a cabo las mediciones. Son un total de 23 micrófonos. Se designan como MX siendo X el número de micrófono y estando comprendido en el intervalo  $1 \leq X \leq 23$ .

**Micrófonos del eje:** Sirven para tomar las referencias del eje longitudinal de la sala. Se localizan tanto en la platea como en el anfiteatro. Se eligen 6 posiciones, 3 en cada altura. Se designan como MEX siendo X el número de micrófono y estando comprendido en el intervalo  $1 \leq X \leq 6$ .

**Micrófonos de control:** Debido a que la zona de audiencia es simétrica respecto al eje longitudinal, solo se mide en uno de los lados. No obstante, se tiene que verificar que en el otro costado las mediciones son coherentes. Se examina el homólogo de 13 micrófonos, que supone aproximadamente la mitad de los micrófonos normales. Se designan como MCX siendo X el número de micrófono y estando comprendido en el intervalo  $1 \leq X \leq 23$ .

**Micrófonos de escenario:** Se utilizan para captar los valores de los parámetros acústicos en la zona de acción. Se designan como MSTX siendo X el número de micrófono y estando comprendido en el intervalo  $1 \leq X \leq 3$ .

**Micrófono adicional:** A causa de la presencia de una cabina de control en la parte posterior de la platea, donde a efectos prácticos se sitúa el técnico de sonido e iluminación, se establece una posición extra. Su nombre es MESP y el de su homólogo medido MCESP.

Se representa en la figura 28 la disposición de los micrófonos de platea y escenario. En la figura 29, se presenta lo propio para el anfiteatro, incorporando también la colocación de las fuentes.

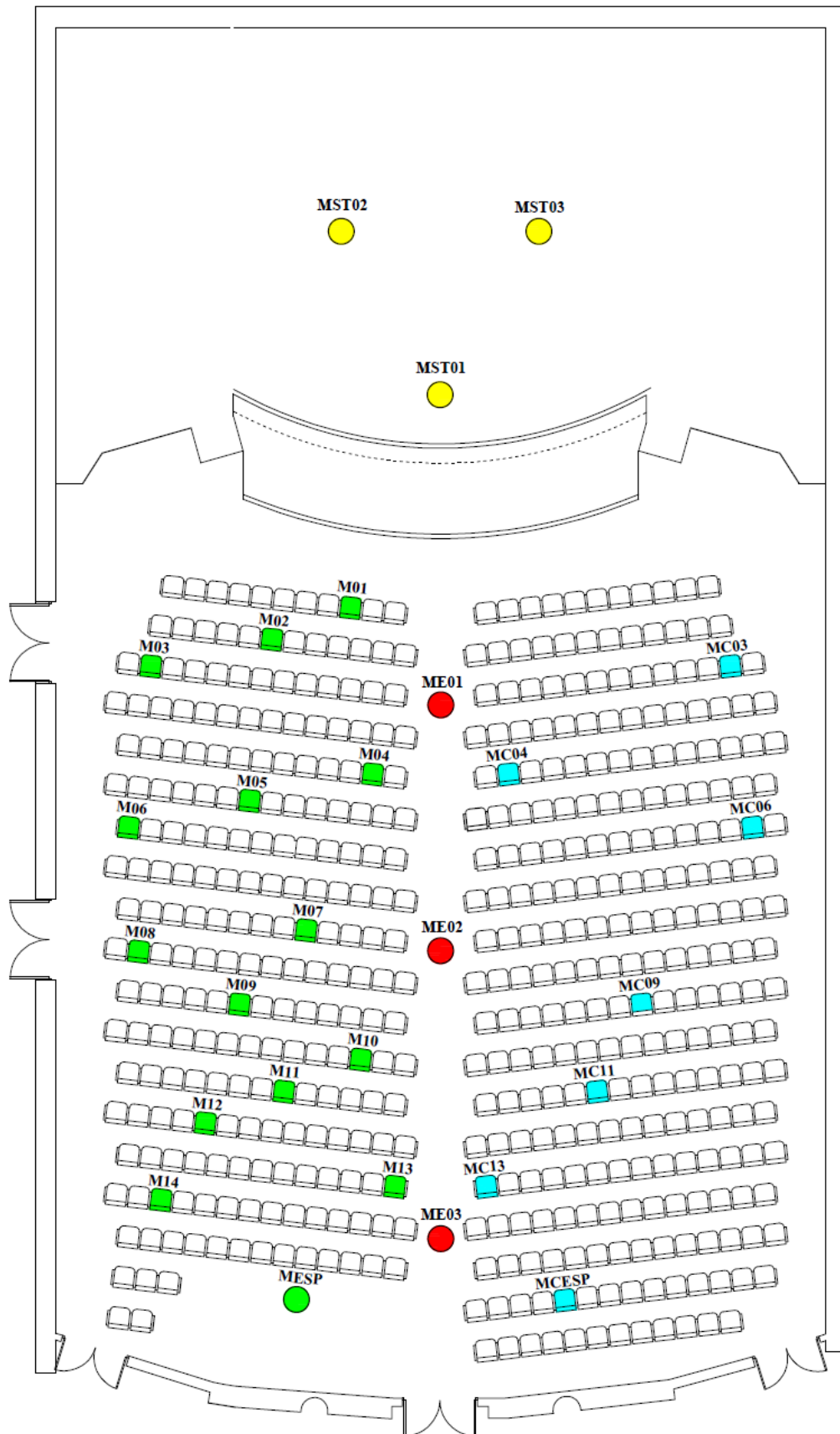


Figura 28. Posiciones de los micrófonos de medición en la platea. Producción propia.

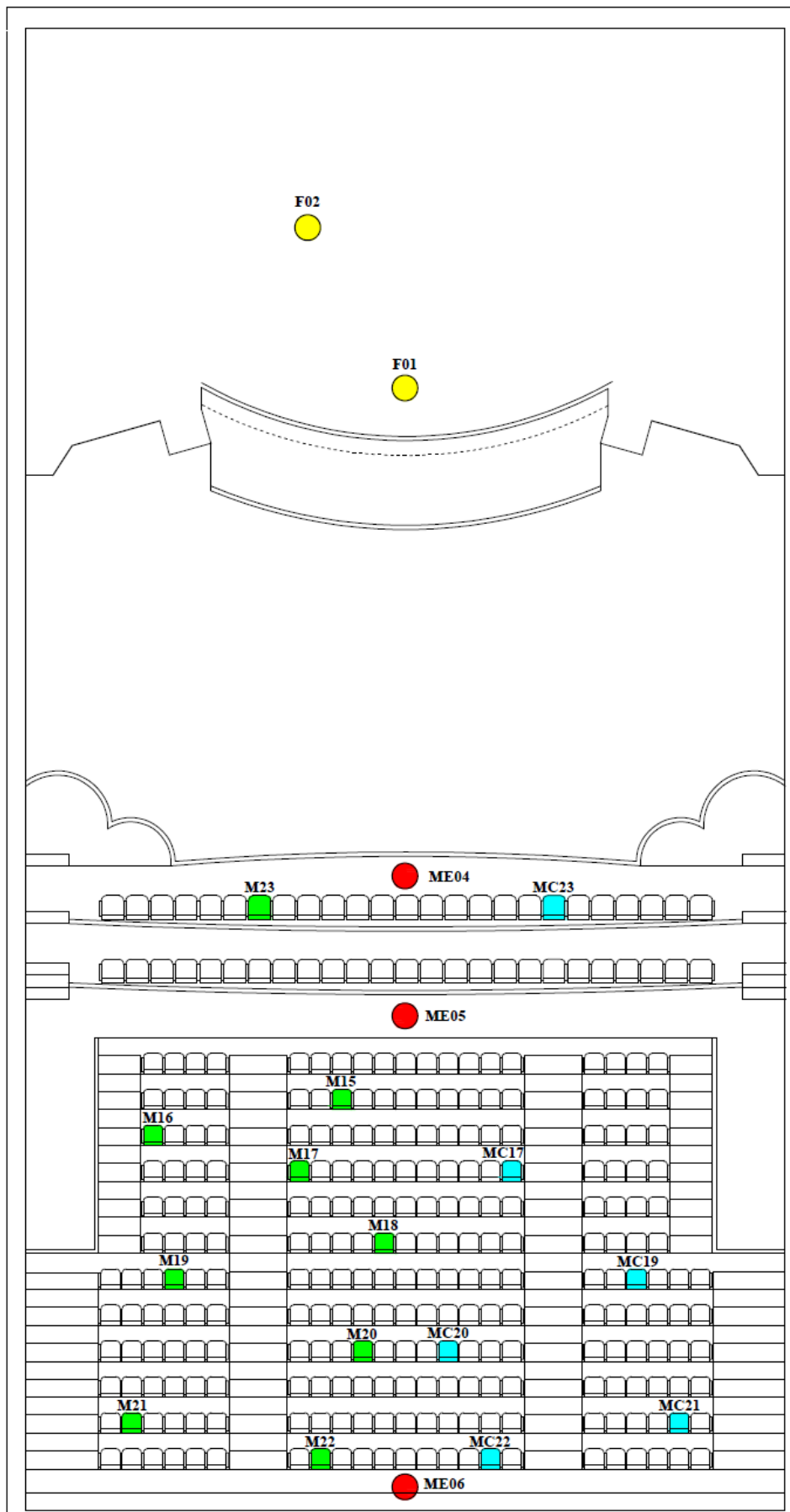


Figura 29. Posiciones de los micrófonos de medición del anfiteatro y posiciones de las fuentes. Producción propia.

Una vez instalados los equipos según el diagrama de bloques se ha de probar que todo está en correcto funcionamiento. Para ello, es necesario que exista una SNR superior a 35 dB en todas las bandas de frecuencia. En cada medición se comprueba que esto se cumple, y si no, se repite la medida. Se le asigna una ganancia de 20 dB a los dos micrófonos mediante los dos preamplificadores.

A continuación se miden la temperatura y la humedad del aire del recinto y se resumen en la tabla 5. Esto se hace también al final, para comprobar la variación que ha podido existir. Estos parámetros tienen influencia en la propagación de las ondas sonoras (p.e. a más temperatura más velocidad de propagación), y por ello, la sesión de medición siempre irá acompañada de estos datos.

Tabla 5. Humedad y temperatura en el intervalo de la medición

	HUMEDAD [%]	TEMPERATURA [°C]
INICIO 10:06H	46,5	17,6
FINAL 14:00H	46,6	18,2

Para medir la acústica se realizan dos mediciones por cada combinación fuente – micrófono. Se realiza un barrido exponencial de tonos de 20 Hz a 20kHz con una duración de 5.32s y se realiza el promedio de 3 excitaciones en cada posición. Una vez recopilados todos los datos, se renderizan para poder exportarlos y comenzar con el procesado en Excel.

### 5.4. PROCESADO DE DATOS

Los datos medidos se encuentran en grandes archivos que contienen mucha información. Para poder trabajar con ellos más cómodamente, se han de discretizar los datos y operar con cada parámetro por separado.

El objetivo es obtener un documento en el que toda la información pueda ser filtrada con comodidad. Así, se pueden obtener los valores de cada parámetro para cada una de las frecuencias, sus promedios, desviaciones y otros datos de utilidad. Como se trabaja tanto en tercios de octava como en octavas, se obtienen dos archivos de las mismas características, uno para cada división frecuencial. Véase en la tabla 6 la estructura de los datos procesados. Cada registro se compone de parámetro medido, fuente, micrófono, división frecuencial, canal, punto de media, distancia micrófono-fuente, zona, directorio y los datos por cada banda.

Tabla 6. Estructura de los datos del procesado

Medida	Fuente	Micrófono	Canal	Punto de media	Zona	Directorio	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	
01	F01	M01	Tercio	1	1	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
02	F01	M01	Tercio	1	1	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
03	F01	M01	Tercio	1	1	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
04	F01	M01	Tercio	1	2	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
05	F01	M01	Tercio	1	2	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
06	F01	M01	Tercio	1	2	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
07	F01	M01	Tercio	1	3	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
08	F01	M01	Tercio	1	3	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
09	F01	M01	Tercio	1	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
10	F01	M01	Tercio	1	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
11	F01	M01	Tercio	2	1	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
12	F01	M01	Tercio	2	1	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
13	F01	M01	Tercio	2	1	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
14	F01	M01	Tercio	2	2	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
15	F01	M01	Tercio	2	2	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
16	F01	M01	Tercio	2	2	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
17	F01	M01	Tercio	2	3	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
18	F01	M01	Tercio	2	3	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
19	F01	M01	Tercio	2	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
20	F01	M01	Tercio	2	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
21	F01	M01	Tercio	3	1	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
22	F01	M01	Tercio	3	1	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
23	F01	M01	Tercio	3	1	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
24	F01	M01	Tercio	3	2	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
25	F01	M01	Tercio	3	2	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
26	F01	M01	Tercio	3	2	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
27	F01	M01	Tercio	3	3	1	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
28	F01	M01	Tercio	3	3	2	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
29	F01	M01	Tercio	3	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96
30	F01	M01	Tercio	3	3	3	2.07	-0.91	-0.91	1.11	0.21	-0.32	2.4	3.02	-1.89	3.37	-0.69	2.37	2.98	2.00	1.91	2.47	1.9	1.91	3.09	3.03	3.07	2.3	2.96	2.74	2.96	2.74	2.96

El programa Dirac mide en tercios de octava de 25 Hz a 25000 Hz, y en octavas de 31.5 Hz a 16000 Hz.

#### 5.4.1. MÁSCARA INR Y CRITERIO DE CHAUVENET

Se procede a continuación con la aplicación de la máscara de la relación impulso a ruido (INR) y el criterio de Chauvenet. Lo que se expone en este documento es el procesado de datos en tercios de octava. No obstante, también se ha realizado el procesado en bandas de octava de frecuencia.

Se comienza constituyendo la llamada **plantilla INR** o *Impulse Response to Noise Ratio*. Para hacerlo, se decide de eliminar todos los valores de INR que sean inferiores a 35 dB para todas las frecuencias, para el canal 1 (omnidireccional) y en todas las posiciones fuente – micrófono. Se asegura así, que se trabaja con los datos en los que el ruido de fondo no afecta cuantitativamente en la medición. Este filtrado se realiza para depurar los datos con los que se trabaja, manteniendo los más representativos. Una vez diseñada la regla condicional en excel se observa que todos de los datos que no cumplen esta condición se encuentran en las bandas inferiores y superiores de todo el rango. Eliminar más del 20% aproximadamente supondría que las medidas no son

correctas. No obstante, si eso ocurre, se puede ser más laxo, y aceptar así los valores de INR comprendidos entre 30 dB y 35 dB. Se visualiza en la tabla 7 parte de la máscara INR con la que se trabaja.

Tabla 7. Parte de la máscara de INR aplicada en tercios de octava

25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000	20000														
39	42	38	51	54	56	59	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130													
38	41	37	50	53	55	58	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132												
37	40	36	49	52	54	57	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131												
36	39	35	48	51	53	56	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130												
35	38	34	47	50	52	55	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129												
34	37	33	46	49	51	54	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128												
33	36	32	45	48	50	53	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130											
32	35	31	44	47	49	52	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129											
31	34	30	43	46	48	51	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128											
30	33	29	42	45	47	50	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130										
29	32	28	41	44	46	49	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129										
28	31	27	40	43	45	48	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128										
27	30	26	39	42	44	47	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130									
26	29	25	38	41	43	46	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129									
25	28	24	37	40	42	45	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128									
24	27	23	36	39	41	44	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130								
23	26	22	35	38	40	43	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129								
22	25	21	34	37	39	42	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128								
21	24	20	33	36	38	41	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130							
20	23	19	32	35	37	40	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129							
19	22	18	31	34	36	39	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128							
18	21	17	30	33	35	38	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130						
17	20	16	29	32	34	37	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129						
16	19	15	28	31	33	36	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128						
15	18	14	27	30	32	35	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130					
14	17	13	26	29	31	34	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129					
13	16	12	25	28	30	33	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128					
12	15	11	24	27	29	32	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130				
11	14	10	23	26	28	31	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129				
10	13	9	22	25	27	30	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128				
9	12	8	21	24	26	29	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130			
8	11	7	20	23	25	28	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129			
7	10	6	19	22	24	27	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128			
6	9	5	18	21	23	26	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130		
5	8	4	17	20	22	25	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129		
4	7	3	16	19	21	24	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128		
3	6	2	15	18	20	23	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85	88	91	94	97	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130	
2	5	1	14	17	19	22	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	
1	4	0	13	16	18	21	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131

Con la máscara INR constituida se traspasa al resto de parámetros. Es decir, se elimina un valor de cualquier parámetro y frecuencia siempre y cuando el valor INR para esa frecuencia sea menor de 35 dB. En la tabla 8 se puede observar el parámetro C<sub>50</sub> con la máscara INR aplicada.



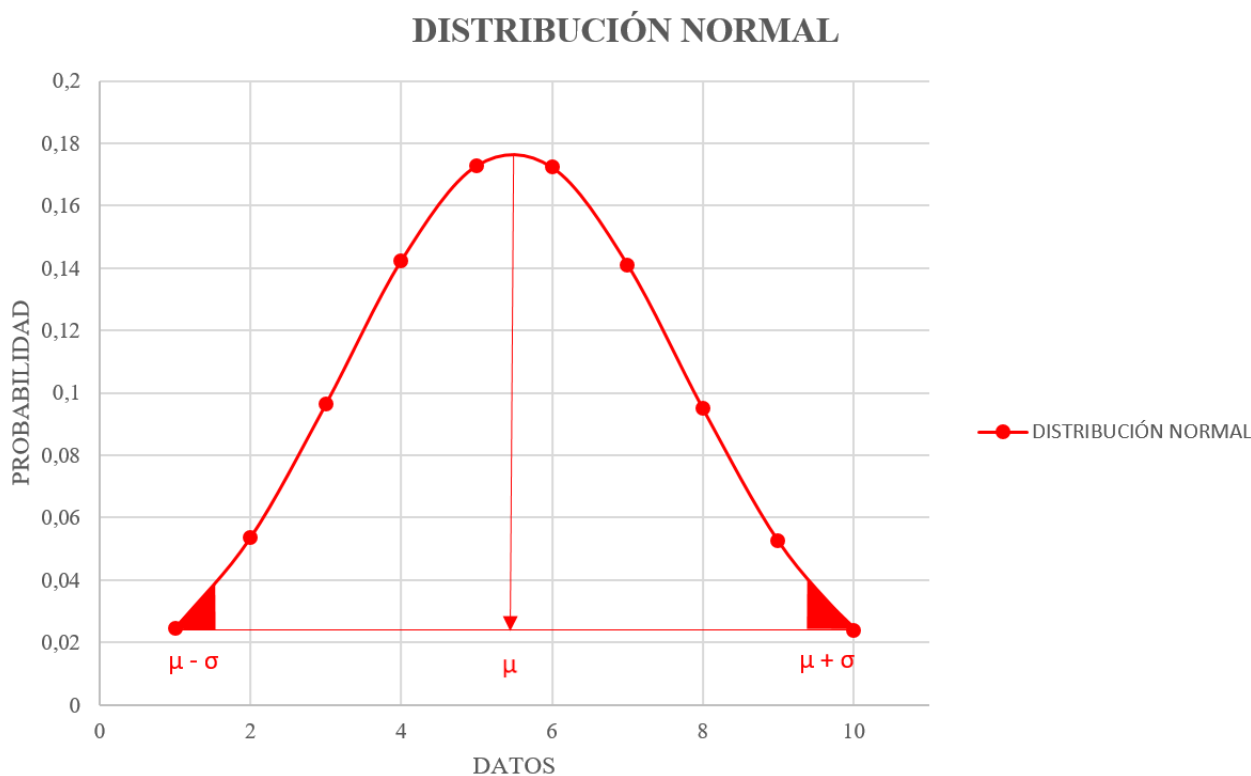


Figura 30. Distribución normal o gaussiana. Producción propia.

Lo óptimo es que no se eliminen más del 1% de los valores aplicando el criterio de Chauvenet. Siguiendo las expresiones siguientes un dato se elimina si cumple:

$$|X_i - \bar{x}| \geq K_n \cdot \sigma \tag{21}$$

siendo

$$K_n = 0,3704 \cdot \ln(n) + 1,0603 \tag{22}$$

Donde:

$X_i$ : dato evaluado

$\bar{x}$ : valor medio de los datos

$K_n$ : constante de Chauvenet

$\sigma$ : desviación estándar

$n$ : número de datos válidos

Una vez que se ha evaluado por primera vez la condición para todos los valores, los promedios y desviaciones han cambiado, porque la muestra ya no es la misma (se han eliminado valores). Debido a ello, se vuelven a repetir las comprobaciones hasta que ningún valor se elimine.

Los comportamientos acústicos que se dan en la caja escénica y los experimentados en la zona de audiencia pueden ser muy diferentes, con lo que los datos entre ellos pueden ser bastante dispares. Por tanto, nótese que se realiza una división entre los datos de la zona de audiencia y los datos del escenario. Así se efectúan las iteraciones de Chauvenet por partida doble y de forma separada, no eliminando datos de ambas zonas que si pudieran ser fiables. En la tabla 9 se exponen parte de los datos del parámetro  $C_{50}$  una vez realizadas las iteraciones de Chauvenet.



Tabla 11. Porcentaje de muestras eliminadas por filtrado en el escenario

PARÁMETRO	ESCENARIO		
	% ELIMINADO POR INR	% ELIMINADO CHUAVENET	% TOTAL ELIMINADO
EDT [-]	8,33	1,25	9,58
C50 [dB]	10,00	1,25	11,25
C80 [dB]	10,00	0,00	10,00
D50 [-]	8,33	2,50	10,83
T20 [s]	8,33	1,67	10,00
T30 [s]	8,33	2,08	10,42
LF [-]	8,33	3,75	12,08
LFC [-]	8,33	0,83	9,17
TS [s]	8,33	0,00	8,33
RT [s]	8,33	2,08	10,42

Como se han comentado antes, al procesar los datos, el escenario está separado de platea y anfiteatro, con lo que si se evalúan las muestras eliminadas totales de forma global (zona audiencia + escenario) para cada parámetro se encuentra que no se eliminan más del 20% al aplicar la máscara INR (tabla 12). Los valores eliminados por Chauvenet varían pero en su mayoría son menos de 1%.

Tabla 12. Porcentaje de muestras eliminadas por filtrado total

PARÁMETRO	TOTAL		
	% ELIMINADO POR INR	% ELIMINADO CHUAVENET	% TOTAL ELIMINADO
EDT [-]	19,62	0,85	20,47
C50 [dB]	20,00	0,46	20,46
C80 [dB]	20,00	0,49	20,49
D50 [-]	19,62	0,66	20,28
T20 [s]	19,62	0,29	19,91
T30 [s]	19,62	0,89	20,51
LF [-]	19,62	2,44	22,06
LFC [-]	19,62	1,52	21,14
TS [s]	19,62	0,38	20,00
RT [s]	19,62	1,99	21,61

#### 5.4.2. PROMEDIO Y DESVIACIÓN TÍPICA

Por otro lado, con el fin de condensar todos los datos se calcula el promedio y desviación estándar de cada parámetro en función de la frecuencia. Estos valores servirán en la posterior validación del modelo, como ya se anticipó.

De todo este rango, el estudio en tercios se centra para el intervalo de 100 Hz a 10000 Hz y en octavas de 125 Hz a 8000 Hz. Además, para la posterior validación del modelo se hará uso de los datos de ambas divisiones frecuenciales. Se presenta en las figuras 32 a 43 los resultados de cada parámetro dividido por plantas y el total para cada uno. Además, se detallan los datos de las gráficas en las tablas 13 a 24. Se representa a través de las barras de error de cada una de las gráficas la desviación estándar del valor promedio. Como excepción, en la figura 31 se representa el parámetro EDT con todos los datos tomados comprendidos entre las bandas de frecuencia de 25 Hz y 20000 Hz.

- **Parámetros temporales:**

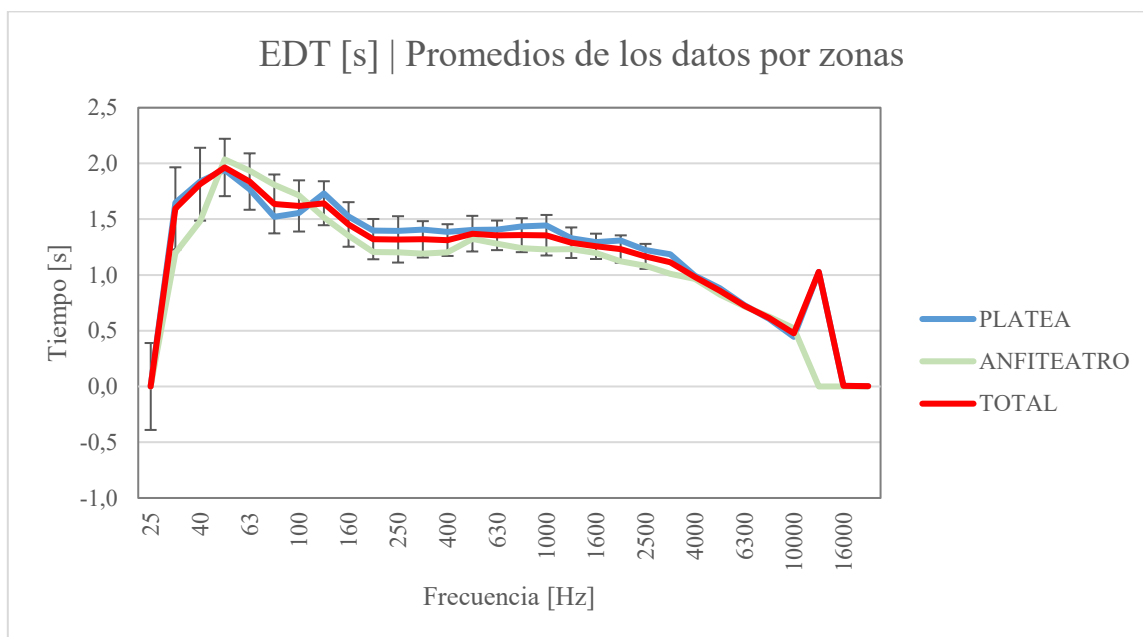


Figura 31. EDT medido por zonas en todo el rango de frecuencias

Se visualiza cómo debido al criterio de Chauvenet es normal que los valores de muy baja y alta frecuencia se eliminen. De ahora en adelante, solo se muestran los resultados dentro del rango de la validación (100 Hz – 10000 Hz).

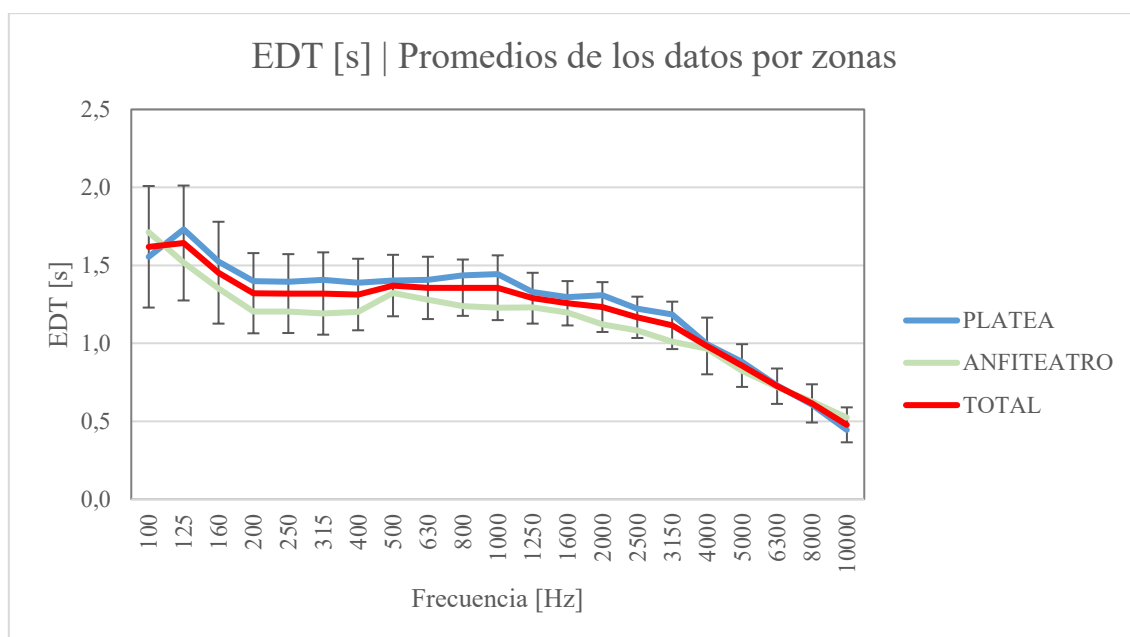


Figura 32. EDT medido por zonas

Tabla 13. EDT medido por zonas

EDT [s]   Promedio de los datos por zonas					EDT [s]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	1,56	1,71	0,51	<b>1,62</b>	0,35	0,43	0,07	<b>0,39</b>
125	1,73	1,52	1,43	<b>1,64</b>	0,34	0,37	0,23	<b>0,37</b>
160	1,52	1,35	1,13	<b>1,45</b>	0,29	0,36	0,40	<b>0,33</b>
200	1,40	1,20	1,34	<b>1,32</b>	0,27	0,19	0,03	<b>0,26</b>
250	1,40	1,20	0,99	<b>1,32</b>	0,24	0,23	0,17	<b>0,25</b>
315	1,41	1,19	0,88	<b>1,32</b>	0,24	0,25	0,16	<b>0,26</b>
400	1,39	1,20	0,90	<b>1,31</b>	0,21	0,21	0,14	<b>0,23</b>
500	1,40	1,32	1,01	<b>1,37</b>	0,20	0,18	0,04	<b>0,20</b>
630	1,41	1,28	1,12	<b>1,36</b>	0,19	0,18	0,17	<b>0,20</b>
800	1,44	1,24	1,00	<b>1,36</b>	0,14	0,17	0,22	<b>0,18</b>
1000	1,44	1,23	0,99	<b>1,36</b>	0,16	0,20	0,11	<b>0,21</b>
1250	1,33	1,23	0,91	<b>1,29</b>	0,17	0,14	0,18	<b>0,16</b>
1600	1,30	1,20	0,91	<b>1,26</b>	0,14	0,13	0,07	<b>0,14</b>
2000	1,31	1,12	0,89	<b>1,23</b>	0,12	0,15	0,09	<b>0,16</b>
2500	1,22	1,08	0,83	<b>1,17</b>	0,11	0,12	0,11	<b>0,13</b>
3150	1,19	1,01	0,70	<b>1,12</b>	0,12	0,14	0,10	<b>0,15</b>
4000	0,99	0,97	0,67	<b>0,98</b>	0,21	0,13	0,07	<b>0,18</b>
5000	0,88	0,82	0,58	<b>0,86</b>	0,16	0,09	0,13	<b>0,14</b>
6300	0,73	0,72	0,61	<b>0,72</b>	0,13	0,08	0,13	<b>0,11</b>
8000	0,61	0,63	0,38	<b>0,61</b>	0,15	0,07	0,23	<b>0,12</b>
10000	0,44	0,52	0,38	<b>0,48</b>	0,12	0,08	0,20	<b>0,11</b>

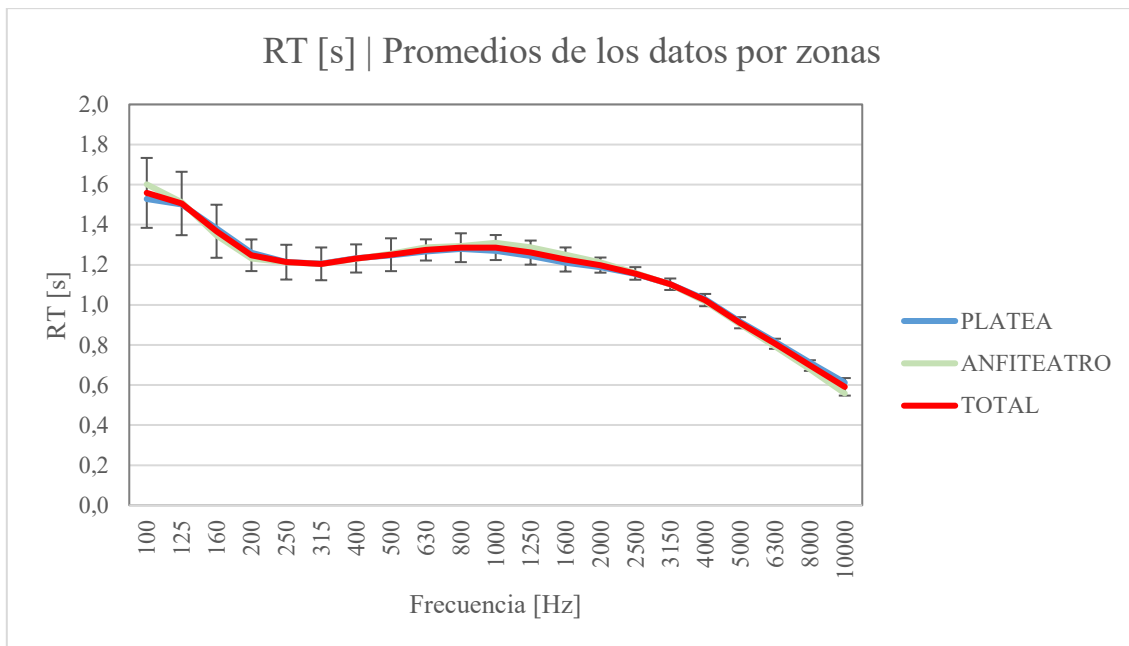


Figura 33. RT medido por zonas

Tabla 14. RT medido por zonas

RT [s]   Promedio de los datos por zonas					RT [s]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	1,53	1,60	1,32	<b>1,56</b>	0,16	0,19	0,37	<b>0,17</b>
125	1,50	1,51	1,38	<b>1,51</b>	0,15	0,17	0,21	<b>0,16</b>
160	1,38	1,35	1,29	<b>1,37</b>	0,13	0,14	0,11	<b>0,13</b>
200	1,26	1,23	1,15	<b>1,25</b>	0,08	0,07	0,05	<b>0,08</b>
250	1,21	1,21	1,01	<b>1,21</b>	0,10	0,07	0,06	<b>0,09</b>
315	1,20	1,20	0,96	<b>1,20</b>	0,08	0,08	0,03	<b>0,08</b>
400	1,23	1,23	1,08	<b>1,23</b>	0,07	0,07	0,06	<b>0,07</b>
500	1,25	1,26	1,06	<b>1,25</b>	0,08	0,08	0,09	<b>0,08</b>
630	1,27	1,29	1,09	<b>1,27</b>	0,04	0,06	0,06	<b>0,05</b>
800	1,28	1,29	1,18	<b>1,29</b>	0,07	0,07	0,02	<b>0,07</b>
1000	1,27	1,31	1,03	<b>1,29</b>	0,06	0,06	0,03	<b>0,06</b>
1250	1,24	1,29	1,05	<b>1,26</b>	0,06	0,05	0,06	<b>0,06</b>
1600	1,21	1,25	1,08	<b>1,23</b>	0,06	0,05	0,06	<b>0,06</b>
2000	1,19	1,21	1,02	<b>1,20</b>	0,03	0,04	0,03	<b>0,04</b>
2500	1,15	1,16	0,98	<b>1,16</b>	0,03	0,03	0,07	<b>0,03</b>
3150	1,10	1,10	0,93	<b>1,10</b>	0,03	0,03	0,06	<b>0,03</b>
4000	1,03	1,02	0,89	<b>1,02</b>	0,03	0,03	0,06	<b>0,03</b>
5000	0,92	0,90	0,82	<b>0,91</b>	0,03	0,03	0,04	<b>0,03</b>
6300	0,82	0,79	0,74	<b>0,81</b>	0,03	0,02	0,05	<b>0,03</b>
8000	0,71	0,68	0,68	<b>0,70</b>	0,02	0,02	0,04	<b>0,03</b>
10000	0,61	0,56	0,57	<b>0,59</b>	0,04	0,03	0,02	<b>0,04</b>

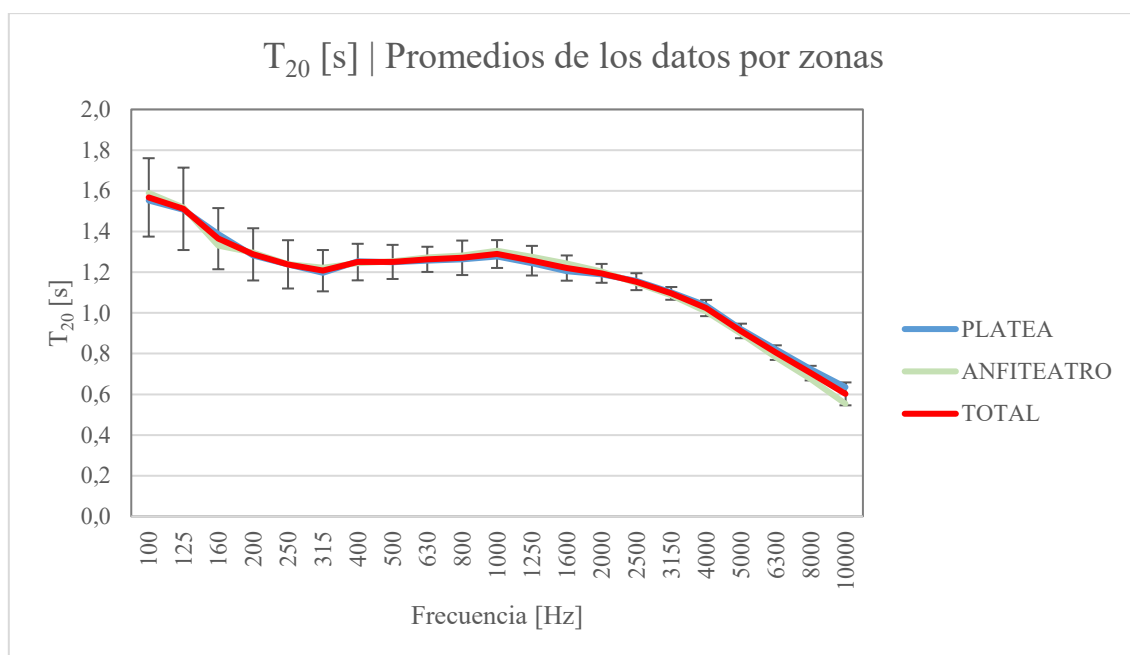

 Figura 34.  $T_{20}$  medido por zonas

 Tabla 15.  $T_{20}$  medido por zonas

$T_{20}$ [s]   Promedio de los datos por zonas					$T_{20}$ [s]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	1,55	1,59	1,38	<b>1,57</b>	0,18	0,21	0,39	<b>0,19</b>
125	1,51	1,52	1,33	<b>1,51</b>	0,20	0,21	0,27	<b>0,20</b>
160	1,39	1,33	1,33	<b>1,36</b>	0,15	0,15	0,11	<b>0,15</b>
200	1,28	1,30	1,11	<b>1,29</b>	0,14	0,11	0,07	<b>0,13</b>
250	1,24	1,24	1,03	<b>1,24</b>	0,13	0,10	0,03	<b>0,12</b>
315	1,20	1,22	0,95	<b>1,21</b>	0,09	0,11	0,04	<b>0,10</b>
400	1,25	1,24	1,05	<b>1,25</b>	0,09	0,09	0,07	<b>0,09</b>
500	1,25	1,25	1,06	<b>1,25</b>	0,08	0,09	0,08	<b>0,08</b>
630	1,26	1,27	1,13	<b>1,26</b>	0,06	0,06	0,08	<b>0,06</b>
800	1,26	1,28	1,13	<b>1,27</b>	0,09	0,07	0,04	<b>0,08</b>
1000	1,28	1,31	1,01	<b>1,29</b>	0,07	0,07	0,02	<b>0,07</b>
1250	1,24	1,28	1,07	<b>1,26</b>	0,08	0,06	0,05	<b>0,07</b>
1600	1,21	1,24	1,04	<b>1,22</b>	0,07	0,05	0,05	<b>0,06</b>
2000	1,19	1,20	1,00	<b>1,19</b>	0,05	0,04	0,05	<b>0,05</b>
2500	1,16	1,15	0,98	<b>1,15</b>	0,04	0,04	0,06	<b>0,04</b>
3150	1,10	1,09	0,91	<b>1,10</b>	0,03	0,03	0,06	<b>0,03</b>
4000	1,04	1,01	0,86	<b>1,02</b>	0,04	0,04	0,05	<b>0,04</b>
5000	0,92	0,90	0,81	<b>0,91</b>	0,04	0,03	0,07	<b>0,04</b>
6300	0,82	0,78	0,74	<b>0,80</b>	0,03	0,03	0,07	<b>0,04</b>
8000	0,72	0,68	0,68	<b>0,70</b>	0,03	0,03	0,03	<b>0,04</b>
10000	0,64	0,55	0,57	<b>0,60</b>	0,04	0,04	0,04	<b>0,06</b>

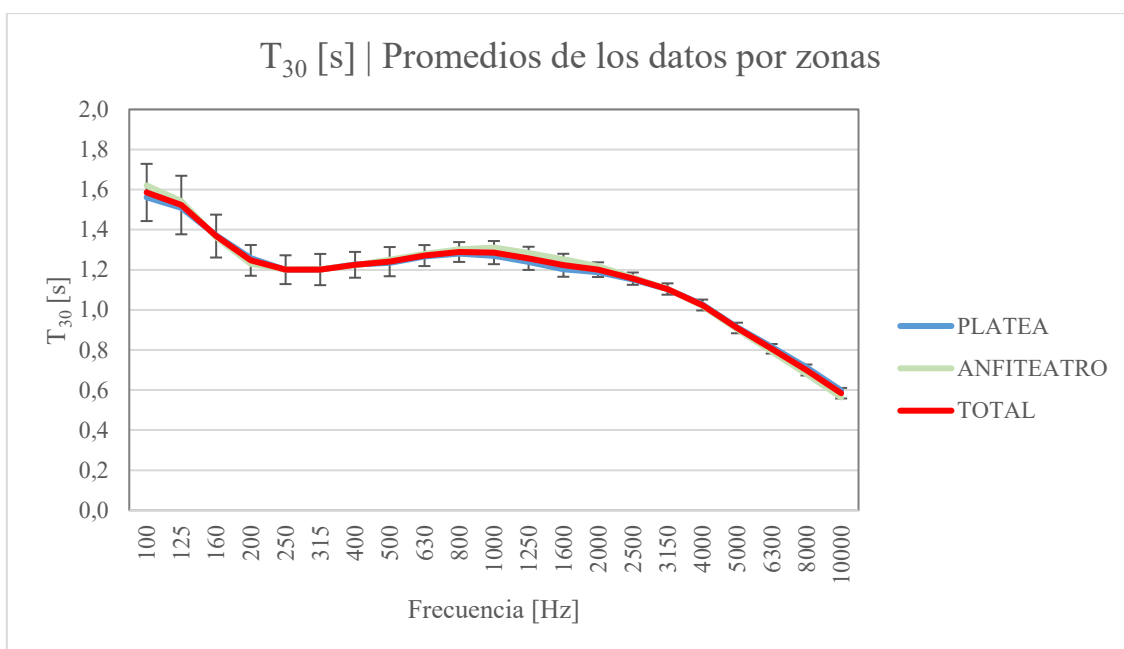

 Figura 35.  $T_{30}$  medido por zonas

 Tabla 16.  $T_{30}$  medido por zonas

$T_{30}$ [s]   Promedio de los datos por zonas					$T_{30}$ [s]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	1,56	1,62	1,58	<b>1,59</b>	0,12	0,16	0,14	<b>0,14</b>
125	1,51	1,54	1,39	<b>1,52</b>	0,15	0,14	0,21	<b>0,15</b>
160	1,37	1,36	1,31	<b>1,37</b>	0,11	0,11	0,08	<b>0,11</b>
200	1,26	1,23	1,15	<b>1,25</b>	0,08	0,07	0,05	<b>0,08</b>
250	1,20	1,20	1,03	<b>1,20</b>	0,07	0,07	0,08	<b>0,07</b>
315	1,20	1,20	1,04	<b>1,20</b>	0,08	0,08	0,06	<b>0,08</b>
400	1,23	1,22	1,08	<b>1,22</b>	0,06	0,07	0,06	<b>0,06</b>
500	1,23	1,25	1,08	<b>1,24</b>	0,07	0,08	0,05	<b>0,07</b>
630	1,27	1,28	1,09	<b>1,27</b>	0,04	0,06	0,06	<b>0,05</b>
800	1,28	1,30	1,18	<b>1,29</b>	0,05	0,05	0,02	<b>0,05</b>
1000	1,27	1,31	1,05	<b>1,29</b>	0,05	0,06	0,05	<b>0,06</b>
1250	1,24	1,28	1,09	<b>1,26</b>	0,06	0,05	0,08	<b>0,06</b>
1600	1,20	1,25	1,08	<b>1,22</b>	0,05	0,05	0,05	<b>0,06</b>
2000	1,19	1,22	1,02	<b>1,20</b>	0,03	0,03	0,03	<b>0,04</b>
2500	1,15	1,16	1,01	<b>1,16</b>	0,03	0,03	0,04	<b>0,03</b>
3150	1,10	1,10	0,97	<b>1,10</b>	0,03	0,03	0,03	<b>0,03</b>
4000	1,03	1,02	0,91	<b>1,02</b>	0,03	0,03	0,03	<b>0,03</b>
5000	0,91	0,90	0,82	<b>0,91</b>	0,03	0,02	0,04	<b>0,03</b>
6300	0,82	0,79	0,74	<b>0,81</b>	0,02	0,02	0,05	<b>0,02</b>
8000	0,71	0,68	0,65	<b>0,70</b>	0,02	0,02	0,04	<b>0,03</b>
10000	0,60	0,56	0,57	<b>0,58</b>	0,02	0,02	0,02	<b>0,03</b>

- **Parámetros energéticos:**

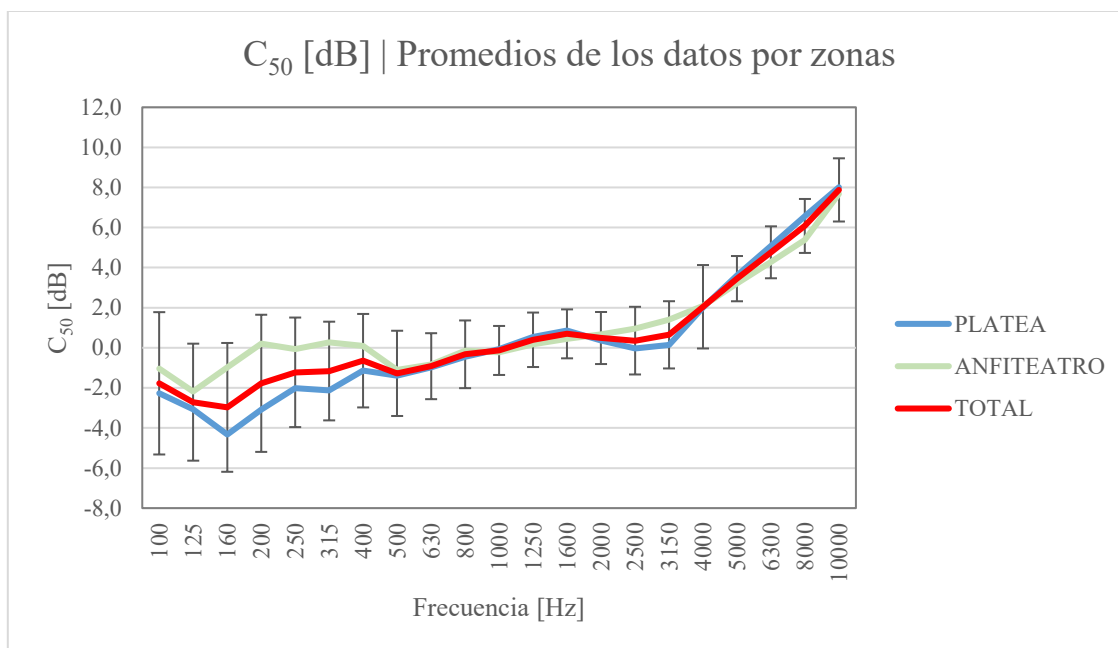


Figura 36.  $C_{50}$  medido por zonas

Tabla 17.  $C_{50}$  medido por zonas

<b><math>C_{50}</math> [dB]   Promedio de los datos por zonas</b>					<b><math>C_{50}</math> [dB]   Desviación de los datos por zonas</b>			
<b>Fz (Hz)</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>ESCENARIO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>ESCENARIO</b>	<b>TOTAL</b>
100	-2,27	-1,03	7,47	<b>-1,77</b>	3,70	3,20	1,25	<b>3,55</b>
125	-3,07	-2,18	2,22	<b>-2,71</b>	2,98	2,76	1,53	<b>2,92</b>
160	-4,33	-0,98	2,80	<b>-2,97</b>	2,88	2,60	0,73	<b>3,21</b>
200	-3,08	0,21	-0,42	<b>-1,77</b>	3,10	2,92	1,48	<b>3,42</b>
250	-2,01	-0,07	5,37	<b>-1,22</b>	2,22	3,01	1,17	<b>2,73</b>
315	-2,13	0,27	6,20	<b>-1,16</b>	2,02	2,36	2,50	<b>2,46</b>
400	-1,14	0,09	5,64	<b>-0,64</b>	2,27	2,24	0,91	<b>2,33</b>
500	-1,40	-1,10	1,66	<b>-1,28</b>	2,13	2,12	1,35	<b>2,13</b>
630	-0,97	-0,84	5,01	<b>-0,92</b>	1,48	1,87	3,12	<b>1,65</b>
800	-0,45	-0,14	5,38	<b>-0,32</b>	1,66	1,72	1,08	<b>1,69</b>
1000	-0,07	-0,23	5,60	<b>-0,13</b>	1,05	1,44	0,76	<b>1,22</b>
1250	0,55	0,18	5,54	<b>0,40</b>	1,33	1,38	1,81	<b>1,36</b>
1600	0,86	0,45	4,69	<b>0,70</b>	1,23	1,18	2,23	<b>1,22</b>
2000	0,36	0,67	4,77	<b>0,49</b>	1,34	1,21	1,10	<b>1,30</b>
2500	-0,04	0,96	4,47	<b>0,36</b>	1,80	1,31	1,92	<b>1,69</b>
3150	0,14	1,40	4,87	<b>0,65</b>	1,71	1,32	1,81	<b>1,68</b>
4000	2,02	2,09	5,01	<b>2,05</b>	2,43	1,44	1,23	<b>2,08</b>
5000	3,61	3,22	7,86	<b>3,45</b>	1,26	0,86	1,97	<b>1,13</b>
6300	5,08	4,29	8,91	<b>4,76</b>	1,41	0,93	3,33	<b>1,30</b>
8000	6,56	5,38	10,53	<b>6,08</b>	1,41	0,85	3,38	<b>1,35</b>
10000	8,01	7,68	9,94	<b>7,88</b>	1,50	1,68	2,26	<b>1,58</b>

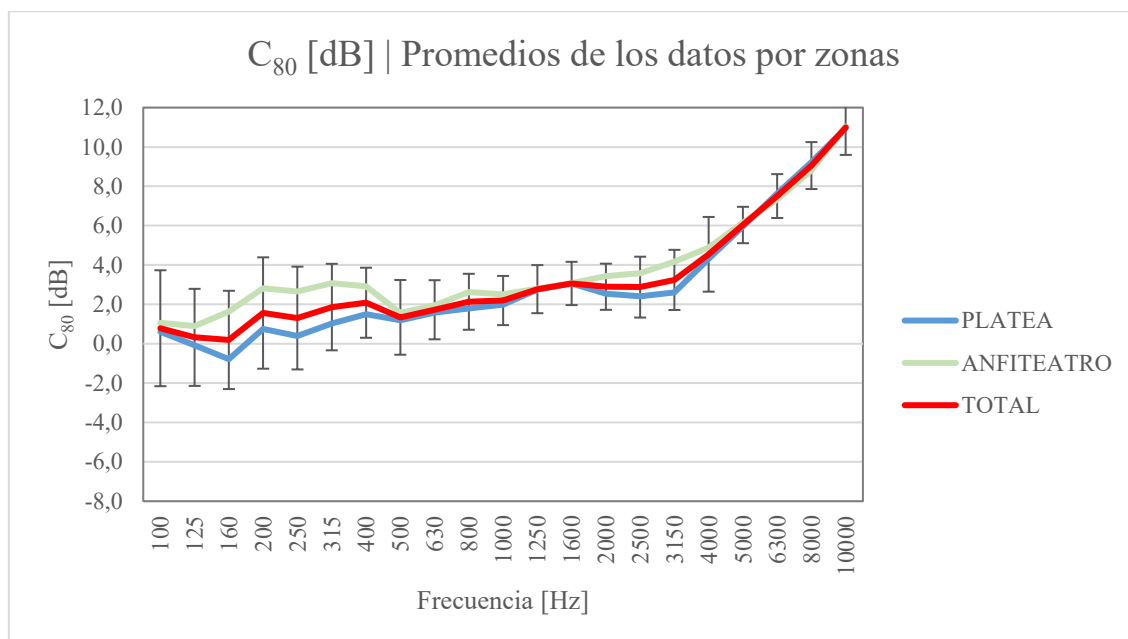

 Figura 37. C<sub>80</sub> medido por zonas

 Tabla 18. C<sub>80</sub> medido por zonas

C <sub>80</sub> [dB]   Promedio de los datos por zonas					C <sub>80</sub> [dB]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	0,604	1,063	9,528	<b>0,79</b>	2,924	2,976	1,401	<b>2,945</b>
125	-0,073	0,898	4,814	<b>0,32</b>	2,326	2,563	1,692	<b>2,465</b>
160	-0,782	1,632	5,459	<b>0,20</b>	2,097	2,351	2,697	<b>2,497</b>
200	0,756	2,822	0,836	<b>1,56</b>	2,743	2,497	1,812	<b>2,829</b>
250	0,393	2,650	6,961	<b>1,31</b>	2,171	2,637	1,457	<b>2,611</b>
315	1,034	3,086	8,075	<b>1,86</b>	1,909	2,027	2,423	<b>2,198</b>
400	1,496	2,924	9,048	<b>2,08</b>	1,580	1,720	1,302	<b>1,780</b>
500	1,186	1,569	5,059	<b>1,34</b>	1,992	1,739	1,501	<b>1,898</b>
630	1,577	1,950	6,934	<b>1,73</b>	1,230	1,818	2,388	<b>1,502</b>
800	1,795	2,621	7,710	<b>2,13</b>	1,398	1,320	1,072	<b>1,422</b>
1000	1,988	2,505	7,896	<b>2,20</b>	1,111	1,381	1,019	<b>1,250</b>
1250	2,754	2,806	7,698	<b>2,78</b>	1,178	1,293	1,824	<b>1,222</b>
1600	3,058	3,075	7,241	<b>3,06</b>	1,084	1,128	1,861	<b>1,099</b>
2000	2,540	3,436	7,331	<b>2,90</b>	1,242	0,804	0,970	<b>1,172</b>
2500	2,408	3,589	7,338	<b>2,88</b>	1,648	1,043	1,324	<b>1,547</b>
3150	2,614	4,170	7,803	<b>3,24</b>	1,407	1,197	1,645	<b>1,528</b>
4000	4,312	4,889	8,390	<b>4,55</b>	2,163	1,365	1,007	<b>1,898</b>
5000	5,951	6,149	10,535	<b>6,03</b>	1,055	0,697	1,710	<b>0,924</b>
6300	7,627	7,324	11,366	<b>7,50</b>	1,254	0,850	2,940	<b>1,115</b>
8000	9,220	8,809	13,298	<b>9,05</b>	1,362	0,839	3,378	<b>1,193</b>
10000	10,962	11,039	13,533	<b>10,99</b>	1,408	1,394	3,080	<b>1,398</b>

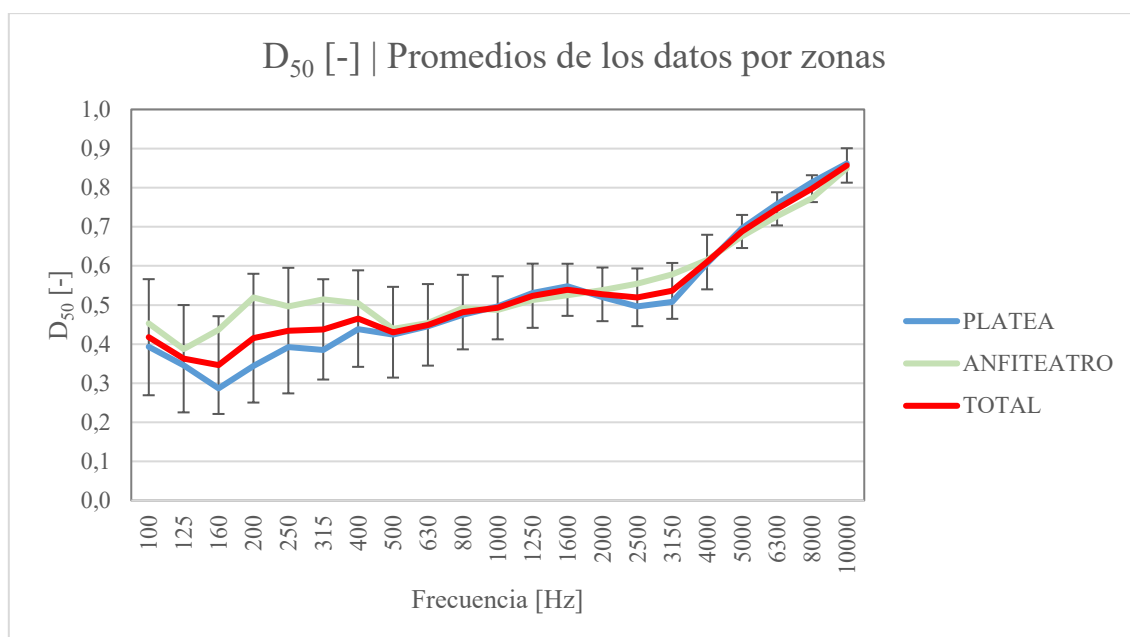

 Figura 38.  $D_{50}$  medido por zonas

 Tabla 19.  $D_{50}$  medido por zonas

$D_{50}$ [-]   Promedio de los datos por zonas					$D_{50}$ [-]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	0,39	0,45	0,84	<b>0,42</b>	0,17	0,15	0,04	<b>0,15</b>
125	0,35	0,39	0,62	<b>0,36</b>	0,14	0,14	0,08	<b>0,14</b>
160	0,29	0,44	0,66	<b>0,35</b>	0,12	0,12	0,04	<b>0,12</b>
200	0,34	0,52	0,48	<b>0,42</b>	0,15	0,16	0,08	<b>0,16</b>
250	0,39	0,50	0,77	<b>0,43</b>	0,12	0,16	0,05	<b>0,16</b>
315	0,39	0,51	0,79	<b>0,44</b>	0,11	0,13	0,10	<b>0,13</b>
400	0,44	0,50	0,78	<b>0,47</b>	0,12	0,12	0,04	<b>0,12</b>
500	0,42	0,44	0,59	<b>0,43</b>	0,12	0,12	0,07	<b>0,12</b>
630	0,45	0,45	0,74	<b>0,45</b>	0,08	0,10	0,15	<b>0,10</b>
800	0,47	0,49	0,77	<b>0,48</b>	0,09	0,10	0,04	<b>0,10</b>
1000	0,50	0,49	0,78	<b>0,49</b>	0,06	0,08	0,03	<b>0,08</b>
1250	0,53	0,51	0,78	<b>0,52</b>	0,07	0,08	0,08	<b>0,08</b>
1600	0,55	0,53	0,74	<b>0,54</b>	0,07	0,07	0,11	<b>0,07</b>
2000	0,52	0,54	0,75	<b>0,53</b>	0,08	0,07	0,05	<b>0,07</b>
2500	0,50	0,55	0,73	<b>0,52</b>	0,10	0,07	0,09	<b>0,07</b>
3150	0,51	0,58	0,75	<b>0,54</b>	0,09	0,07	0,08	<b>0,07</b>
4000	0,61	0,61	0,76	<b>0,61</b>	0,13	0,07	0,05	<b>0,07</b>
5000	0,70	0,68	0,85	<b>0,69</b>	0,06	0,04	0,06	<b>0,04</b>
6300	0,76	0,73	0,87	<b>0,75</b>	0,06	0,04	0,08	<b>0,04</b>
8000	0,81	0,77	0,91	<b>0,80</b>	0,05	0,03	0,04	<b>0,03</b>
10000	0,86	0,85	0,90	<b>0,86</b>	0,04	0,04	0,06	<b>0,04</b>

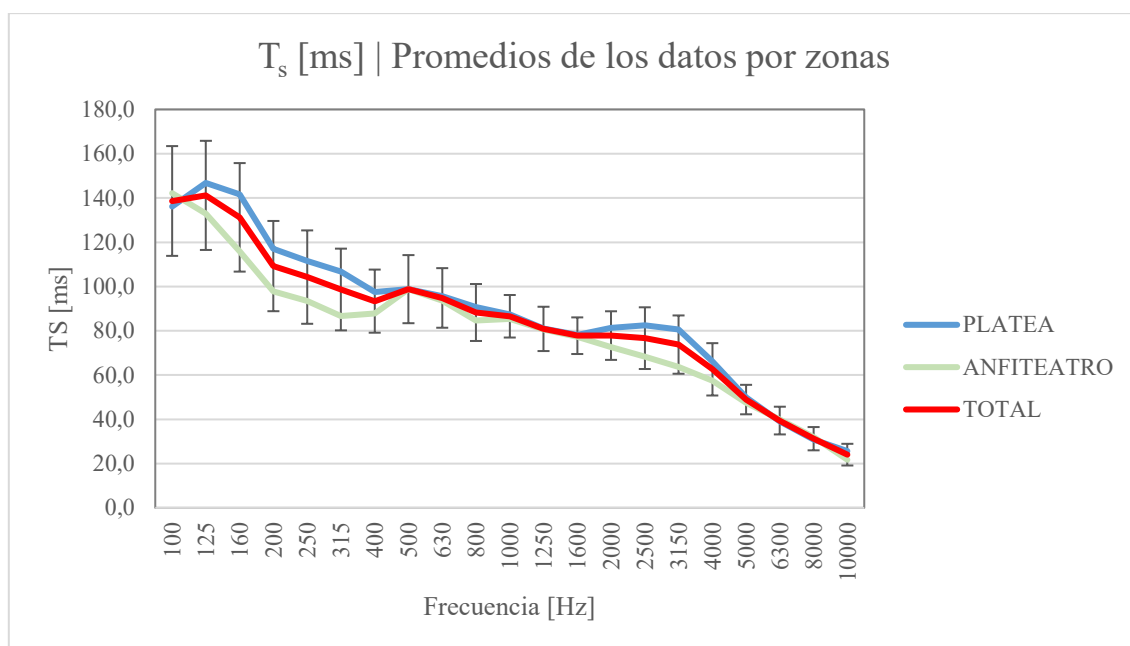

 Figura 39.  $T_s$  medido por zonas

 Tabla 20.  $T_s$  medido por zonas

$T_s$ [ms]   Promedio de los datos por zonas					$T_s$ [ms]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	136,19	142,17	63,98	<b>138,64</b>	22,50	27,56	3,87	<b>24,79</b>
125	146,80	132,91	95,70	<b>141,17</b>	23,46	24,19	12,16	<b>24,65</b>
160	141,67	115,93	95,98	<b>131,25</b>	21,51	20,35	14,17	<b>24,52</b>
200	117,00	97,83	102,50	<b>109,24</b>	18,37	17,74	15,80	<b>20,38</b>
250	111,58	93,48	52,20	<b>104,26</b>	18,62	19,97	11,99	<b>21,10</b>
315	106,77	86,70	43,73	<b>98,65</b>	16,09	14,97	15,37	<b>18,46</b>
400	97,45	87,79	37,54	<b>93,39</b>	13,83	12,97	5,59	<b>14,26</b>
500	98,76	98,88	64,64	<b>98,81</b>	16,34	13,97	9,76	<b>15,38</b>
630	95,66	93,63	42,51	<b>94,84</b>	11,12	16,33	17,88	<b>13,47</b>
800	90,75	84,61	39,20	<b>88,26</b>	13,83	10,35	6,34	<b>12,87</b>
1000	87,35	85,39	34,33	<b>86,56</b>	8,10	11,44	4,96	<b>9,61</b>
1250	80,99	80,66	37,80	<b>80,86</b>	9,30	11,04	10,68	<b>10,01</b>
1600	78,17	77,21	40,16	<b>77,78</b>	8,12	8,53	11,84	<b>8,28</b>
2000	81,34	72,68	38,30	<b>77,83</b>	11,28	8,18	4,67	<b>10,98</b>
2500	82,41	68,24	39,19	<b>76,67</b>	13,20	10,29	6,80	<b>13,94</b>
3150	80,65	63,63	38,44	<b>73,76</b>	11,62	7,60	8,73	<b>13,17</b>
4000	66,20	57,39	35,13	<b>62,59</b>	12,81	7,76	4,48	<b>11,82</b>
5000	49,97	47,41	24,14	<b>48,93</b>	7,75	4,22	7,03	<b>6,66</b>
6300	39,13	39,91	20,91	<b>39,45</b>	7,18	4,60	10,70	<b>6,26</b>
8000	30,77	31,96	16,59	<b>31,25</b>	6,06	3,71	7,61	<b>5,26</b>
10000	25,65	21,74	16,00	<b>24,05</b>	4,51	4,53	8,32	<b>4,90</b>

- **Parámetros espaciales:**

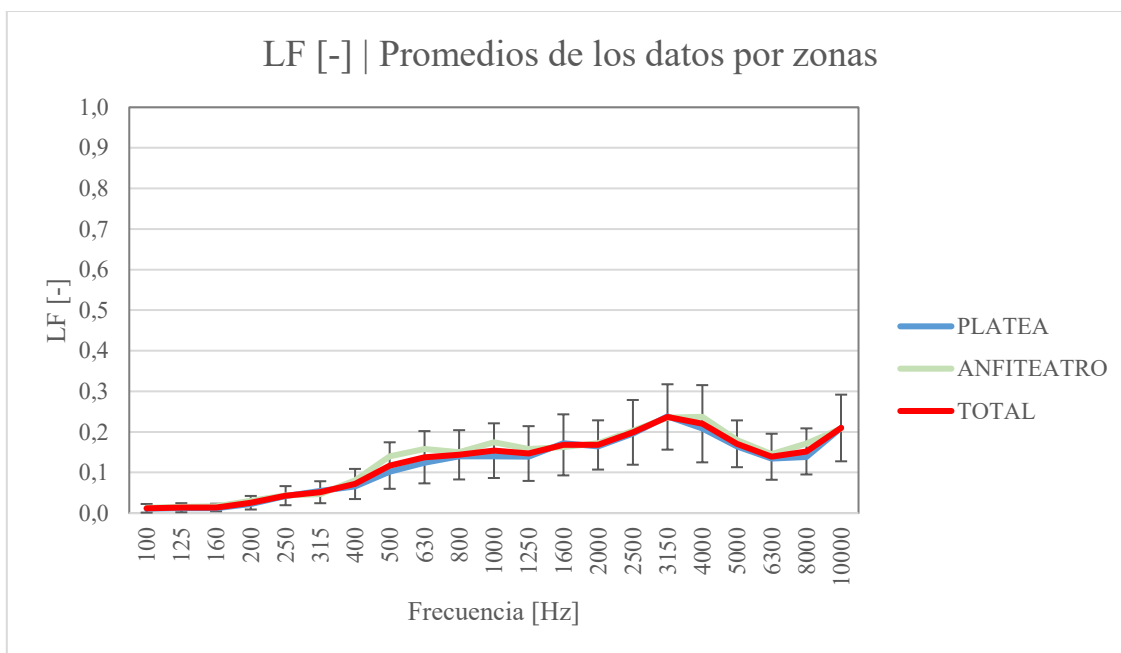


Figura 40. LF medido por zonas

Tabla 21. LF medido por zonas

LF [-]   Promedio de los datos por zonas					LF [-]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	0,01	0,01	0,02	<b>0,01</b>	0,01	0,01	0,00	<b>0,01</b>
125	0,01	0,02	0,02	<b>0,01</b>	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
160	0,01	0,02	0,02	<b>0,01</b>	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
200	0,02	0,03	0,06	<b>0,03</b>	0,02	0,02	0,02	<b>0,02</b>
250	0,04	0,04	0,05	<b>0,04</b>	0,02	0,03	0,02	<b>0,02</b>
315	0,05	0,05	0,05	<b>0,05</b>	0,03	0,02	0,03	<b>0,03</b>
400	0,07	0,08	0,06	<b>0,07</b>	0,03	0,04	0,03	<b>0,04</b>
500	0,10	0,14	0,08	<b>0,12</b>	0,05	0,06	0,01	<b>0,06</b>
630	0,12	0,16	0,07	<b>0,14</b>	0,06	0,07	0,05	<b>0,06</b>
800	0,14	0,15	0,14	<b>0,14</b>	0,07	0,05	0,05	<b>0,06</b>
1000	0,14	0,17	0,10	<b>0,15</b>	0,07	0,06	0,04	<b>0,07</b>
1250	0,14	0,16	0,16	<b>0,15</b>	0,07	0,06	0,09	<b>0,07</b>
1600	0,17	0,16	0,16	<b>0,17</b>	0,09	0,05	0,07	<b>0,08</b>
2000	0,16	0,17	0,18	<b>0,17</b>	0,06	0,06	0,04	<b>0,06</b>
2500	0,20	0,20	0,26	<b>0,20</b>	0,09	0,07	0,03	<b>0,08</b>
3150	0,24	0,23	0,34	<b>0,24</b>	0,09	0,06	0,16	<b>0,08</b>
4000	0,21	0,24	0,38	<b>0,22</b>	0,11	0,08	0,06	<b>0,10</b>
5000	0,16	0,18	0,22	<b>0,17</b>	0,06	0,05	0,09	<b>0,06</b>
6300	0,13	0,15	0,20	<b>0,14</b>	0,07	0,04	0,10	<b>0,06</b>
8000	0,14	0,17	0,23	<b>0,15</b>	0,06	0,04	0,12	<b>0,06</b>
10000	0,21	0,21	0,44	<b>0,21</b>	0,09	0,08	0,27	<b>0,08</b>

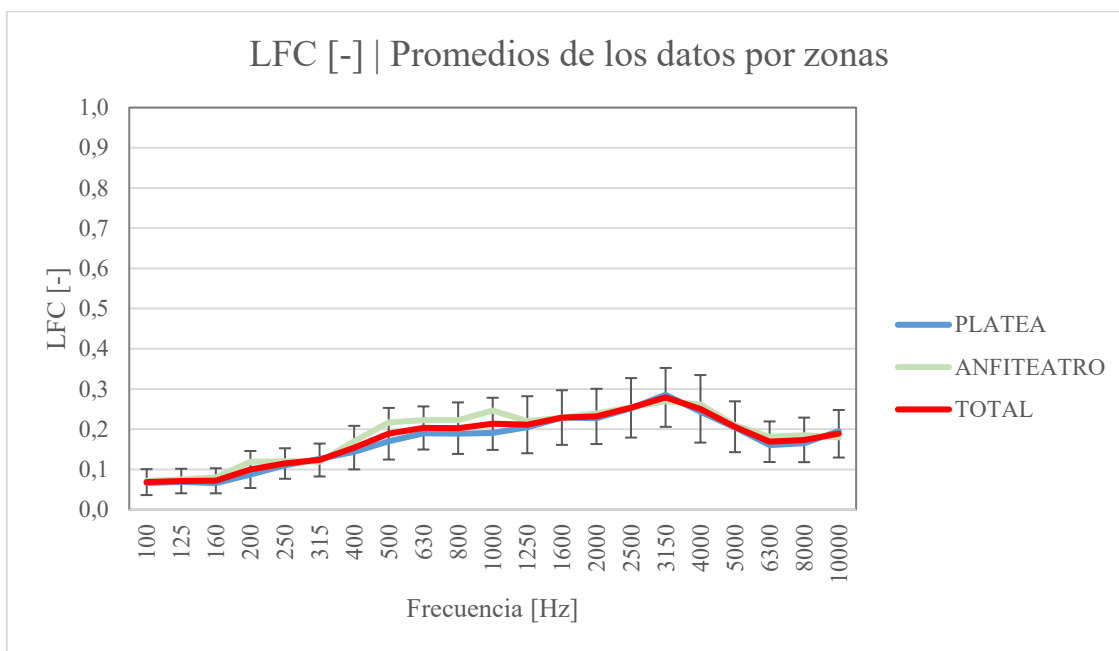


Figura 41. LFC medido por zonas

Tabla 22. LFC medido por zonas

LFC [-]   Promedio de los datos por zonas					LFC [-]   Desviación de los datos por zonas			
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
100	0,07	0,07	0,06	<b>0,07</b>	0,03	0,03	0,02	<b>0,03</b>
125	0,07	0,08	0,07	<b>0,07</b>	0,03	0,03	0,02	<b>0,03</b>
160	0,07	0,08	0,08	<b>0,07</b>	0,03	0,03	0,01	<b>0,03</b>
200	0,09	0,12	0,12	<b>0,10</b>	0,04	0,05	0,03	<b>0,05</b>
250	0,11	0,12	0,09	<b>0,11</b>	0,04	0,04	0,06	<b>0,04</b>
315	0,13	0,12	0,08	<b>0,12</b>	0,05	0,03	0,05	<b>0,04</b>
400	0,14	0,17	0,07	<b>0,15</b>	0,05	0,06	0,04	<b>0,05</b>
500	0,17	0,22	0,13	<b>0,19</b>	0,06	0,06	0,02	<b>0,06</b>
630	0,19	0,22	0,09	<b>0,20</b>	0,05	0,05	0,06	<b>0,05</b>
800	0,19	0,22	0,15	<b>0,20</b>	0,07	0,06	0,05	<b>0,06</b>
1000	0,19	0,25	0,11	<b>0,21</b>	0,07	0,04	0,04	<b>0,06</b>
1250	0,21	0,22	0,15	<b>0,21</b>	0,08	0,06	0,07	<b>0,07</b>
1600	0,23	0,23	0,16	<b>0,23</b>	0,08	0,05	0,06	<b>0,07</b>
2000	0,23	0,24	0,16	<b>0,23</b>	0,07	0,07	0,04	<b>0,07</b>
2500	0,25	0,25	0,22	<b>0,25</b>	0,08	0,07	0,04	<b>0,07</b>
3150	0,29	0,27	0,27	<b>0,28</b>	0,08	0,06	0,10	<b>0,07</b>
4000	0,24	0,26	0,25	<b>0,25</b>	0,09	0,07	0,01	<b>0,08</b>
5000	0,20	0,21	0,17	<b>0,21</b>	0,07	0,05	0,07	<b>0,06</b>
6300	0,16	0,18	0,15	<b>0,17</b>	0,06	0,03	0,08	<b>0,05</b>
8000	0,17	0,19	0,17	<b>0,17</b>	0,06	0,04	0,09	<b>0,06</b>
10000	0,20	0,18	0,24	<b>0,19</b>	0,06	0,06	0,14	<b>0,06</b>

- **Parámetros de inteligibilidad:**

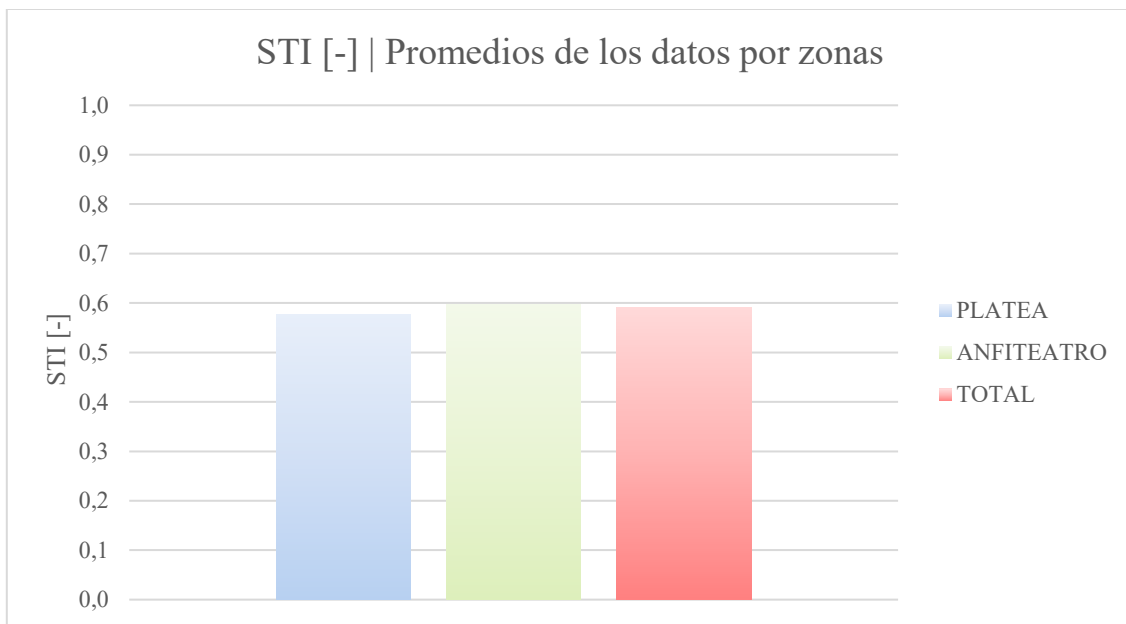


Figura 42. STI medido por zonas

Tabla 23. STI medido por zonas

STI [-]   Promedio de los datos por zonas				STI [-]   Desviación de los datos por zonas			
PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
0,58	0,60	0,71	<b>0,59</b>	0,02	0,03	0,03	<b>0,04</b>

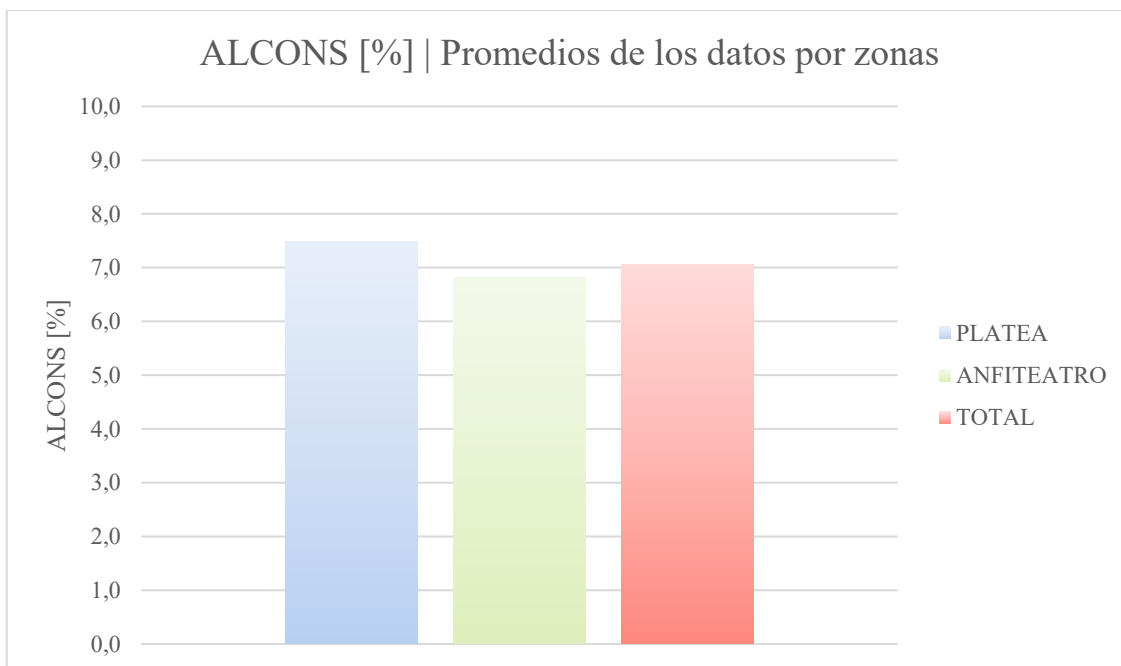


Figura 43. ALCONS medido por zonas

Tabla 24. ALCONS medido por zonas

ALCONS [%]   Promedio de los datos por zonas				ALCONS [%]   Desviación de los datos por zonas			
PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	ESCENARIO	TOTAL
7,49	6,82	3,63	<b>7,06</b>	0,82	0,93	0,92	<b>1,19</b>

En general, ambas zonas de audiencia se comportan de forma similar para todos los parámetros. Las máximas diferencias se aprecian en los parámetros energéticos y en torno a 250 Hz.

Con los datos analizados se pueden extraer diversas conclusiones:

- Comparando el TR con EDT se observa un comportamiento de la sala bastante neutro, no llegando a ser seca pero tampoco viva.
- Se tiene un tiempo de reverberación de 1.2 s – 1.4 s hasta unos 2000 Hz. Es algo superior a lo que acostumbran los teatros en general, pero teniendo en cuenta su versatilidad es normal ya que busca un equilibrio con actividades cuyo TR ideal sea superior.
- La sala goza de una buena inteligibilidad.

Realmente estas medidas in-situ se utilizan para **validar** el modelo, quedando en segundo plano el estudio de la mala o buena acústica que pueda tener el recinto.

## 6. CREACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

Para poder trabajar con el software de simulación acústica es necesario construir virtualmente el Teatro Carrión. Debido a la alta complejidad que supone construir directamente en EASE el recinto, se divide esta tarea en dos bloques previos.

El modelo geométrico tiene como objetivo final servir de recinto de simulación acústica. Tiene una serie de limitaciones y especificaciones que se resaltan a continuación.

En primer lugar, se realizan simplificaciones correspondientes a criterios acústicos. Todos los elementos pequeños como adornos, columnas o focos (por ejemplo) no se representan debido a que la influencia acústica que tienen es prácticamente imperceptible. Se establece un límite máximo de dimensión de los elementos de unos 40 cm, por debajo del cual se trata de no representar.

En segundo lugar, los materiales utilizados son aproximaciones de los reales. Se intenta que las características de absorción sean lo más semejantes posible a los materiales presentes en la sala.

Conviene enfatizar que por los motivos anteriores los resultados tendrán diferencias entre lo medido y lo simulado, pero se tratará de aproximar todo lo que sea posible.

### 6.1. PLANOS DE AUTOCAD

Se inicia la creación del modelo partiendo de los planos facilitados por la empresa gestora del teatro, disponibles en la figura 44. A partir de ellos se simplifican y se modifican hasta tener la representación que se exporta a Sketch-Up. También se disponen de los planos de la figura 5, complementando los anteriores.

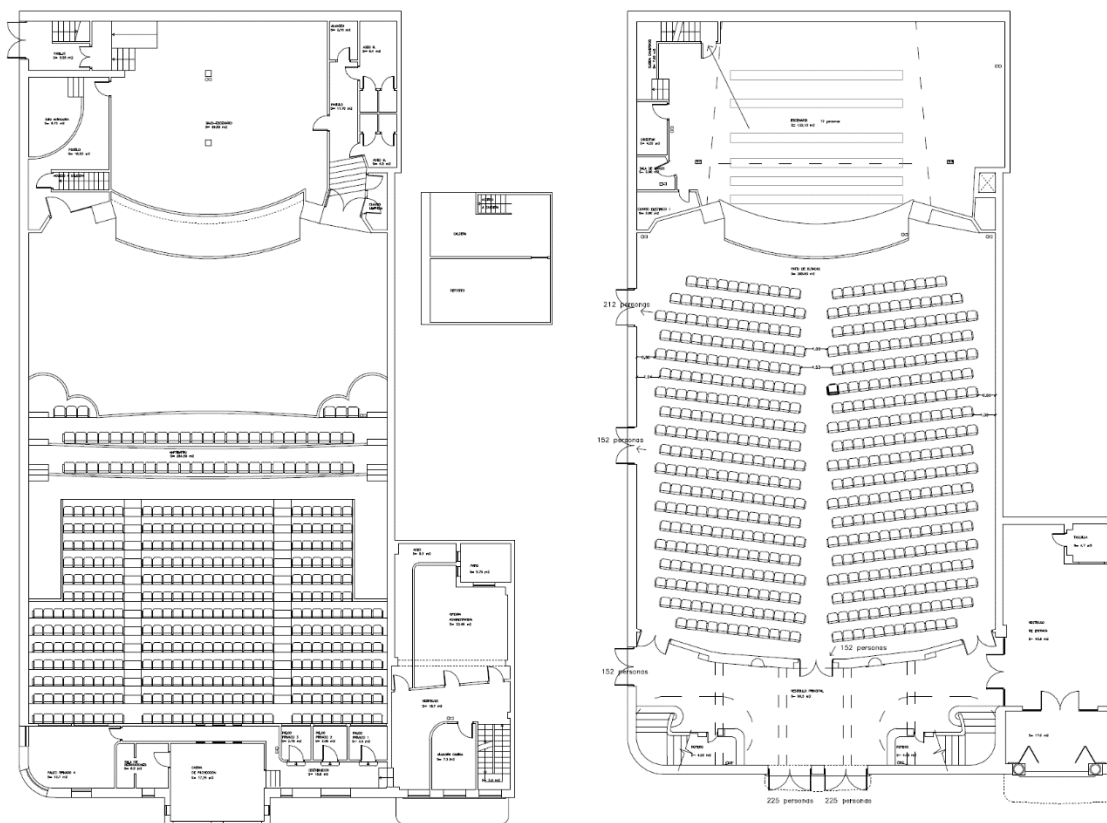


Figura 44. Planos del Teatro Carrión <sup>6</sup>

<sup>6</sup> Imagen extraída de: Archivos de la empresa gestora del teatro: Diffusio ARtes Escenicas, S.L.U.

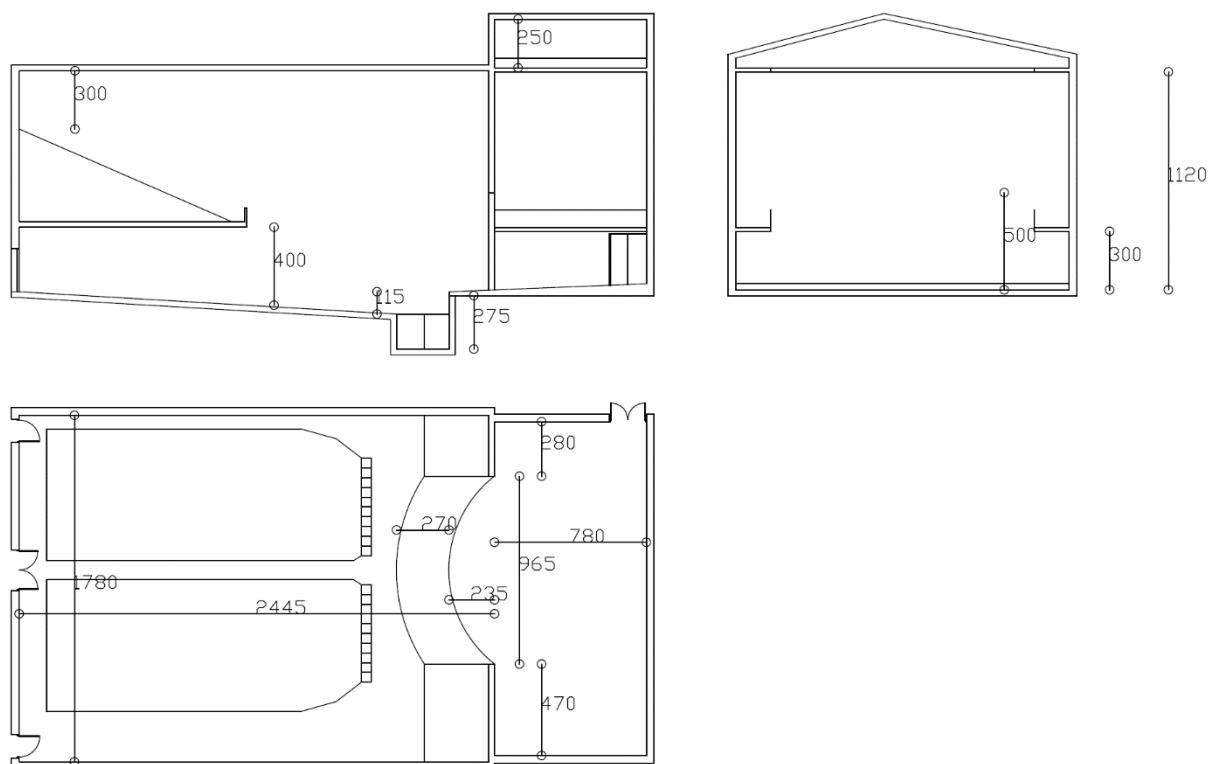


Figura 45. Planos adicionales del Teatro Carrión <sup>7</sup>

Después de depurar el plano eliminando salas adjuntas, elementos externos a la zona de audiencia, butacas, puertas, y otros, se obtienen los planos de la parte estrictamente estructural. Llegados a este punto se ha de contrastar que las medidas arquitectónicas que se llevaron a cabo en el teatro coinciden con los planos que se tienen.

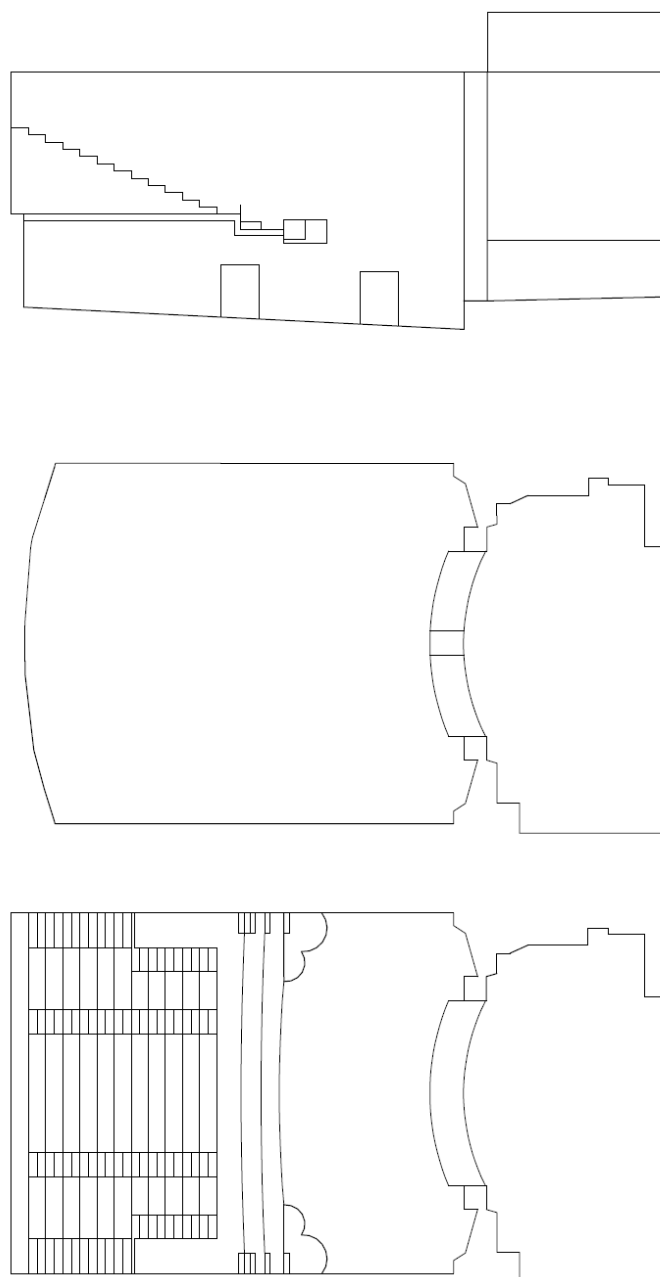
Los planos en algunos aspectos no coinciden con la realidad, con lo que se realizan una serie de modificaciones para que se asemejen.

- Modificación de la forma de los palcos, más ovalada a lo representado.
- Modificación del antepecho, invirtiendo la concavidad y pronunciando la curvatura.
- Eliminación de butacas en el anfiteatro y construcción de dos pasillos laterales en sustitución.
- Modificación de la boca y laterales del escenario, representando con exactitud lo que realmente hay construido.
- Ligero cambio en la distancia longitudinal de la sala.

Además, y como nuevas creaciones, se construye la base de lo que representará a la lámpara central así como la estructura de arcos que servirá de guía para la composición de la parte superior de la boca del escenario.

No se pretende llegar a realizar planos exactos de la sala, sino una base estructural que pueda ser exportada a Sketch-Up para configurar la sala en tres dimensiones. De hecho, numerosos elementos no son incluidos en los planos de forma intencionada, y se levantarán después en el software de simulación 3D. Adornos significativos, puertas, butacas, cabinas, escaleras y otros, son construidos directamente en Sketch-Up como se verá más adelante. Se aporta la figura 46, que contiene los planos simplificados y exportados en un inicio.

<sup>7</sup> Imagen extraída de: <https://www.proyectomire.org/web/datosrecinto.php?id=290&d=p>



*Figura 46. Planos simplificados exportados a Sketch-Up. Producción propia.*

## **6.2. CONSTRUCCIÓN EN SKETCH-UP**

Los planos en dos dimensiones de la figura 47 se exportan a Sketch-Up para proceder con el levantamiento en tres dimensiones. Se utiliza de base la planta y el perfil de la sala, colocando la segunda vista en el eje de simetría de la primera.

Durante todo el proceso de modelado se irán haciendo pequeñas mejoras, correcciones o modificaciones que surgen en el momento con el fin de depurar el diseño. Estos cambios se ven incluidos en las imágenes que se presentan para representar el avance del teatro.

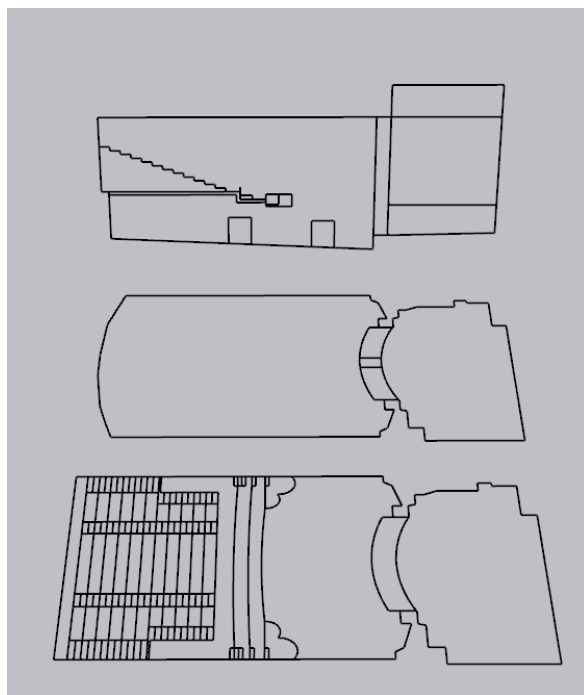


Figura 47. Planos exportados girados en Sketch-Up

Desde este momento se comienza con la construcción, yendo de abajo hacia arriba. La tarea principal de la primera fase es cimentar los suelos inclinados de la sala y escenario y creación del foso. Se observa en la figura 48 que la parte trasera inferior es curva, y para su representación se divide en 7 segmentos, coincidiendo 3 de ellos con las puertas traseras. Cuando se termina de configurar el suelo y las paredes, se intersecan para eliminar las superficies exteriores sobrantes y se extruye el foso hacia abajo.

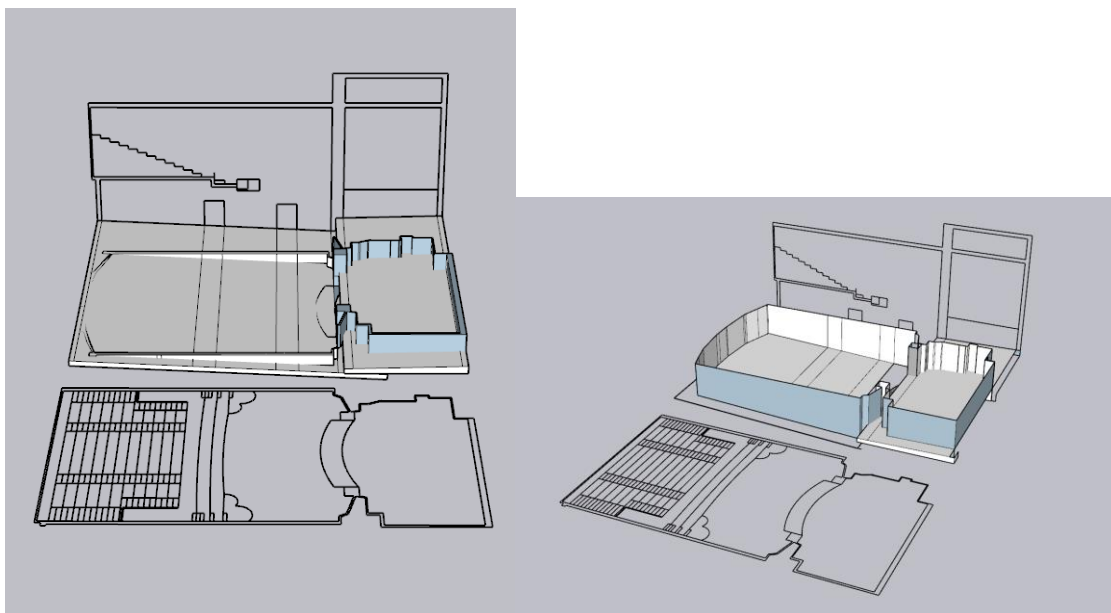
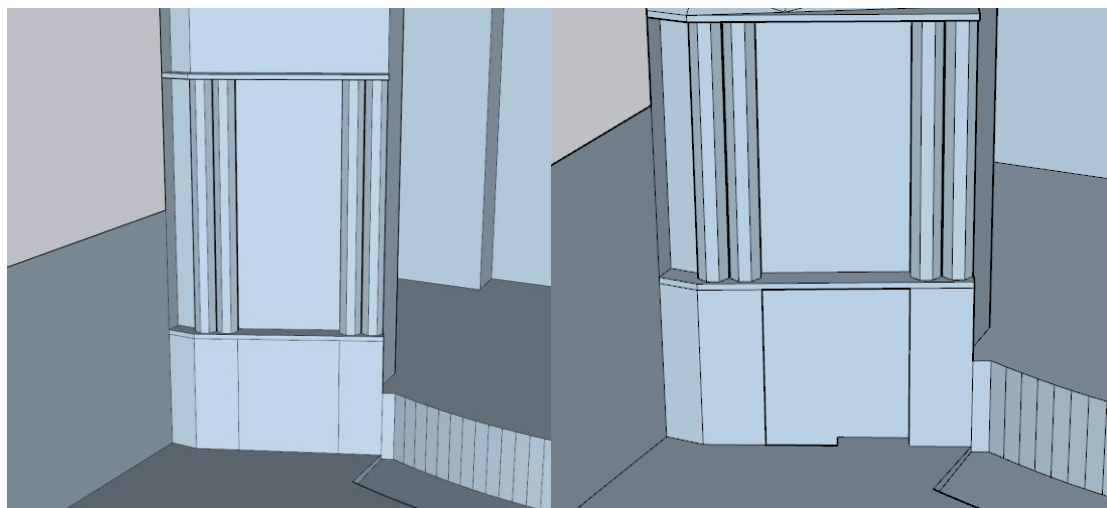


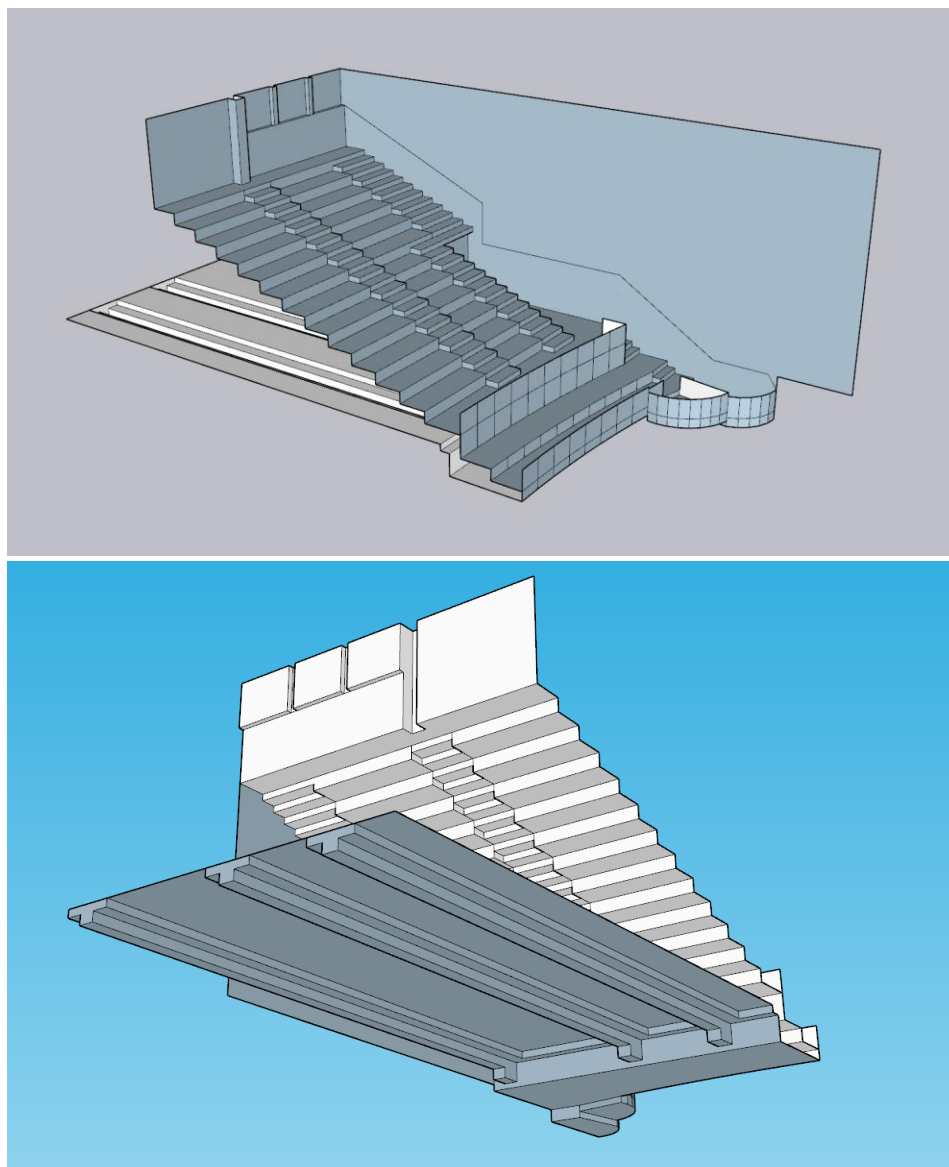
Figura 48. Construcción del suelo de platea y escenario y levantamiento de paredes

Cuando la parte inferior queda encarada, se modifican los laterales de la boca del escenario con respecto a lo que se exportó modificando directamente en Sketch-Up. Para ello, se hace uso de la herramienta de creación de polígonos, creando las columnas octogonales que se apoyan en dos superficies entre el arco y la puerta inferior. Se completa con detalles menores como la creación de la puerta y su escalón. Las modificaciones se pueden observar en la figura 49.



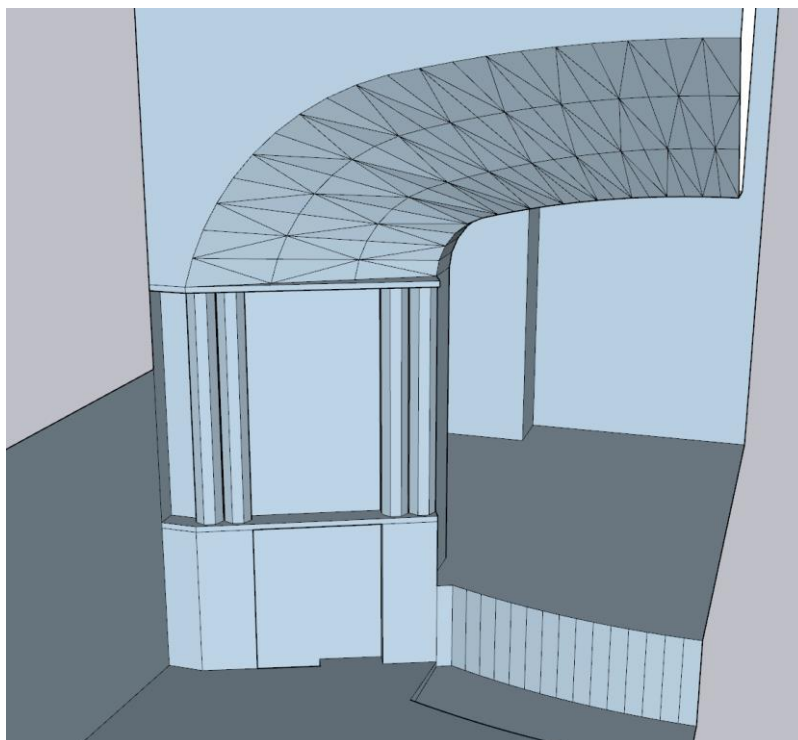
*Figura 49. Construcción de los laterales de la boca del escenario*

Seguidamente, se comienza a levantar la planta superior, delimitando todas las terrazas. Se corrige en este punto la modificación relativa al antepecho y palcos del anfiteatro. Para trabajar cómodamente, debido a que la caja escénica es el único elemento no simétrico de la sala, se opera solo con un lateral del recinto. Se crea el forjado del anfiteatro, con las vigas que lo sostienen y las molduras que lo completan. La planta superior y el forjado se pueden observar en la figura 50. Se continúan añadiendo detalles, como las molduras traseras, que con la creación del techo se vuelven a modificar ajustándolas a la realidad.



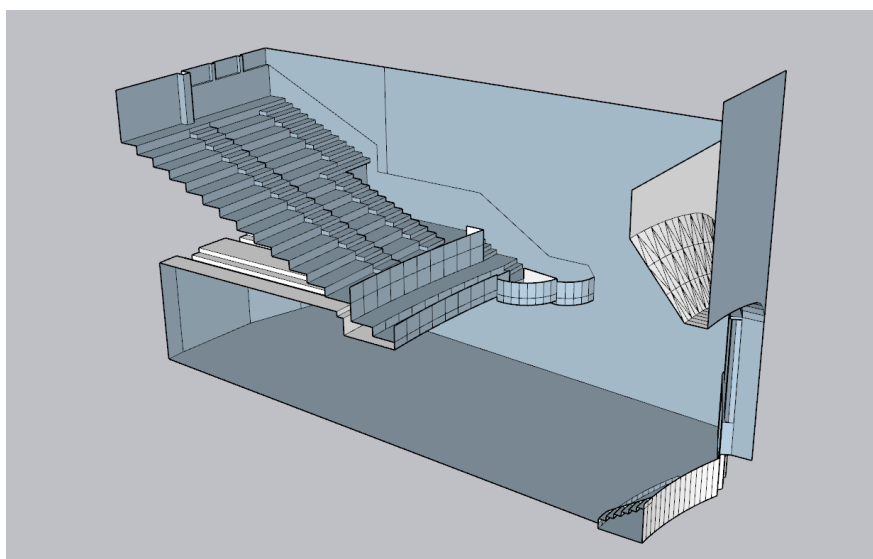
*Figura 50. Construcción del anfiteatro*

Una vez construidas ambas plantas se coloca el arco de la boca del escenario mediante la exportación de un patrón desde AutoCAD, como se señaló anteriormente (figura 51). No es una semicircunferencia, si no que el aplanamiento que sufre en la parte superior hace que el arco se tenga que constituir con la unión de 3 circunferencias. Al colocarlo en Sketch-Up los arcos se separan la misma distancia en el eje Y. Los arcos están segmentados en la misma cantidad de fracciones, y se une cada una con la fracción del arco que le precede. Para acabar, se da la altura pertinente para posteriormente unificarlo con el techo. Debido a que los adornos con los que cuenta son de tamaño reducido y complicados de representar, se dotará a estas superficies de difusión, para que su comportamiento acústico sea lo más parecido a la realidad. De igual modo, se hará con otras estructuras detalladas más adelante.



*Figura 51. Construcción del arco del escenario*

El siguiente cometido es la unificación de ambas alturas del teatro. Para ello, se toma de referencia la boca del escenario, y se retrasa la parte superior haciendo coincidir las mediciones realizadas en el teatro, tanto de altura como de fondo. Al igual que se hizo la intersección de suelos, se realiza lo mismo para el forjado del anfiteatro. Como se observa en la figura 52 la profundidad del anfiteatro es mayor que la platea. La parte exterior a la platea que queda debajo de las últimas filas del anfiteatro corresponde con el vestíbulo principal del teatro.



*Figura 52. Unión de ambos pisos de la zona de audiencia*

Después se da paso a la construcción del techo. La realización de la lámpara central se puede hacer en Sketch-Up mediante la herramienta de dibujo de circunferencias o polígonos. No obstante, se utilizan las guías creadas en AutoCAD y ya en Sketch-Up se moldean las superficies que se adentran en la sala, como vigas o molduras de techo. Por ausencia de medidas exactas, se realiza en base a proporciones y a partir de longitudes conocidas de otros elementos. Debido a la irregularidad de los elementos, también se le añadirá difusión. En las figuras 53 y 54 se observa la creación de la lámpara y la composición completa del techo.

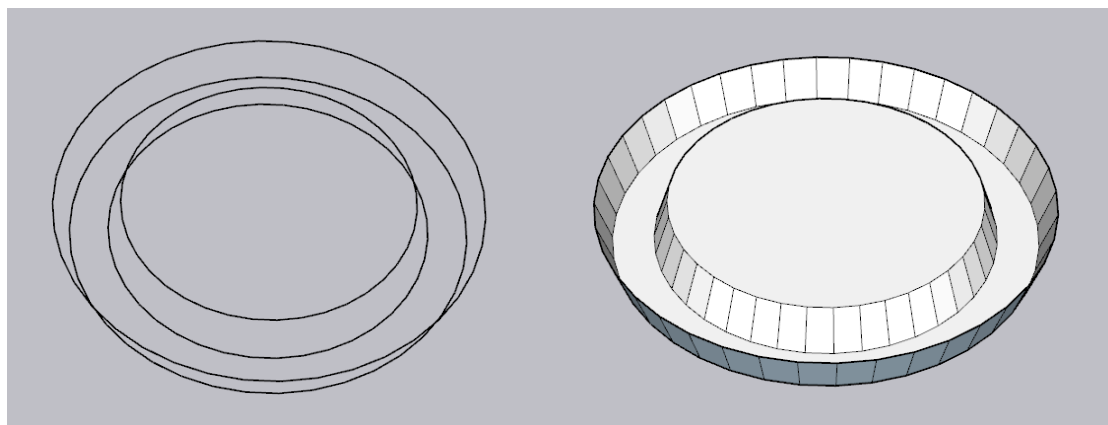


Figura 53 Construcción de la lámpara central

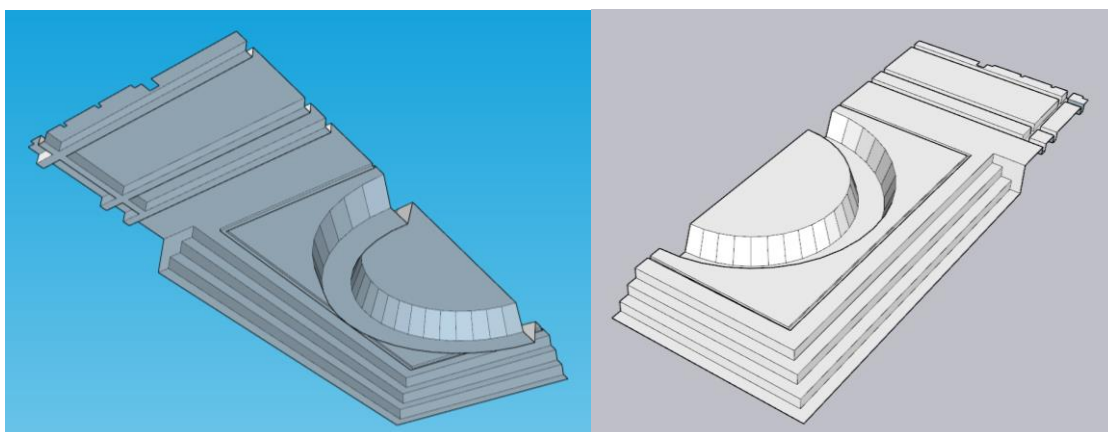


Figura 54. Construcción del techo

Toda la estructura principal del teatro a estas alturas está terminada. Los últimos pasos se refieren a la colocación de adornos, cabina de control, butacas, sillas, barandillas, cortinas, ventana de proyección, puertas o escalera de escenario entre otros. Estos elementos se representan en las figuras 55 a 57. Cabe señalar en este punto que EASE no admite volúmenes dentro de otro volumen (la sala), con lo que para la creación de estos pequeños elementos hay que cuidar que no formen volúmenes cerrados. Por ejemplo, las butacas se crean con prismas rectangulares que carecen de la cara inferior.

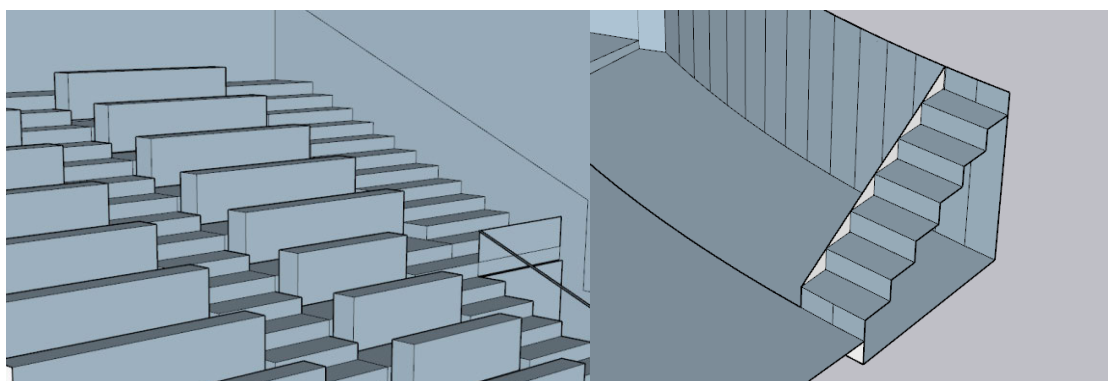
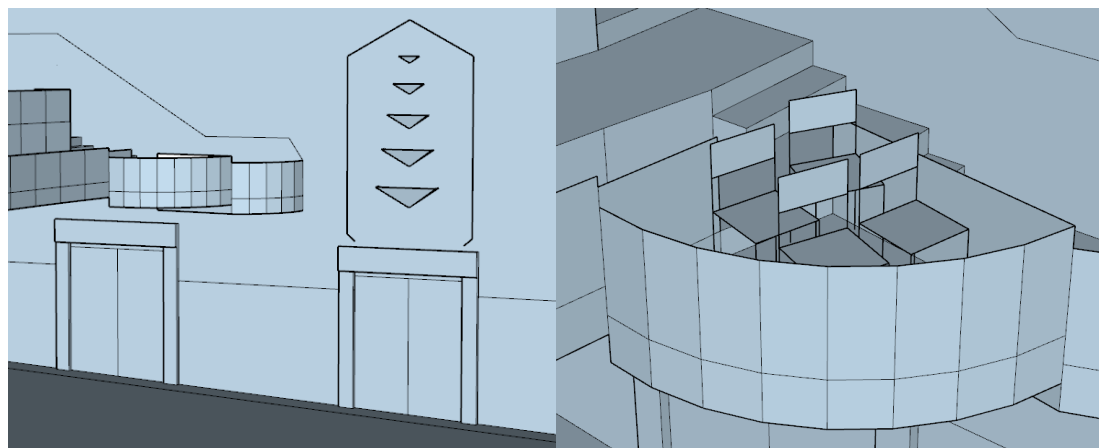
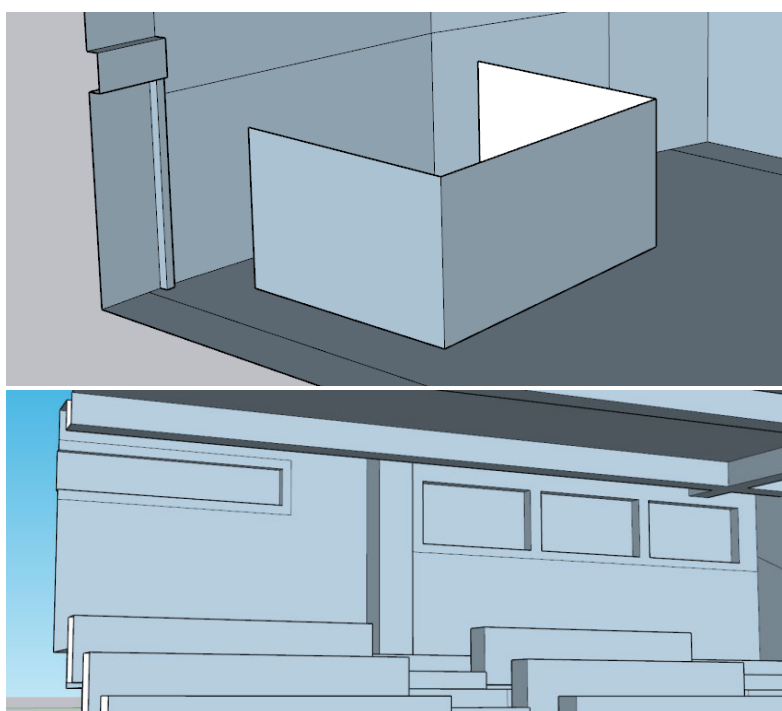


Figura 55. Construcción de elementos pequeños: Butacas y escalera del escenario



*Figura 56. Construcción de elementos pequeños: Lámparas, puertas y sillas*



*Figura 57. Construcción de elementos pequeños: Cabinas de sonido y proyección*

Se separan las caras de los elementos por capas en función del comportamiento acústico que se considere que van a tener en la sala, para posteriormente, (en EASE) asignar un material a cada capa. Hay elementos que a diferencia del suelo o paredes son de doble cara, como barandillas o butacas. Es decir, que los rayos sonoros pueden impactar en ambas superficies de la cara. Estas caras se configuran como doble cara en EASE, para que se le asigne material a ambos lados. A cada una de estas capas, se le dota de un color (parecido a la realidad) para hacer el modelo geométrico lo más realista posible. La organización final se muestra en la figura 58.

👁	AdornoColumnas	🟡
👁	Adornos \$ Adornos	🟡
👁	Alfombras	🔴
👁	ArcoDifusionCuadrada	🟡
👁	ArcoDifusiónCircular	🟡
👁	ArcoDifusiónLineal	🟡
👁	BarandillaAntepecho \$ B...	🟡
👁	BarandillaAntepechoSup...	🔴
👁	BarandillaFoso \$ Barandi...	🟤
👁	BarandillaPasamanos \$ ...	🟤
👁	Butacas \$ 01	🔴

Figura 58. Organización de capas y código de color

Se recuerda como último paso la realización de la simetría, (figura 59) con la que se genera el recinto completo y la unión de la caja escénica al resto del modelo, terminando de cerrarlo por completo.

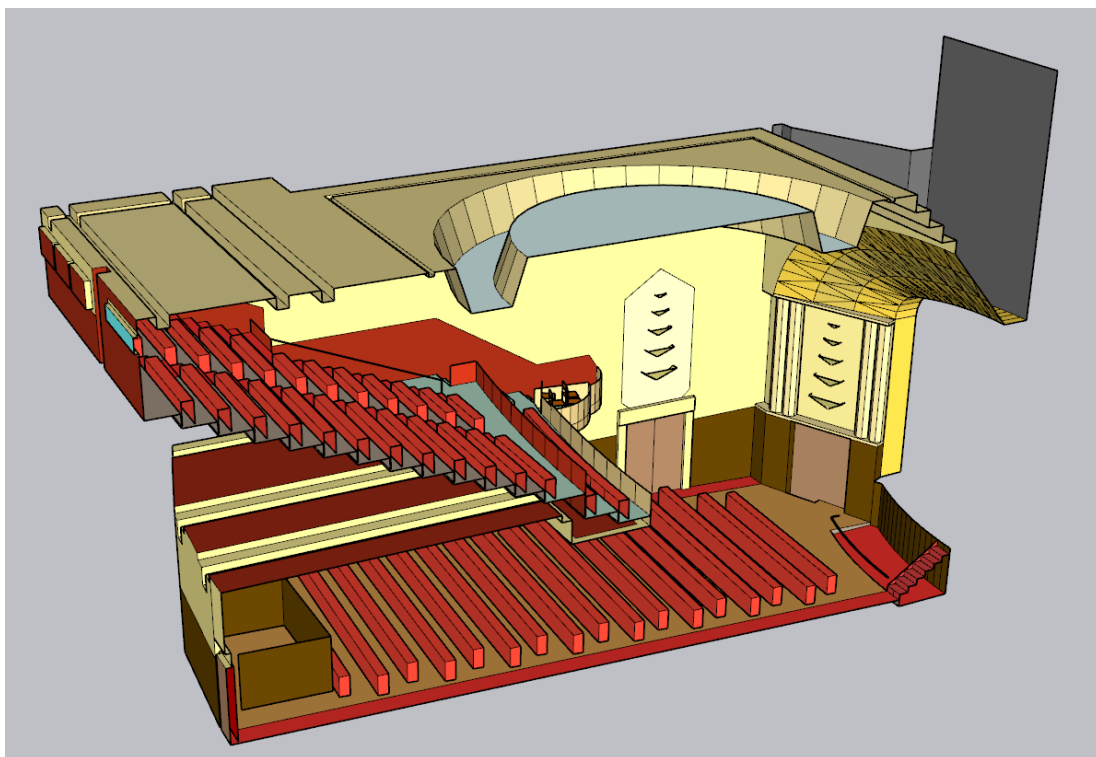
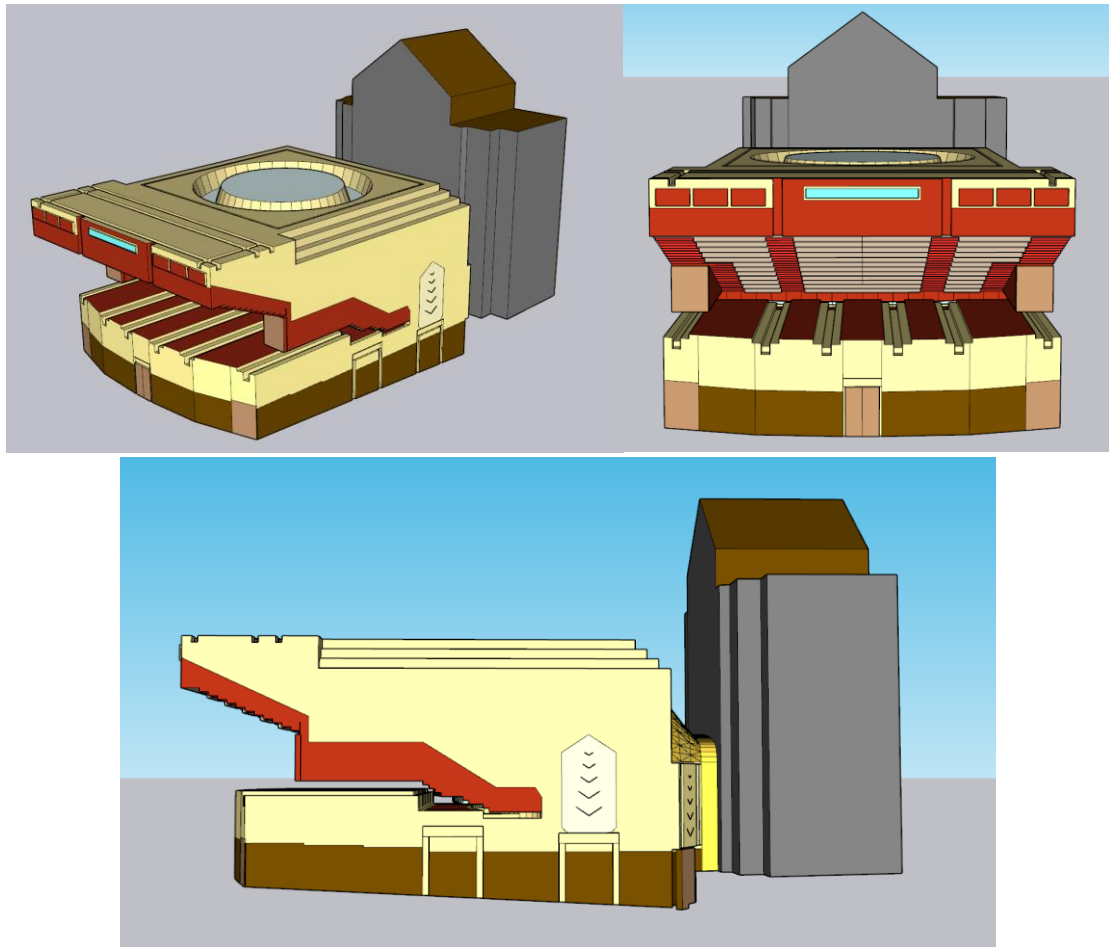
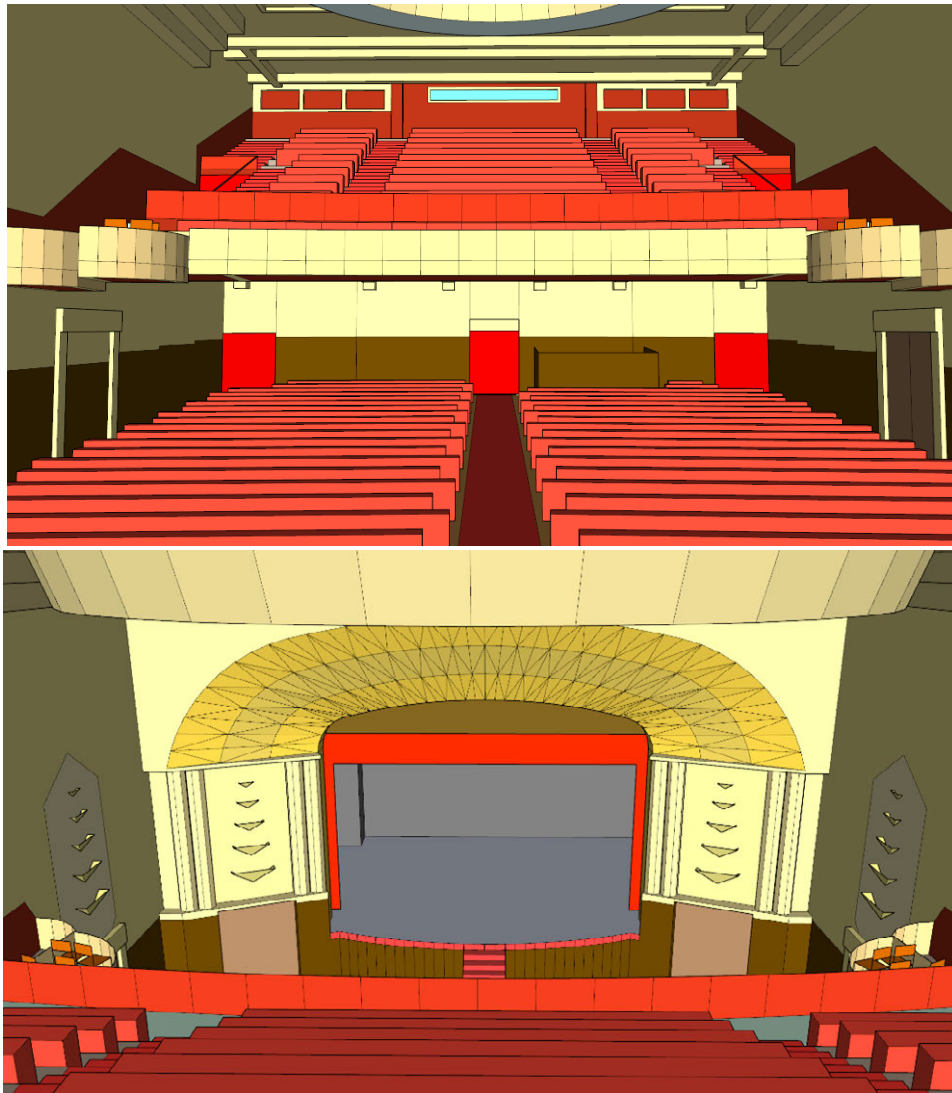


Figura 59. Recinto listo para ser duplicado

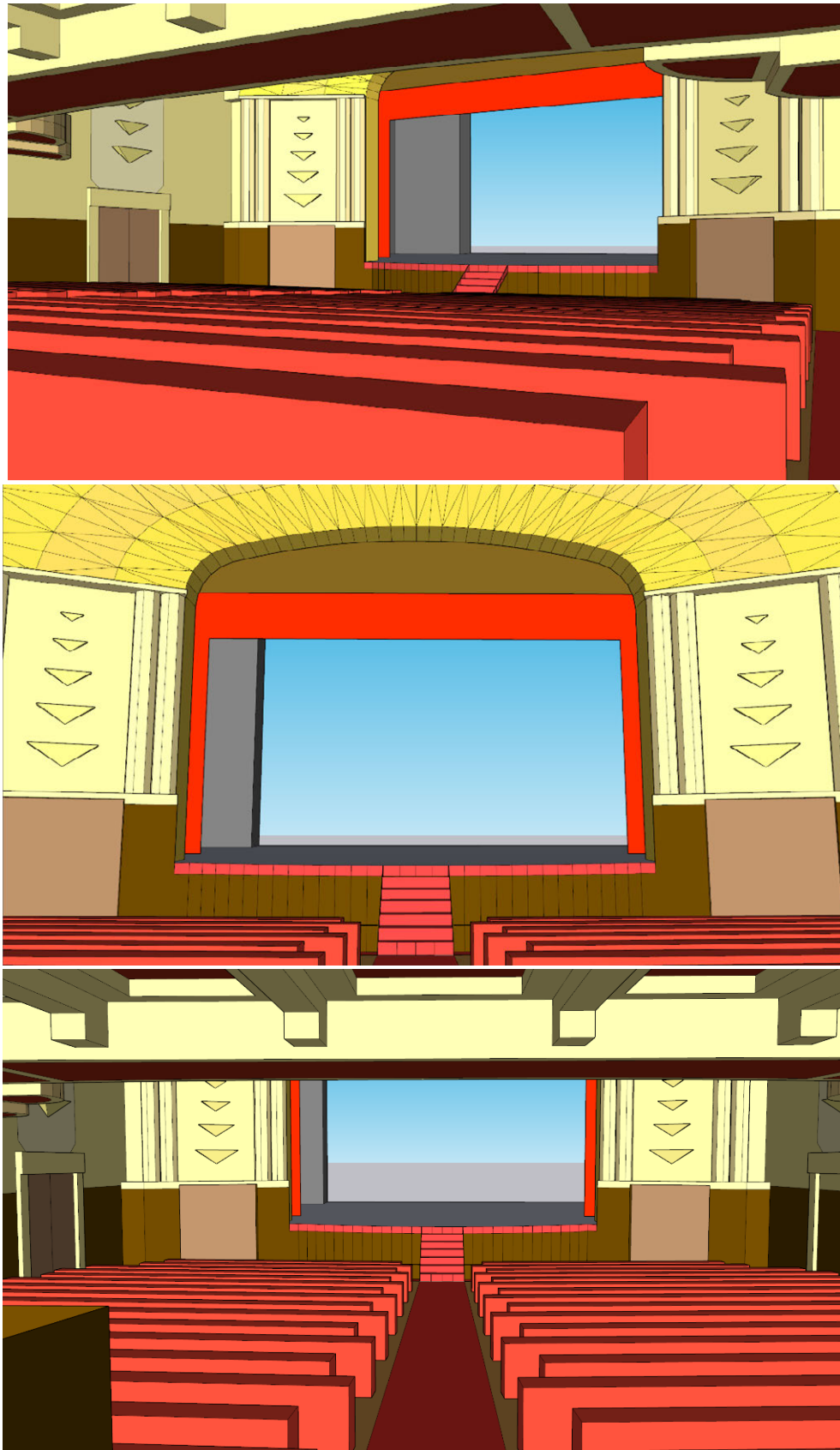
Antes de realizar la exportación se verifica que no haya agujeros en la sala, es decir, que sea un volumen completamente cerrado. Por último se tiene especial cuidado en que las superficies mantengan la correcta orientación, (color azul de la cara dentro del recinto) ya que EASE distingue la misma y detecta una sala como abierta si una cara está girada incorrectamente. Se presenta en las figuras 60 a 64 el modelo geométrico final listo para su exportación.



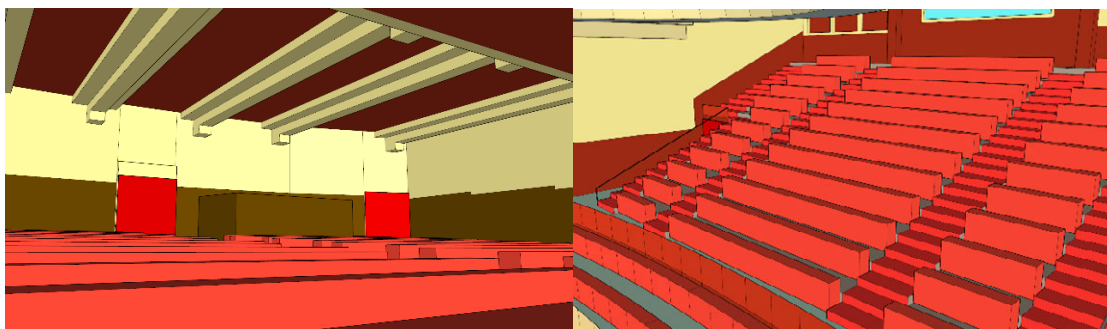
*Figura 60. Estructura exterior del modelo geométrico*



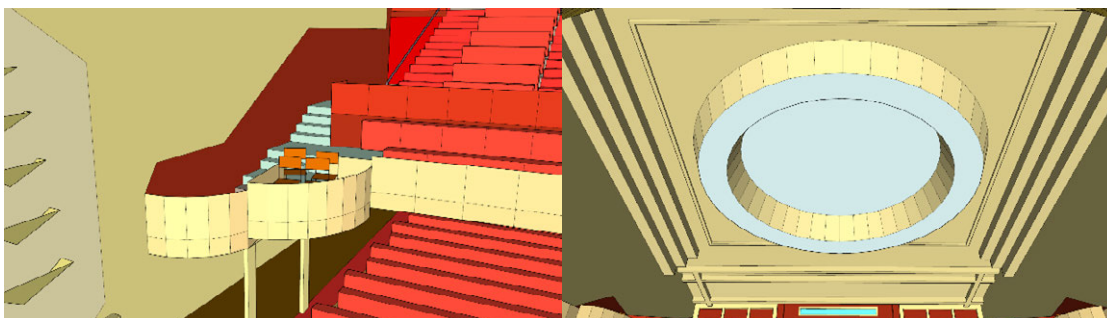
*Figura 61. Vista Global desde el escenario (superior) y desde el anfiteatro (inferior)*



*Figura 62. Vistas desde la platea al escenario*



*Figura 63. Anfiteatro y su forjado*



*Figura 64. Palcos y techo*

Por último, se presentan en las figuras 65 a 68 una comparación general entre el modelo geométrico y la realidad apreciando la similitud entre ambos.



*Figura 65. Comparación realidad - modelo geométrico I*



*Figura 66. Comparación realidad - modelo geométrico II*



Figura 67. Comparación realidad - modelo geométrico III

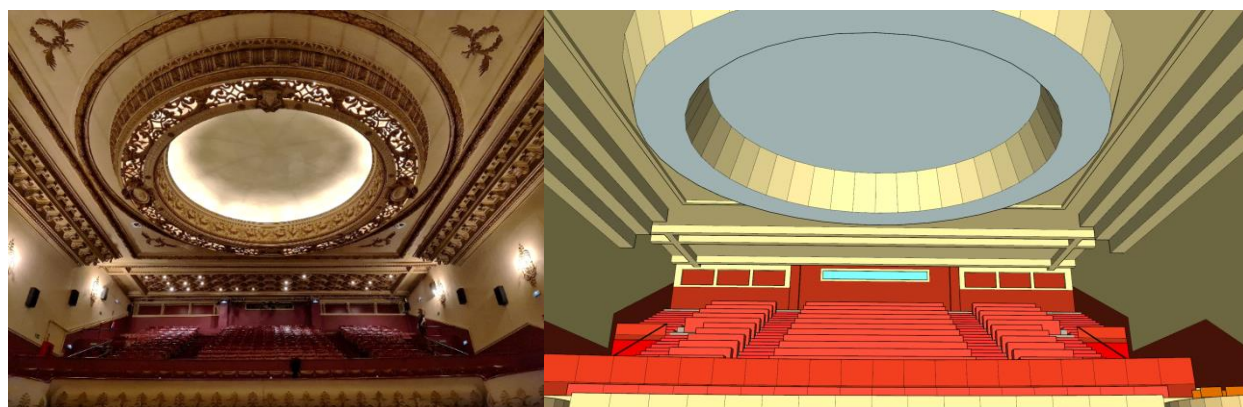


Figura 68. Comparación realidad - modelo geométrico IV

### 6.3. EXPORTACIÓN A EASE

El último paso previo para conseguir el recinto operativo el EASE es su exportación y configuración inicial. Una vez se ha verificado que el recinto en Sketch-Up está depurado y no tiene agujeros mediante la herramienta *Edge Tools* se exporta a EASE, quedando como en la figura 69.

Cuando se carga el archivo (ha de ser versión 7) se deben asignar los materiales del recinto. Aprovechando que se establecieron capas por cada elemento en el diseño del modelo, se dota a cada capa de un material. No son los materiales definitivos del recinto, sino que al validar el modelo se hace el ajuste pertinente. Los materiales inicialmente establecidos se observan en la figura 70. Se seleccionan de un repertorio de materiales que han sido creados teniendo en cuenta la absorción de materiales reales.

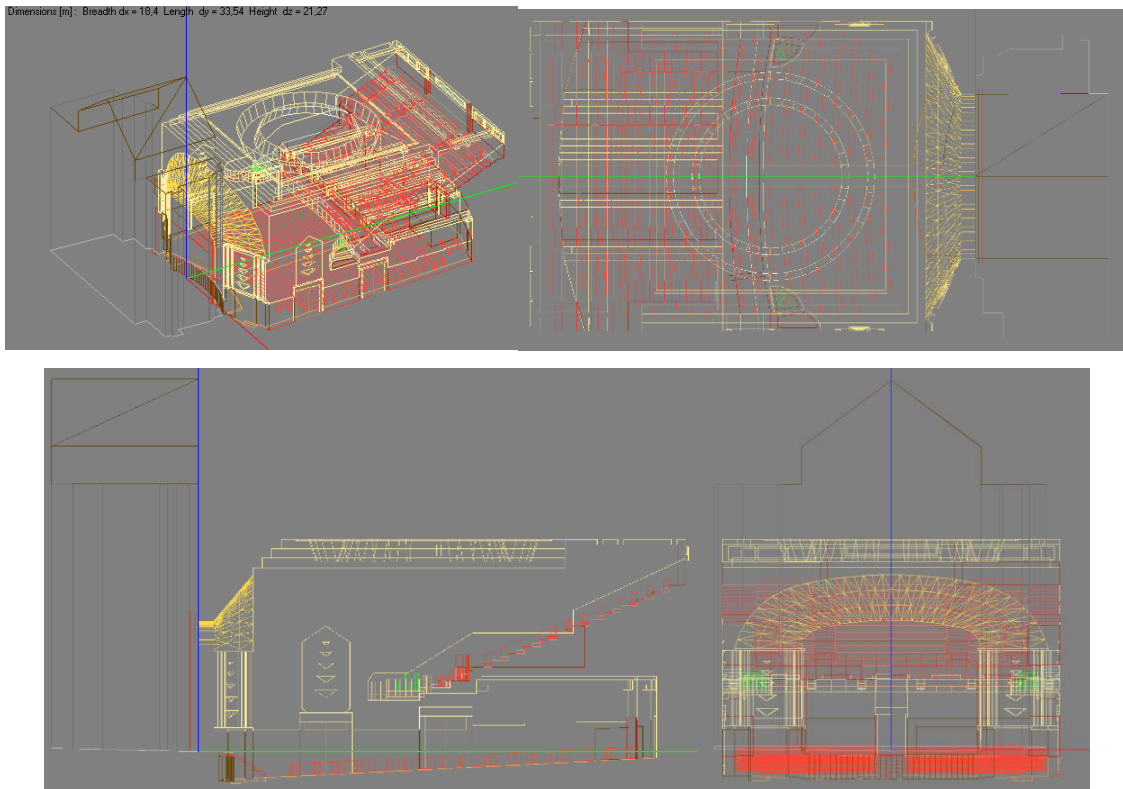


Figura 69. Vistas del modelo geométrico en EASE

Required Wall Materials	
Import Layer Name	Assigned EASE Material
01	001 à = 10%
AdornoColumnas	271 placa escayola sobre ladrillo
Adornos	274 Placa de Yeso
Alfombras	120 moqueta CARPT COMM, Full
ArcoDifusionCuadrada	271 placa escayola sobre ladrillo
ArcoDifusionCircular	271 placa escayola sobre ladrillo
ArcoDifusionLineal	271 placa escayola sobre ladrillo
BarandillaAntepecho	270 placa escayola GYPBRD 1_2, Full
BarandillaAntepechoSuperior	063 Revoque de cemento
BarandillaFoso	182 Revestimiento de madera ligero
BarandillaPasamanos	310 barandilla metálica
BocaEscenario	120 moqueta CARPT COMM, Full
Butacas	091 Butaca tapizada terciopelo
Cabina	1855 Contrachapado de madera
Cortinas	154 Cortina Terciopelo Ligera
CristalCabina	360 ventana cristal doble Glass, Window, Double Strength, Generic,
CristalLámpara	332 Metacrilato
CristalLámparaDifusion	332 Metacrilato
EscaleraEscenario	120 moqueta CARPT COMM, Full
ForjadoAntepecho	063 Revoque de cemento
ForjadoBeige	063 Revoque de cemento
ForjadoRojo	063 Revoque de cemento
Layer0	-
MarcoPuertas	271 placa escayola sobre ladrillo
ParedEscenario	062 Concrete, Smooth Finish, Generic
ParedLadrilloBeige	061 Concrete or Cinder Block, Painted, Generic
ParedLadrilloBlanco	061 Concrete or Cinder Block, Painted, Generic
ParedLadrilloRojo	061 Concrete or Cinder Block, Painted, Generic
ParedMadera	180 Revestimiento de madera 1
Puertas	330 Door, Hollow Core, Wood, Generic
SueloAnfiteatroBaldosas	TERRAZZO
SueloAnfiteatroMadera	131 suelo madera tarima
SueloEscenario	195 Plataforma de madera
SueloPlateaMadera	131 suelo madera tarima
TechoEscenario	210 Wood Grid, 90mm x 15mm, on 40cm of Air, Generic
TechoSala	032 250HZ PANEL Resonator, Full
TechoSalaDifusionCuadrada	032 250HZ PANEL Resonator, Full
TechoSalaDifusionLineal	032 250HZ PANEL Resonator, Full
TechoSalaDifusionCircular	032 250HZ PANEL Resonator, Full
TelónInferior	150 Cortina Algodon Media
TelónSuperior	156 Cortina Terciopelo Pesada

Figura 70. Materiales iniciales asignados a cada capa

Pese a haber verificado que no existen huecos ni fallos, se vuelve a comprobar en EASE mediante la herramienta *Check Holes* y reporta un error provocado por la forma de aproximación en las medidas de Sketch-Up. Hace que no coincida una estructura de caras del arco, y se modifica sin alterar en absoluto la geometría del mismo. En la figura 71 se observa el recinto a validar una vez corregido y en la figura 72 el trazado de rayos, evidenciando que la sala está completamente cerrada.

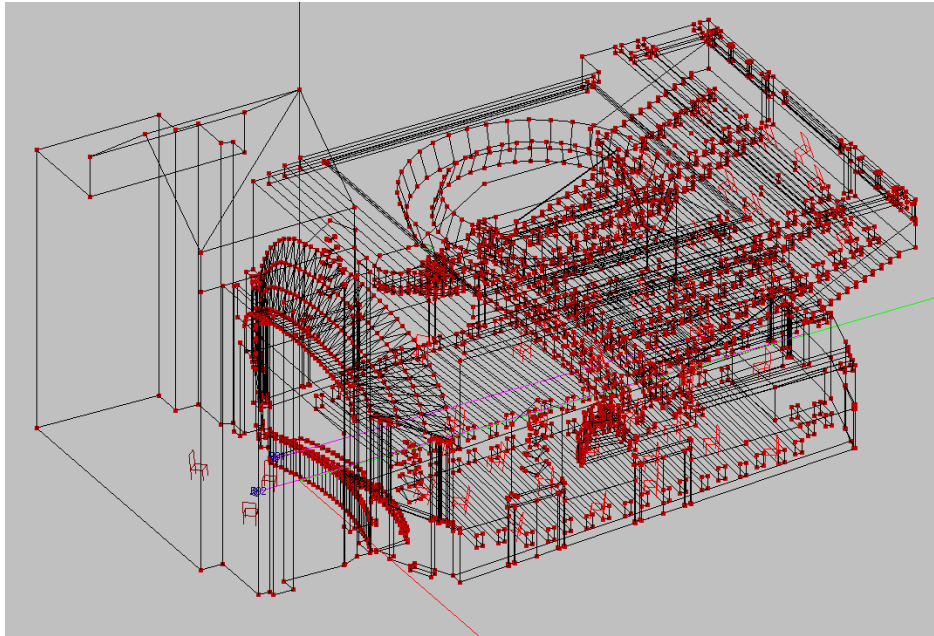


Figura 71. Sala en EASE lista para simular

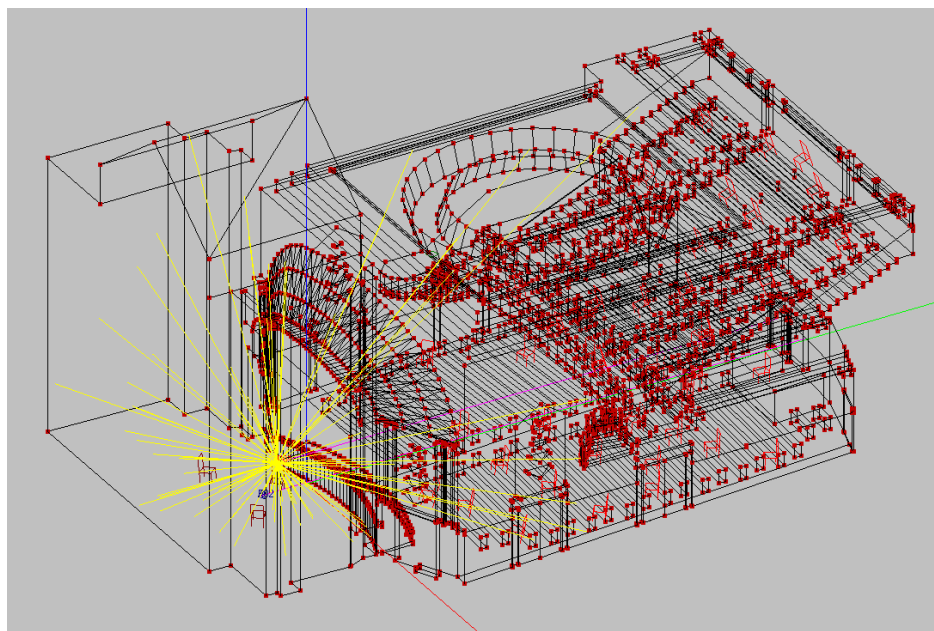


Figura 72. Trazado de rayos en el recinto

Por último se colocan todos los micrófonos y las fuentes de excitación en las mismas posiciones en las que se evaluó la realidad. Se utiliza un tipo de fuente esférica o *Sphere* que simula con atino la fuente dodecaédrica usada. Respecto a los micrófonos se vigila que todos estén en las coordenadas correspondientes y se orientan adecuadamente apuntando hacia la fuente F01.

La sala tiene 6362,53 m<sup>3</sup> de volumen y una superficie total de 6239,62 m<sup>2</sup>

## 7. VALIDACIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO

Después de dejar pulido el modelo, se comienza con la validación. La validación tiene distintas fases y se realiza utilizando los valores promedio de cada parámetro, tanto medidos como simulados. Se pretende medir la distancia, en métrica JND, entre los parámetros medidos in situ en la sala y los parámetros simulados en el modelo geométrico.

### 7.1. AJUSTE DE MATERIALES

Cuando el modelo se exporta a EASE se le asignan los primeros materiales. Como se señaló, la distribución de materiales está representada en la figura 70. Estos materiales no son los más óptimos que se le pueden dar a la sala, solo es una primera aproximación. Se tiene que comprobar cuánto difiere el tiempo de reverberación simulado con respecto al tiempo de reverberación que se midió en la sala. Para compararlos se utiliza la herramienta EASE *Optimize RT*, donde se obtiene la gráfica de la figura 73 y en la que se pueden observar las diferencias.

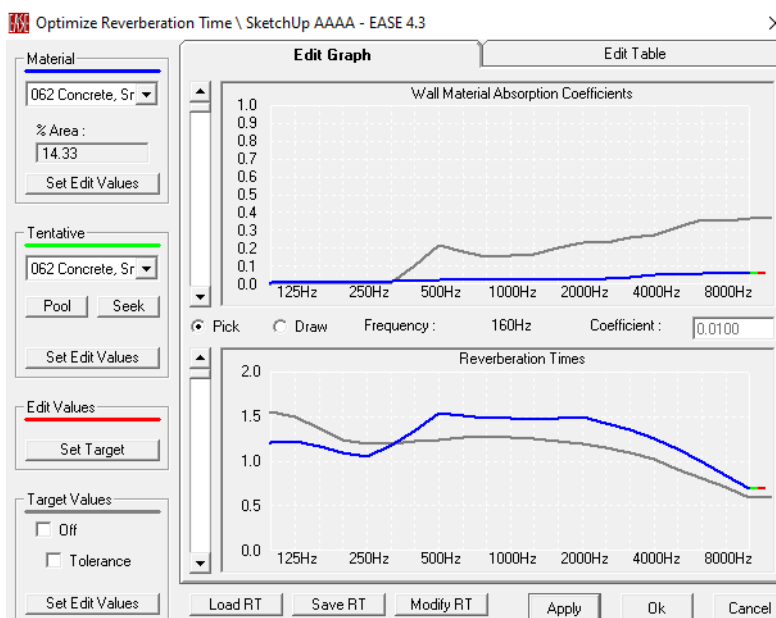


Figura 73. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) iniciales

El objetivo es hacer que la curva azul (simulado) se parezca lo máximo posible a la curva gris (real). No obstante, en el ajuste se intentará que la curva simulada quede un poco por debajo del TR que realmente se midió. Se hace así debido a que por experiencia previa en otros recintos modelados, EASE realiza una sobreestimación del tiempo de reverberación aplicando la aproximación de acústica geométrica. Se tiene que encontrar un equilibrio para que a la hora de calcular el TR, con independencia del método que se utilice, se obtengan valores cercanos a los medidos. Por ello, se proponen unos materiales que hacen que el tiempo de reverberación calculado por la aproximación de acústica estadística sea un poco inferior al tiempo de reverberación medido en la sala.

En esta fase inicial de la validación se realizan simulaciones con las aproximaciones de acústica estadística y geométrica con baja resolución, para comparar 3 parámetros distintos en cada aproximación. Estos parámetros corresponden con los energéticos  $C_{50}$  y  $C_{80}$  así como el RT o  $T_{30}$  (aproximación estadística y geométrica respectivamente). En cada una de las modificaciones se verifican sus valores para todas las frecuencias utilizando la métrica JND. En la tabla 25 se enseña la situación de partida.

Tabla 25. Comparativa inicial de los parámetros en el ajuste de materiales

Frecuencias [Hz]	SITUACIÓN INICIAL					
	C50 Standard	C50 Aura	C80 Standard	C80 Aura	T30 Aura	RT Standard
100 Hz	1	2	1	3	10	4
125 Hz	1	1	1	2	10	2
160 Hz	2	1	1	2	12	1
200 Hz	1	1	1	2	13	1
250 Hz	1	2	1	2	13	1
315 Hz	1	2	1	3	13	1
400 Hz	1	2	1	3	12	1
500 Hz	1	2	1	2	12	1
630 Hz	1	2	1	3	11	1
800 Hz	1	2	1	3	10	2
1000 Hz	1	2	1	3	10	2
1250 Hz	2	3	1	3	10	2
1600 Hz	2	3	1	3	12	2
2000 Hz	2	3	1	3	14	2
2500 Hz	1	2	1	3	13	2
3150 Hz	1	2	1	2	13	2
4000 Hz	2	3	2	3	11	1
5000 Hz	3	4	3	4	11	1
6300 Hz	4	4	4	4	12	1
8000 Hz	5	4	4	4	9	1
10000 Hz	5	4	4	4	8	1

Los parámetros energéticos son mejorables en alta frecuencia, mientras que en los temporales se ha de buscar el equilibrio mencionado entre RT (aproximación estadística) y  $T_{30}$  (aproximación geométrica) muy distante con la configuración actual.

Como se observa en la figura 73, el tiempo de reverberación calculado en el modelo es superior al real a partir de unos 300 Hz. Por el contrario, a baja frecuencia es menor produciéndose un pequeño pico en 250 Hz.

Dado que las únicas entradas que permite el software de simulación EASE, son la geometría de la sala y la absorción de los materiales asignados a cada superficie, y que la geometría diseñada en Sketch-Up no se va a modificar, solo se puede modificar el tiempo de reverberación modificando el coeficiente de absorción de los materiales asignados inicialmente.

Se tiene en cuenta que cuanto más superficie cubra un material en concreto, más variará el RT si se cambia. Para actuar de forma global en la sala es preciso operar con materiales que cubran una superficie significativa. De otra forma, los cambios producidos en la sala serán insignificantes y la respuesta acústica del recinto permanecerá próxima a lo anterior.

Como primera aproximación y marcando como objetivo igualar la curva lo máximo posible se realizan 3 cambios significativos de materiales. Primeramente se modifica el material del techo, suavizando el comportamiento del panel resonador de 250 Hz que se había colocado. Se elimina la forma más abrupta que toma el RT a esta frecuencia y se aproxima al tiempo de reverberación real en baja frecuencia.

Por otro lado, se cambia el material de las butacas creando asientos tapizados con más absorción que los anteriores. Además, se cambia la tarima de ambas alturas de la zona de audiencia implementando otra tarima similar con más absorción. Ambos cambios se realizan con el objetivo de obtener un tiempo de reverberación menor a partir de 250 Hz. El resultado de la primera modificación se puede comprobar en la figura 74.

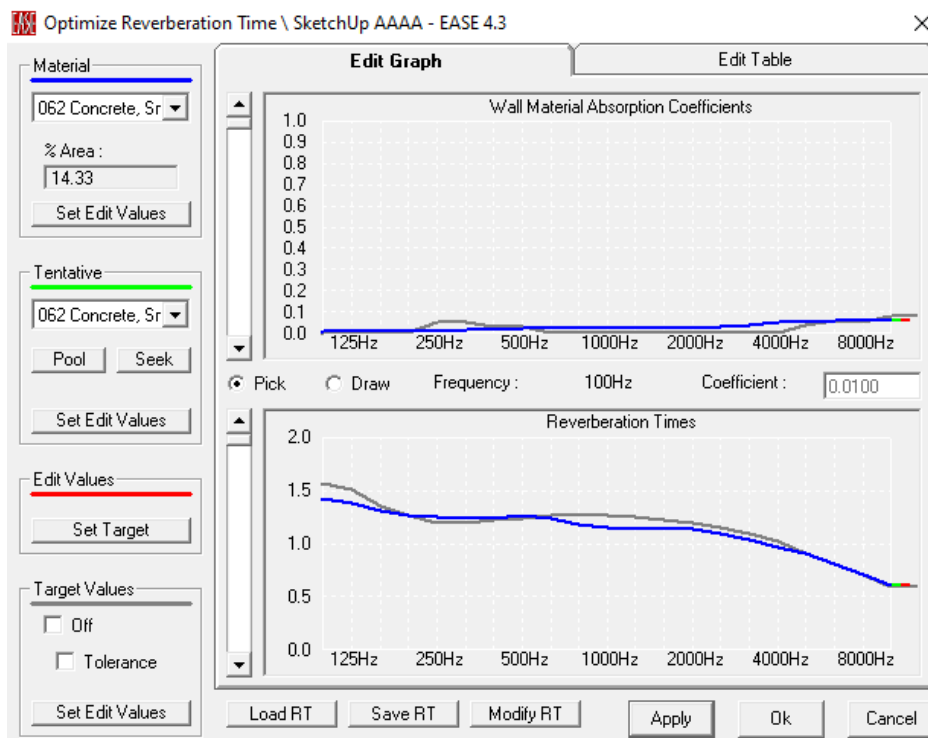


Figura 74. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) tras segundo ajuste

El exceso de ponderación que EASE da al cálculo del TR mediante la aproximación de acústica geométrica hace que a la curva de TR ya aproximada en forma, tenga que ser forzada para tener menor tiempo de reverberación. Para este cometido se modifican las butacas creando un nuevo material similar pero más absorbente. Al vislumbrarse que los resultados no son los esperados, se cambia el material de las paredes de la caja escénica creando un nuevo material con más absorción. Simultáneamente se vuelven a montar las butacas con el material utilizado en la primera aproximación. Los resultados, ahora si, son notorios y apropiados. Se detalla en la figura 75 y tabla 26 el cambio que sufre la curva del TR y la tabla de JND.

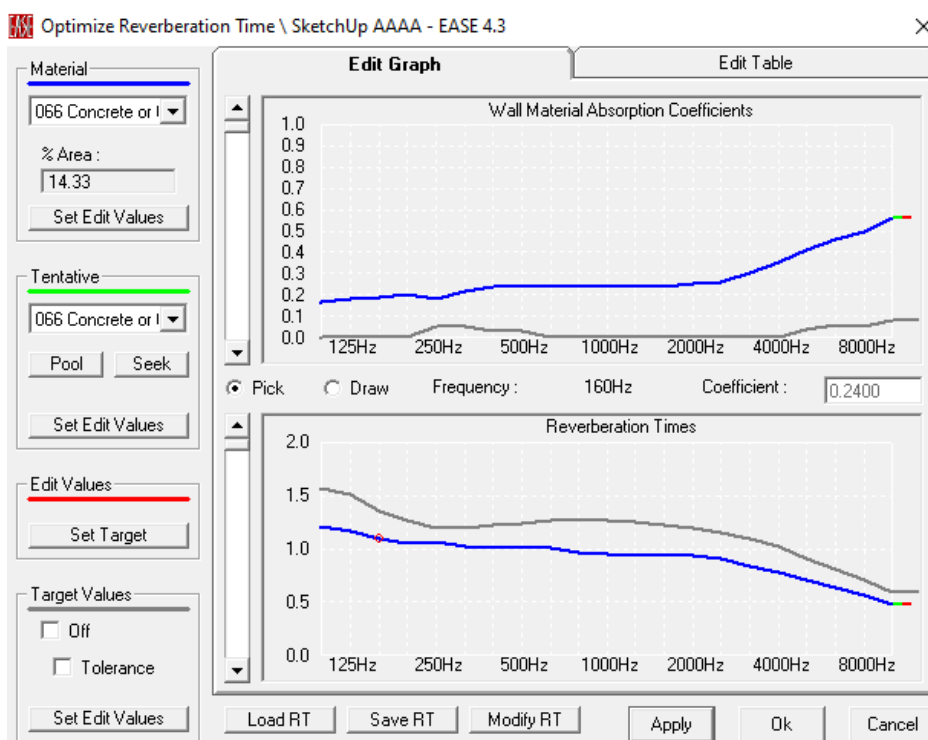


Figura 75. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) tras tercer ajuste

Tabla 26. Comparativa inicial de los parámetros en el tercer ajuste de materiales

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

Con el objetivo de perfeccionar los resultados se cambia el material de las butacas nuevamente por uno un poco menos absorbente que el actual. Así, se logra un mayor balance entre T<sub>30</sub> y TR. Además, se intentan mejorar los resultados haciendo un ajuste más preciso nuevamente en la absorción de las butacas. La mejora de TR no es lo suficientemente significativa para compensar las pérdidas de T<sub>30</sub> y los parámetros energéticos también se ven algo mermados. Por esa razón, en la figura 76 y tabla 27 mencionada se muestra el resultado final.

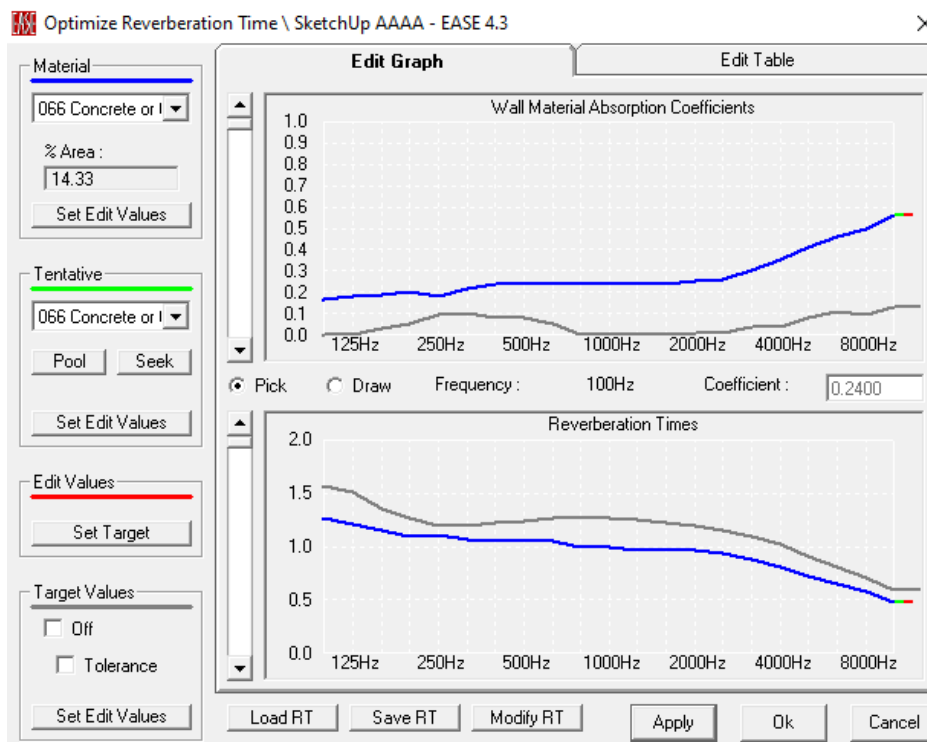


Figura 76. Comparación del tiempo de reverberación medido (gris) y simulado (azul) final

Tabla 27. Comparativa final de los parámetros en el quinto ajuste de materiales

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

Debido a que el total de muestras entre los escalones JND supera el 80% entre los valores 1 y 3, y se logra un equilibrio entre T<sub>30</sub> y RT se concluye el ajuste de materiales. Se puede observar en la tabla 28 la distribución total de las muestras en los distintos valores.

Tabla 28. Distribución de las muestras en los distintos valores

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	58	33	14	12	8	0	1	0	0	0	126
% sobre Total	46%	26%	11%	10%	6%	0%	1%	0%	0%	0%	
% acumulado	46%	72%	83%	93%	99%						

Una vez finalizado el proceso de elección de materiales, se ha de dotar de difusión o *scattering* a aquellos que lo requieran. Esta propiedad simula superficies rugosas o irregulares con el fin de crear reflexiones no especulares en los lugares donde se dan. El *scattering* puede ser circular, laminado o cuadrado y se elige el tamaño de la difusión en base a la realidad. Principalmente se asigna difusión al arco de la boca del escenario, parte del techo, antepecho, molduras o barandillas entre otros.

## 7.2. SIMULACIÓN DE PARÁMETROS

El modelo ya está preparado para poder trabajar con él. En esta fase, se van a realizar simulaciones por ambas aproximaciones (estadística y geométrica) con mayor resolución que en la fase anterior. Para ello, se simulan con más detenimiento todos los parámetros de estudio tanto por el método estándar o *Standard Mapping* como por *AURA Mapping*. El primero es menos preciso y más sencillo, mientras que el segundo trabaja con más exactitud y su cálculo es más exigente computacionalmente hablando.

Con los resultados que se han obtenido se realiza un nuevo procesado de datos en Excel siguiendo las mismas pautas explicadas en el capítulo 5. No obstante, para este procesado de datos no se aplica la máscara de INR sino que directamente se aplica el criterio de Chauvenet. De este modo, se eliminan los valores estadísticamente alejados del centro de gravedad de la campana de Gauss. A la hora de realizar la comparación, se tendrán los datos filtrados en lo medido y lo simulado y es lo que finalmente se compara. Se aporta en la tabla 29 la estructura del procesamiento de datos, comprendidos entre 100 Hz y 10000 Hz.

Tabla 29. Estructura de los datos procesados de la simulación

Medid.	Fuente	Micró	Receptor	Cana	Punto	Instancia	Zona	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
C50(L)F01	F01	M01	Teatro	1	F01M01	7.12	Pisana	0.52	0.60	0.56	1.31	1.00	1.20	1.52	1.28	1.28	1.70	1.70	1.38	0.84	1.23	1.07	1.85	2.78	3.55	4.79	5.99	7.87	
C50(L)F01	F01	M02	Teatro	1	F01M02	6.48	Pisana	-0.45	-0.27	-0.14	-0.35	-0.21	0.42	0.51	0.25	0.49	0.52	0.49	0.52	0.61	0.40	0.51	0.40	2.30	2.95	4.70	5.59	7.17	
C50(L)F01	F01	M03	Teatro	1	F01M03	10.38	Pisana	-6.36	-7.02	-6.44	-6.02	-6.14	-5.85	-6.13	-6.28	-6.14	-6.14	-6.53	-6.36	-7.17	-7.50	-7.19	-6.55	-6.36	-4.77	-3.94	-3.04	-2.17	
C50(L)F01	F01	M03	Teatro	1	F01M03	10.38	Pisana	-6.52	-6.45	-6.14	-6.24	-6.32	6.14	-6.18	-6.13	0.17	0.50	0.18	0.36	0.71	0.97	1.10	1.37	1.86	2.34	3.03	4.12	6.79	
C50(L)F01	F01	M04	Teatro	1	F01M04	10.60	Pisana	-2.07	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.70	-1.43	-1.52	-1.42	-1.21	-1.31	-0.94	-0.86	-1.02	-0.40	0.01	0.37	1.37	2.10	3.31	5.06	
C50(L)F01	F01	M04	Teatro	1	F01M04	10.60	Pisana	-2.32	-2.26	-2.19	-1.89	-2.25	-2.20	-1.97	-1.76	-1.44	-1.61	-1.74	-1.38	-1.39	-1.11	-1.02	-0.46	0.32	0.87	1.49	2.51	4.23	
C50(L)F01	F01	M05	Teatro	1	F01M05	12.18	Pisana	-2.06	-1.98	-2.04	-1.97	-2.13	-1.81	-1.65	-1.62	-1.50	-1.53	-0.63	-1.21	-1.00	-0.91	-0.73	0.44	0.36	1.13	2.31	3.32	5.26	
C50(L)F01	F01	M06	Teatro	1	F01M06	14.35	Pisana	-3.05	-3.02	-3.00	-2.46	-2.94	-2.49	-2.84	-2.59	-2.33	-1.91	-2.30	-1.95	-1.91	-1.90	-1.50	-1.06	-0.96	0.76	1.44	2.73	5.12	
C50(L)F01	F01	M06	Teatro	1	F01M06	14.35	Pisana	-6.07	-6.02	6.23	6.00	6.10	6.75	6.33	6.90	6.96	1.28	1.33	1.41	1.56	1.47	1.84	2.91	3.08	3.96	4.95	6.48	7.96	
C50(L)F01	F01	M07	Teatro	1	F01M07	14.61	Pisana	-2.84	-2.73	-2.76	-2.70	-2.95	-2.43	-2.80	-1.97	-2.02	-1.75	-1.67	-1.28	-1.38	-1.11	-0.63	0.02	0.38	1.26	2.15	2.99	4.49	
C50(L)F01	F01	M08	Teatro	1	F01M08	16.63	Pisana	-4.12	-4.19	-4.14	-3.74	-4.32	-4.05	-3.56	-3.37	-3.08	-2.67	-2.83	-2.40	-2.76	-2.01	-1.72	-1.78	-0.53	0.33	1.30	2.24	4.71	
C50(L)F01	F01	M09	Teatro	1	F01M09	16.50	Pisana	-2.24	-3.18	-3.57	-3.47	-3.88	-3.56	-3.28	-2.84	-2.78	-2.48	-2.78	-2.48	-1.78	-1.94	-2.21	-1.44	-1.58	-0.89	0.00	0.63	1.34	2.31
C50(L)F01	F01	M09	Teatro	1	F01M09	16.50	Pisana	-2.60	-2.49	-2.22	-2.35	-2.39	-2.29	-2.11	-2.01	-1.53	-1.42	-1.17	-0.99	-0.87	-0.51	-0.87	-0.03	0.58	1.72	2.34	3.55	4.95	
C50(L)F01	F01	M10	Teatro	1	F01M10	17.25	Pisana	-2.73	-2.45	-2.03	-2.28	-2.45	-2.06	-2.04	-1.67	-1.39	-0.96	-0.76	-0.88	-0.74	-0.49	-0.09	-0.39	0.88	1.93	2.74	3.14	4.44	
C50(L)F01	F01	M11	Teatro	1	F01M11	18.40	Pisana	-2.66	-2.67	-2.74	-2.82	-2.82	-2.29	-2.12	-2.21	-1.73	-1.77	-1.09	-1.64	-1.19	-0.88	-0.52	-0.19	0.65	1.62	2.08	3.41	5.05	
C50(L)F01	F01	M11	Teatro	1	F01M11	18.40	Pisana	-1.10	-1.51	-1.46	-1.28	-1.52	-1.32	-0.86	-0.96	-0.78	-0.50	-0.06	-0.39	-0.23	0.19	0.29	1.09	1.70	2.57	3.25	4.58	6.41	
C50(L)F01	F01	M12	Teatro	1	F01M12	19.30	Pisana	-1.69	-1.64	-2.18	-1.99	-2.29	-1.92	-1.90	-1.38	-1.23	-0.93	-0.98	-0.94	-0.47	-0.03	-0.10	0.38	0.90	2.38	4.10	6.63		
C50(L)F01	F01	M13	Teatro	1	F01M13	20.06	Pisana	-3.05	-3.51	-3.29	-2.89	-3.56	-2.72	-2.65	-2.29	-2.42	-2.28	-1.40	-1.64	-1.42	-1.45	-0.82	-0.71	0.25	0.88	2.08	2.98	4.20	
C50(L)F01	F01	M13	Teatro	1	F01M13	20.06	Pisana	-2.22	-2.47	-2.63	-2.44	-3.07	-2.08	-2.00	-1.45	-1.39	-0.79	-0.88	-0.76	-0.26	-0.27	0.58	0.21	1.58	2.66	3.60	4.49		
C50(L)F01	F01	M14	Teatro	1	F01M14	22.02	Pisana	-2.30	-2.18	-2.27	-2.16	-2.44	-2.40	-1.14	-1.11	-1.32	-0.93	-0.77	-0.17	-0.10	-0.06	0.88	0.79	1.23	2.68	3.69	5.34	7.05	
C50(L)F01	F01	M15	Teatro	1	F01M15	21.22	Pisana	-1.88	-2.24	-2.24	-2.43	-2.54	-2.04	-1.62	-1.60	-1.00	-0.50	-0.18	-0.80	-0.02	0.19	0.53	0.56	1.42	2.03	3.25	4.65	6.54	
C50(L)F01	F01	M15	Teatro	1	F01M15	21.22	Pisana	-2.30	-2.51	-2.28	-2.22	-2.23	-1.98	-1.99	-1.66	-1.61	-1.28	-1.19	-1.29	-0.89	-0.67	-0.42	0.20	0.85	1.74	2.17	3.45	4.90	
C50(L)F01	F01	M16	Teatro	1	F01M16	18.63	Pisana	-2.19	-1.99	-1.98	-1.53	-2.08	-1.80	-1.51	-1.51	-1.25	-0.89	-1.02	-1.12	-1.14	-0.84	-0.66	-0.08	0.52	1.44	2.51	3.73	5.49	
C50(L)F01	F01	M16	Teatro	1	F01M16	18.63	Pisana	-0.98	-1.10	-1.17	-1.01	-1.36	-0.86	-0.05	-0.25	-0.12	0.72	0.57	0.89	1.25	1.31	1.63	2.30	2.90	3.70	4.62	5.91	8.21	
C50(L)F01	F01	M17	Teatro	1	F01M17	23.27	Pisana	0.59	0.84	1.18	1.23	1.09	1.60	1.81	1.40	1.73	1.91	1.70	1.51	1.39	1.28	1.65	2.08	3.14	3.80	4.76	6.10	8.29	
C50(L)F01	F01	M18	Teatro	1	F01M18	9.80	Pisana	-0.10	0.02	0.15	0.33	0.39	0.45	0.74	0.95	0.66	0.88	0.96	0.72	0.63	0.93	1.42	2.78	3.94	4.68	6.20	8.01		
C50(L)F01	F01	M19	Teatro	1	F01M19	11.65	Pisana	-6.85	-6.67	-7.22	-6.89	-6.57	-6.26	-6.19	-6.39	-6.49	-6.14	-6.52	-6.60	-7.13	-6.83	-7.37	-7.67	-5.69	-4.93	-4.43	-2.58	-1.48	
C50(L)F01	F01	M20	Teatro	1	F01M20	14.21	Pisana	-0.21	0.13	-0.18	0.21	-0.08	-0.01	0.23	0.01	0.19	0.65	0.30	0.45	0.37	0.35	1.24	1.46	2.36	3.17	4.25	4.07	7.48	
C50(L)F01	F01	M20	Teatro	1	F01M20	14.21	Pisana	-2.73	-2.30	-1.73	-1.86	-1.99	-1.70	-1.95	-1.71	-1.23	-1.28	-1.28	-1.14	-0.80	-0.89	0.02	0.61	1.24	2.27	3.31	5.19		
C50(L)F01	F01	M21	Teatro	1	F01M21	15.38	Pisana	-2.53	-2.32	-2.28	-1.98	-2.48	-2.16	-2.16	-1.81	-1.77	-1.85	-1.46	-1.24	-1.22	-0.94	-0.79	-0.54	0.22	0.78	1.67	2.95	4.33	
C50(L)F01	F01	M21	Teatro	1	F01M21	15.38	Pisana	-0.19	0.13	-0.19	0.24	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16
C50(L)F01	F01	M22	Teatro	1	F01M22	16.53	Pisana	-3.09	-2.79	-2.87	-2.84	-3.16	-2.44	-2.22	-2.36	-2.28	-2.04	-2.20	-2.09	-2.17	-1.71	-1.42	-0.98	0.25	0.94	1.71	3.07	4.52	
C50(L)F01	F01	M22	Teatro	1	F01M22	16.53	Pisana	-0.27	0.13	-0.18	0.21	-0.08	-0.01	0.23	0.01	0.19	0.65	0.30	0.45	0.37	0.35	1.24	1.46	2.36	3.17	4.25	4.07	7.48	
C50(L)F01	F01	M23	Teatro	1	F01M23	16.53	Pisana	-2.75	-3.01	-2.85	-2.78	-3.04	-2.39	-2.11	-2.06	-2.07	-1.45	-1.54	-1.39	-1.25	-1.10	-0.93	-0.80	0.25	0.77	1.12	2.75	4.91	
C50(L)F01	F01	M23	Teatro	1	F01M23	17.23	Pisana	-4.30	-4.36	-4.24	-4.22	-4.64	-4.09	-3.77	-3.68	-3.47	-3.29	-3.08	-2.73	-2.29	-2.31	-2.03	-1.63	-1.02	-0.19	0.29	1.08	1.91	3.30
C50(L)F01	F01	M24	Teatro	1	F01M24	19.53	Pisana	-3.30	-3.67	-3.50	-3.47	-4.05	-3.49	-3.49	-2.89	-2.47	-2.53	-2.17	-1.98	-1.42	-1.33	0.03	0.27	1.29	2.42	3.93	5.57	8.19	
C50(L)F01	F01	M24	Teatro	1	F01M24	19.53	Pisana	-2.10	-2.39	-1.92	-1.92	-2.53	-2.12	-1.99	-1.71	-1.65	-1.04	-1.00	-0.83	-0.48	-0.06	-0.45	0.31	1.08	2.07	2.42	3.61	5.15	
C50(L)F01	F01	M25	Teatro	1	F01M25	19.87	Pisana	-2.72	-2.69	-2.78	-2.58	-2.79	-2.69	-2.57	-2.01	-1.71	-1.43	-1.23	-1.37	-1.19	-0.95	-0.05	0.02	1.29	1.42	2.54	3.86	5.63	
C50(L)F01	F01	M25	Teatro	1	F01M25	19.87	Pisana	-2.32	-2.22	-2.28	-1.99	-2.14	-2.04	-1.53	-1.70	-1.60	-1.19	-1.23	-1.02	-0.75	-0.55	0.26	0.24	1.14	1.65	2.51	4.03	5.04	
C50(L)F01	F01	M26	Teatro	1	F01M26	21.20	Pisana	-1.16	-1.27	-1.25	-0.82	-1.37	-0.81	-0.46	-0.25	-0.10	0.23	0.47	0.47	0.29	1.15	0.67	1.39	1.93	3.00	3.96	4.73	6.30	
C50(L)F01	F01	M27	Teatro	1	F01M27	24.41	Pisana	-2.40	-1.88	-1.85	-1.82	-2.40	-1.89	-1.77	-1.77	-1.56	-1.40	-1.33	-1.52	-0.87	-0.51	-0.90	-0.62	0.42	1.45	2.50	4.10	5.93	
C50(L)F01	F01	M27	Teatro																										

Tabla 30. Parte de los datos de  $T_{30}$  habiendo aplicado Chauvenet

100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1.57	1.68	1.52	1.43	1.51	1.52	1.46	1.41	1.35	1.26	1.28	1.33	1.26	1.25	1.18	1.11	1.02	0.94	0.83	0.72	0.61
1.57	1.60	1.56	1.72	1.60	1.56	1.40	1.52	1.48	1.27	1.34	1.31	1.30	1.40	1.24	1.11	1.04	0.96	0.88	0.74	0.62
1.54	1.61	1.55	1.60	1.57	1.57	1.47	1.43	1.28	1.28	1.18	1.33	1.23	1.23	1.22	1.12	1.05	1.02	0.92	0.88	0.60
1.64	1.64	1.71	1.51	1.71	1.63	1.53	1.37	1.40	1.52	1.35	1.42	1.24	1.31	1.23	1.14	0.98	1.02	0.86	0.73	0.62
1.68	1.54	1.62	1.51	1.61	1.36	1.46	1.40	1.37	1.28	1.26	1.32	1.32	1.24	1.10	0.98	0.99	0.78	0.71	0.71	0.61
1.66	1.61	1.63	1.52	1.55	1.54	1.51	1.42	1.51	1.38	1.35	1.33	1.27	1.31	1.30	1.10	1.07	0.93	0.85	0.68	0.58
1.67	1.62	1.60	1.73	1.70	1.63	1.59	1.49	1.42	1.56	1.46	1.25	1.20	1.27	1.23	1.19	1.01	0.96	0.82	0.73	0.63
1.52	1.77	1.77	1.73	1.73	1.61	1.73	1.51	1.39	1.34	1.23	1.28	1.24	1.24	1.26	1.05	1.05	0.96	0.86	0.73	0.60
1.66	1.71	1.58	1.64	1.68	1.52	1.40	1.46	1.36	1.41	1.31	1.33	1.32	1.24	1.27	1.04	0.95	0.82	0.78	0.62	
1.61	1.62	1.67	1.62	1.65	1.59	1.54	1.39	1.62	1.44	1.35	1.33	1.31	1.21	1.21	1.04	0.89	0.85	0.75	0.61	
1.61	1.67	1.62	1.73	1.60	1.68	1.33	1.33	1.37	1.37	1.37	1.46	1.42	1.30	1.08	0.99	0.92	0.85	0.68	0.60	
1.70	1.80	1.58	1.69	1.77	1.52	1.64	1.35	1.54	1.42	1.25	1.33	1.23	1.22	1.23	1.01	0.88	0.84	0.72	0.60	
1.68	1.71	1.63	1.52	1.78	1.62	1.63	1.38	1.38	1.40	1.47	1.33	1.29	1.36	1.27	1.11	0.99	0.91	0.76	0.60	
1.67	1.68	1.60	1.70	1.62	1.38	1.45	1.70	1.39	1.56	1.33	1.21	1.23	1.21	1.11	1.16	0.98	0.91	0.73	0.63	
1.67	1.78	1.73	1.76	1.73	1.53	1.63	1.54	1.34	1.41	1.42	1.33	1.43	1.37	1.35	1.14	1.00	0.85	0.74	0.63	
1.67	1.67	1.58	1.56	1.59	1.44	1.51	1.54	1.46	1.56	1.33	1.33	1.21	1.24	1.16	1.08	1.07	0.91	0.80	0.76	0.61
1.64	1.65	1.60	1.75	1.71	1.43	1.61	1.52	1.45	1.53	1.36	1.32	1.23	1.31	1.16	1.08	0.98	0.87	0.73	0.60	
1.67	1.79	1.56	1.76	1.59	1.58	1.58	1.53	1.42	1.49	1.54	1.25	1.46	1.43	1.28	1.21	1.07	0.97	0.81	0.72	0.64
1.61	1.70	1.56	1.66	1.78	1.56	1.66	1.52	1.52	1.35	1.34	1.33	1.47	1.37	1.38	1.21	0.99	0.98	0.67	0.61	
1.71	1.61	1.67	1.55	1.83	1.51	1.49	1.62	1.35	1.40	1.25	1.20	1.21	1.18	1.06	1.06	0.97	0.87	0.74	0.60	
1.76	1.60	1.75	1.60	1.64	1.57	1.61	1.60	1.37	1.47	1.52	1.48	1.39	1.38	1.29	1.16	1.09	0.95	0.86	0.78	0.62
1.70	1.76	1.64	1.47	1.55	1.42	1.58	1.37	1.43	1.47	1.41	1.27	1.39	1.23	1.11	1.08	0.97	0.82	0.74	0.61	
1.62	1.60	1.62	1.54	1.64	1.76	1.57	1.53	1.33	1.31	1.36	1.28	1.23	1.21	1.23	1.06	1.01	0.95	0.83	0.70	0.60
1.69	1.63	1.55	1.54	1.62	1.70	1.38	1.45	1.43	1.52	1.38	1.46	1.26	1.14	1.06	1.01	0.88	0.72	0.59	0.58	
1.57	1.56	1.66	1.50	1.50	1.53	1.48	1.44	1.53	1.32	1.32	1.37	1.18	1.27	1.16	1.13	0.99	0.84	0.76	0.62	
1.61	1.59	1.50	1.56	1.55	1.63	1.45	1.35	1.39	1.35	1.36	1.30	1.26	1.30	1.15	1.12	1.04	0.88	0.85	0.73	0.61
1.58	1.54	1.56	1.60	1.55	1.60	1.44	1.58	1.32	1.28	1.33	1.25	1.28	1.18	1.09	1.00	0.86	0.88	0.78	0.62	
1.66	1.57	1.69	1.60	1.63	1.71	1.49	1.37	1.39	1.33	1.37	1.41	1.24	1.21	1.21	1.24	1.05	0.93	0.83	0.73	0.61
1.61	1.71	1.61	1.69	1.60	1.53	1.49	1.50	1.50	1.43	1.34	1.42	1.33	1.22	1.27	1.17	1.14	0.95	0.82	0.73	0.62
1.64	1.65	1.54	1.50	1.59	1.41	1.36	1.40	1.41	1.24	1.31	1.23	1.27	1.21	1.20	1.12	1.07	0.91	0.85	0.71	0.62
1.63	1.68	1.45	1.44	1.59	1.45	1.44	1.40	1.46	1.35	1.24	1.29	1.25	1.28	1.21	1.11	1.00	0.86	0.78	0.58	
1.57	1.65	1.57	1.63	1.52	1.57	1.44	1.45	1.42	1.45	1.37	1.30	1.28	1.21	1.23	1.12	1.02	0.95	0.85	0.73	0.61
1.58	1.67	1.64	1.82	1.55	1.66	1.37	1.43	1.47	1.31	1.44	1.43	1.27	1.32	1.27	1.13	1.06	0.96	0.84	0.75	0.56
1.65	1.70	1.57	1.64	1.59	1.58	1.55	1.40	1.54	1.37	1.23	1.37	1.32	1.26	1.32	1.18	1.08	0.99	0.92	0.76	0.62
1.60	1.64	1.66	1.68	1.67	1.66	1.57	1.46	1.69	1.41	1.47	1.33	1.23	1.23	1.18	1.09	1.02	0.87	0.82	0.74	0.62
1.59	1.57	1.59	1.70	1.59	1.63	1.56	1.49	1.41	1.30	1.32	1.30	1.43	1.30	1.06	1.06	0.94	0.83	0.69	0.57	
1.59	1.61	1.75	1.73	1.87	1.64	1.44	1.45	1.50	1.26	1.27	1.29	1.34	1.24	1.20	1.16	1.03	0.99	0.84	0.73	0.58
1.59	1.69	1.68	1.53	1.68	1.67	1.42	1.40	1.62	1.32	1.48	1.38	1.25	1.29	1.30	1.25	1.07	0.98	0.88	0.75	0.60
1.67	1.63	1.64	1.67	1.68	1.55	1.67	1.48	1.33	1.46	1.35	1.24	1.23	1.42	1.29	1.27	1.16	1.00	0.86	0.78	0.63
1.64	1.65	1.58	1.61	1.80	1.65	1.51	1.35	1.33	1.38	1.31	1.33	1.39	1.33	1.25	1.09	1.02	0.88	0.71	0.62	
1.60	1.74	1.53	1.65	1.76	1.53	1.44	1.40	1.41	1.34	1.37	1.24	1.26	1.35	1.21	1.10	1.07	0.94	0.83	0.74	0.62
1.70	1.67	1.69	1.56	1.53	1.48	1.39	1.35	1.32	1.45	1.23	1.20	1.31	1.27	1.18	1.08	1.02	0.84	0.76	0.61	
1.62	1.62	1.61	1.80	1.72	1.67	1.53	1.53	1.35	1.37	1.46	1.51	1.28	1.35	1.35	1.06	0.97	0.93	0.74	0.62	
1.62	1.65	1.64	1.51	1.95	1.60	1.47	1.47	1.32	1.37	1.47	1.50	1.33	1.25	1.19	1.13	1.09	1.04	0.92	0.78	0.57
1.57	1.73	1.75	1.65	1.74	1.62	1.49	1.51	1.47	1.33	1.41	1.34	1.19	1.38	1.34	1.19	1.09	0.91	0.85	0.74	0.58
1.65	1.56	1.59	1.53	1.90	1.48	1.43	1.53	1.38	1.35	1.38	1.29	1.30	1.27	1.25	1.24	1.12	1.03	0.88	0.74	0.62
1.63	1.63	1.71	1.64	1.65	1.60	1.37	1.41	1.48	1.32	1.25	1.30	1.34	1.29	1.21	1.17	1.16	1.00	0.86	0.73	0.63
1.61	1.61	1.59	1.51	1.62	1.72	1.42	1.51	1.40	1.29	1.42	1.36	1.23	1.25	1.23	1.19	1.06	0.93	0.84	0.71	0.59
1.63	1.54	1.51	1.83	1.60	1.56	1.33	1.34	1.44	1.43	1.25	1.47	1.34	1.31	1.15	1.07	0.99	0.86	0.77	0.59	
1.57	1.63	1.57	1.48	1.76	1.53	1.76	1.48	1.35	1.45	1.48	1.21	1.27	1.27	1.19	1.08	0.98	0.89	0.75	0.61	
1.57	1.68	1.52	1.44	1.60	1.54	1.63	1.58	1.27	1.32	1.35	1.28	1.21	1.21	1.13	1.06	0.86	0.77	0.68	0.57	
1.58	1.52	1.49	1.55	1.53	1.39	1.54	1.49	1.38	1.31	1.33	1.24	1.25	1.18	1.13	1.13	0.93	0.88	0.76	0.60	
1.70	1.56	1.52	1.58	1.57	1.52	1.41	1.41	1.33	1.27	1.29	1.24	1.28	1.25	1.27	1.10	0.99	0.97	0.80	0.69	0.58
1.59	1.55	1.50	1.55	1.51	1.38	1.58	1.41	1.45	1.26	1.19	1.23	1.24	1.20	1.16	1.16	0.95	0.85	0.68	0.66	0.57
1.54	1.59	1.54	1.51	1.54	1.38	1.45	1.39	1.45	1.33	1.33	1.25	1.24	1.15	1.08	1.08	0.94	0.81	0.67	0.54	
1.60	1.54	1.53	1.77	1.37	1.46	1.39	1.43	1.36	1.42	1.25	1.17	1.26	1.32	1.20	1.08	1.09	0.94	0.81	0.69	0.56
1.59	1.53	1.49	1.52	1.43	1.54	1.29	1.41	1.54	1.37	1.21	1.18	1.31	1.31	1.17	1.12	1.13	0.94	0.75	0.70	0.56
1.71	1.55	1.42	1.82	1.48	1.43	1.26	1.70	1.51	1.34	1.37	1.22	1.18	1.25	1.21	1.05	0.98	0.91	0.83	0.69	0.58
1.58	1.60	1.52	1.49	1.66	1.53	1.42	1.48	1.41	1.33	1.24	1.19	1.23	1.42	1.20	1.13	1.13	0.87	0.82	0.73	0.53
1.55	1.55	1.51	1.61	1.55	1.65	1.36	1.35	1.34	1.24	1.27	1.29	1.25	1.30	1.24	1.02	1.07	0.90	0.87	0.71	0.58
1.69	1.60	1.57	1.40	1.63	1.49	1.58	1.31	1.29	1.30	1.26	1.17	1.21	1.30	1.21	1.07	1.10	0.95	0.81	0.69	0.63
1.54	1.56	1.50	1.46	1.47	1.50	1.44	1.37	1.42	1.33	1.20	1.37	1.43	1.21	1.15	1.11	0.94	0.90	0.79	0.75	0.57
1.59	1.55	1.38	1.52	1.50	1.67	1.43	1.43	1.50	1.31	1.24	1.36	1.29	1.18	1.25	1.08	1.12	0.88	0.83	0.70	0.55
1.57	1.54																			

• **Parámetros temporales:**

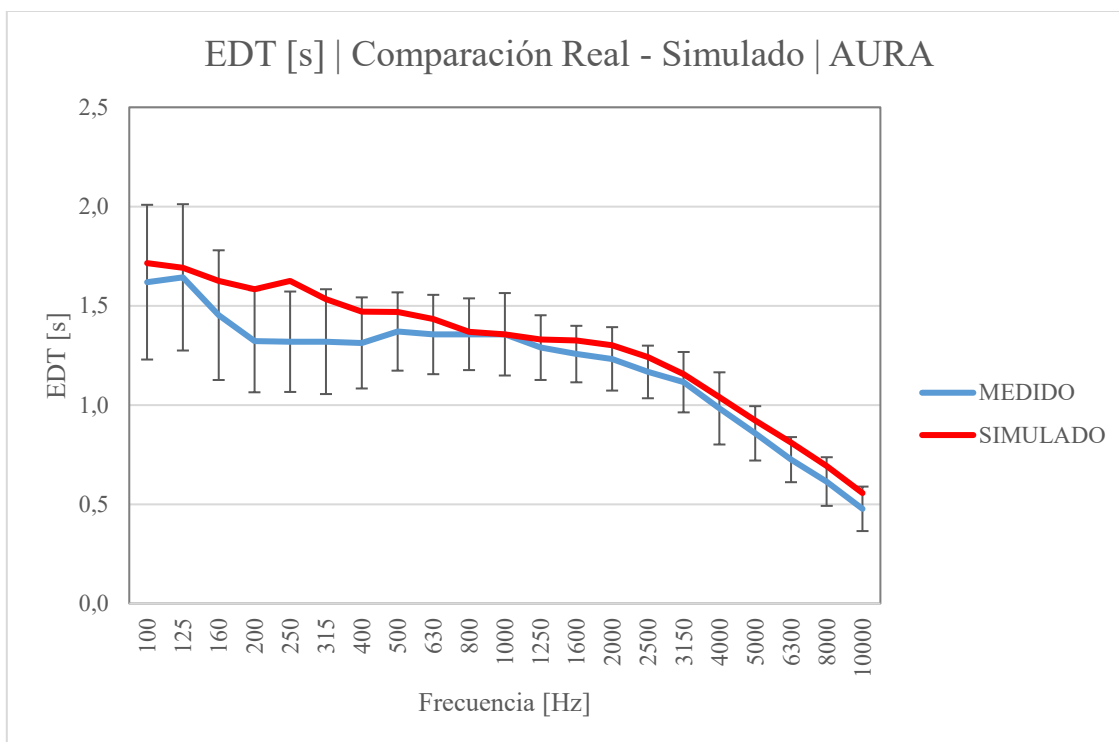


Figura 77. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro EDT

Tabla 31. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro EDT

EDT [s]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	1,62	0,39	1,71
125	1,64	0,37	1,69
160	1,45	0,33	1,63
200	1,32	0,26	1,58
250	1,32	0,25	1,63
315	1,32	0,26	1,53
400	1,31	0,23	1,47
500	1,37	0,20	1,47
630	1,36	0,20	1,43
800	1,36	0,18	1,37
1000	1,36	0,21	1,36
1250	1,29	0,16	1,33
1600	1,26	0,14	1,32
2000	1,23	0,16	1,30
2500	1,17	0,13	1,24
3150	1,12	0,15	1,16
4000	0,98	0,18	1,04
5000	0,86	0,14	0,92
6300	0,72	0,11	0,81
8000	0,61	0,12	0,69
10000	0,48	0,11	0,56

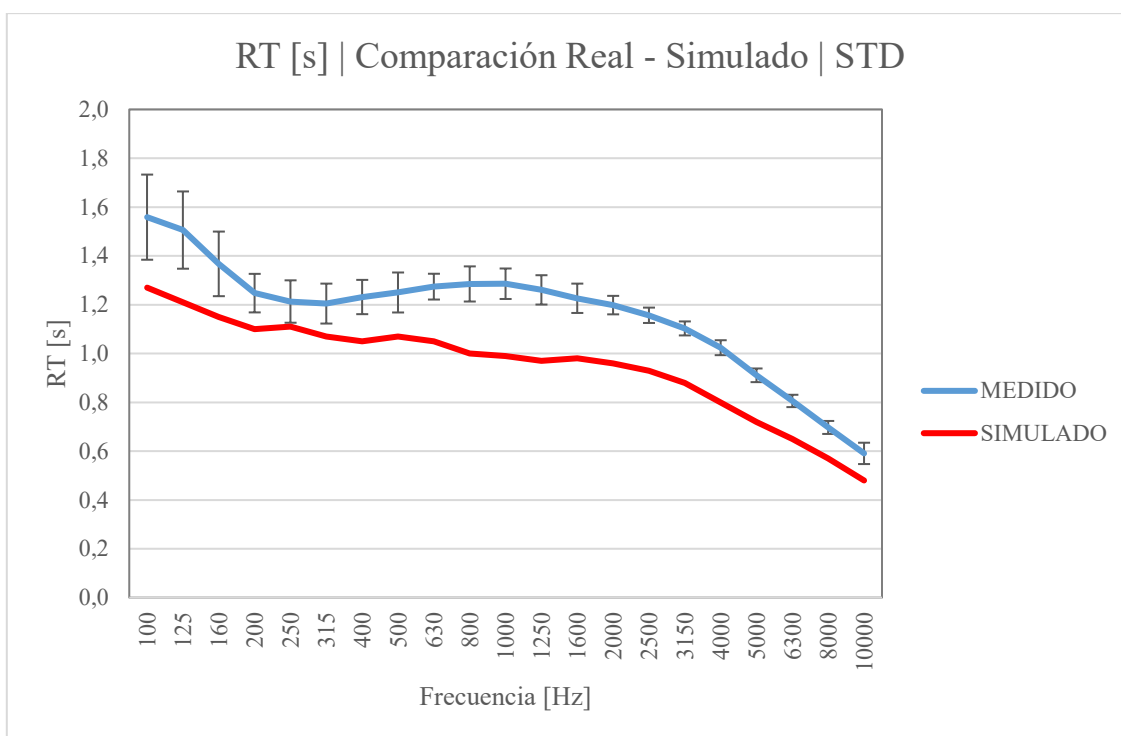


Figura 78. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro RT

Tabla 32. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro RT

RT [s]   STD			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	1,56	0,17	1,27
125	1,51	0,16	1,21
160	1,37	0,13	1,15
200	1,25	0,08	1,10
250	1,21	0,09	1,11
315	1,20	0,08	1,07
400	1,23	0,07	1,05
500	1,25	0,08	1,07
630	1,27	0,05	1,05
800	1,29	0,07	1,00
1000	1,29	0,06	0,99
1250	1,26	0,06	0,97
1600	1,23	0,06	0,98
2000	1,20	0,04	0,96
2500	1,16	0,03	0,93
3150	1,10	0,03	0,88
4000	1,02	0,03	0,80
5000	0,91	0,03	0,72
6300	0,81	0,03	0,65
8000	0,70	0,03	0,57
10000	0,59	0,04	0,48

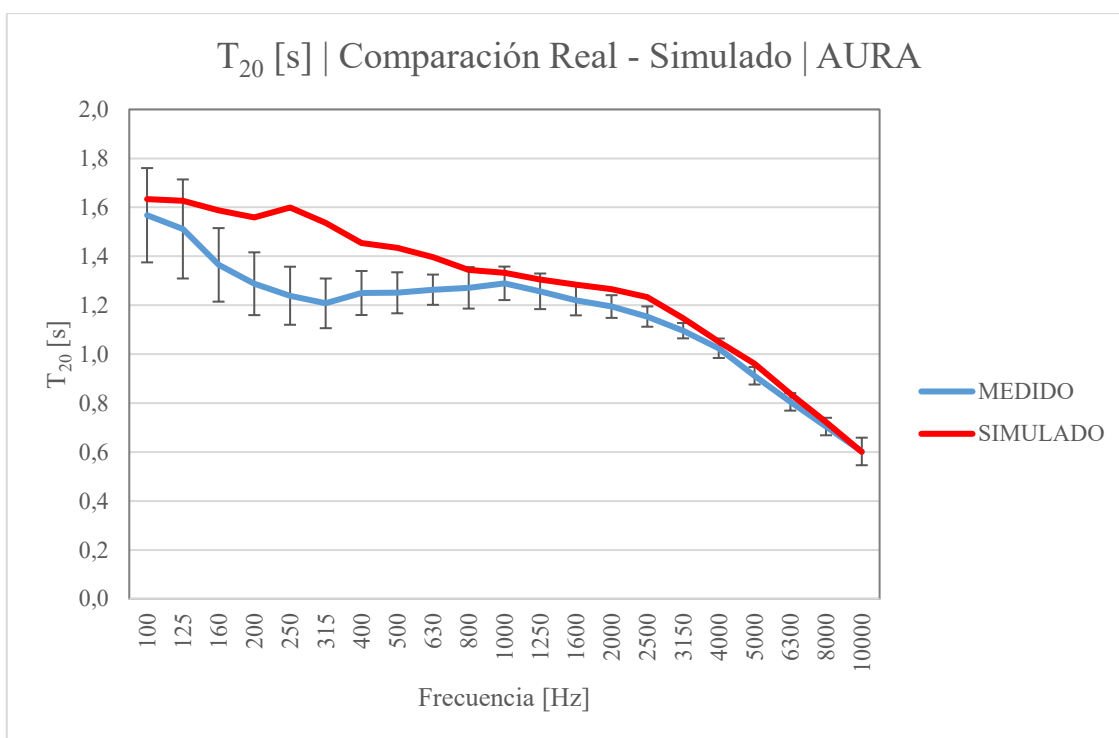


Figura 79. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_{20}$

Tabla 33. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_{20}$

<b><math>T_{20}</math> [s]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>100</b>	1,57	0,19	1,63
<b>125</b>	1,51	0,20	1,63
<b>160</b>	1,36	0,15	1,59
<b>200</b>	1,29	0,13	1,56
<b>250</b>	1,24	0,12	1,60
<b>315</b>	1,21	0,10	1,54
<b>400</b>	1,25	0,09	1,45
<b>500</b>	1,25	0,08	1,44
<b>630</b>	1,26	0,06	1,40
<b>800</b>	1,27	0,08	1,34
<b>1000</b>	1,29	0,07	1,33
<b>1250</b>	1,26	0,07	1,31
<b>1600</b>	1,22	0,06	1,28
<b>2000</b>	1,19	0,05	1,27
<b>2500</b>	1,15	0,04	1,23
<b>3150</b>	1,10	0,03	1,15
<b>4000</b>	1,02	0,04	1,05
<b>5000</b>	0,91	0,04	0,96
<b>6300</b>	0,80	0,04	0,84
<b>8000</b>	0,70	0,04	0,72
<b>10000</b>	0,60	0,06	0,60

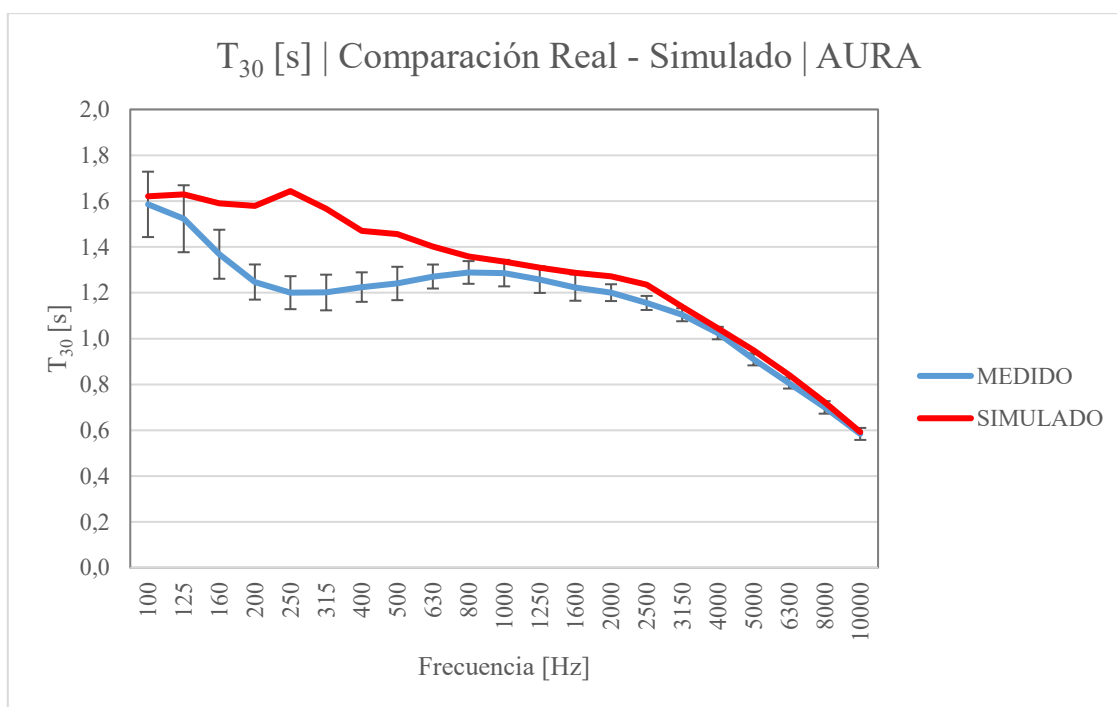


Figura 80. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_{30}$

Tabla 34. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_{30}$

<b><math>T_{30}</math> [s]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>100</b>	1,59	0,14	1,62
<b>125</b>	1,52	0,15	1,63
<b>160</b>	1,37	0,11	1,59
<b>200</b>	1,25	0,08	1,58
<b>250</b>	1,20	0,07	1,64
<b>315</b>	1,20	0,08	1,57
<b>400</b>	1,22	0,06	1,47
<b>500</b>	1,24	0,07	1,46
<b>630</b>	1,27	0,05	1,40
<b>800</b>	1,29	0,05	1,36
<b>1000</b>	1,29	0,06	1,34
<b>1250</b>	1,26	0,06	1,31
<b>1600</b>	1,22	0,06	1,29
<b>2000</b>	1,20	0,04	1,27
<b>2500</b>	1,16	0,03	1,23
<b>3150</b>	1,10	0,03	1,14
<b>4000</b>	1,02	0,03	1,05
<b>5000</b>	0,91	0,03	0,95
<b>6300</b>	0,81	0,02	0,84
<b>8000</b>	0,70	0,03	0,72
<b>10000</b>	0,58	0,03	0,59

- **Parámetros energéticos:**

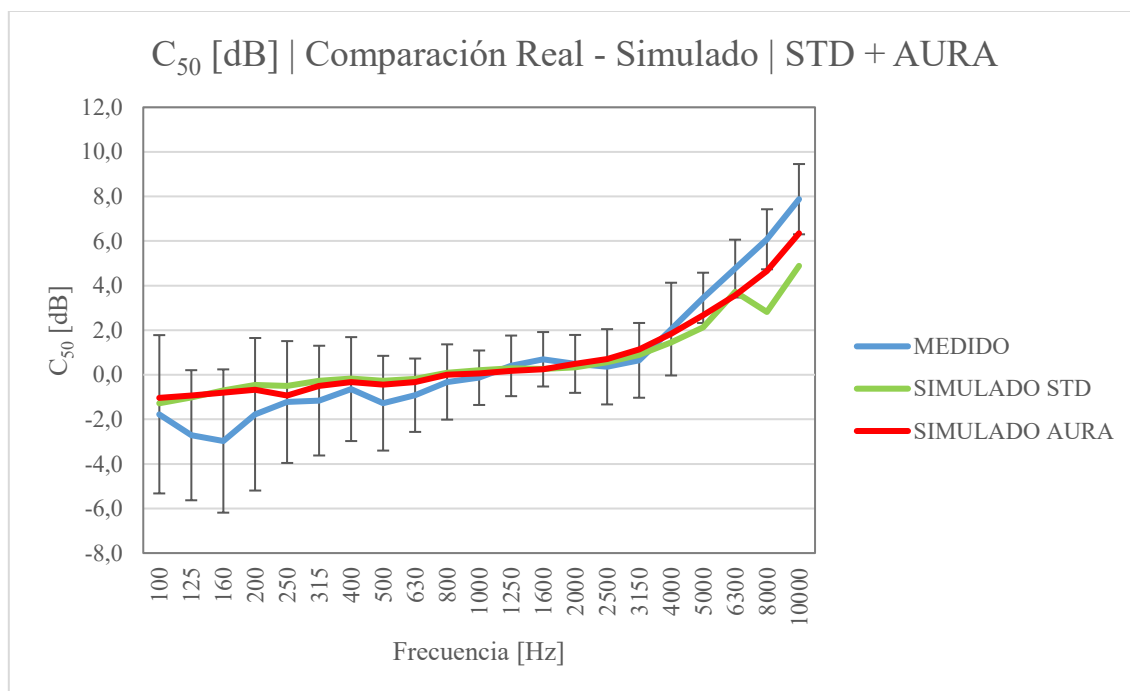


Figura 81. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro C<sub>50</sub>

Tabla 35. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro C<sub>50</sub>

Frecuencias [Hz]	C <sub>50</sub> [dB]   STD			C <sub>50</sub> [dB]   AURA		
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	-1,77	3,55	-1,28	-1,77	3,55	-1,04
125	-2,71	2,92	-1,02	-2,71	2,92	-0,93
160	-2,97	3,21	-0,70	-2,97	3,21	-0,80
200	-1,77	3,42	-0,46	-1,77	3,42	-0,67
250	-1,22	2,73	-0,51	-1,22	2,73	-0,93
315	-1,16	2,46	-0,27	-1,16	2,46	-0,51
400	-0,64	2,33	-0,17	-0,64	2,33	-0,33
500	-1,28	2,13	-0,27	-1,28	2,13	-0,45
630	-0,92	1,65	-0,18	-0,92	1,65	-0,33
800	-0,32	1,69	0,09	-0,32	1,69	0,00
1000	-0,13	1,22	0,21	-0,13	1,22	0,06
1250	0,40	1,36	0,29	0,40	1,36	0,17
1600	0,70	1,22	0,26	0,70	1,22	0,25
2000	0,49	1,30	0,34	0,49	1,30	0,49
2500	0,36	1,69	0,56	0,36	1,69	0,71
3150	0,65	1,68	0,89	0,65	1,68	1,14
4000	2,05	2,08	1,45	2,05	2,08	1,85
5000	3,45	1,13	2,13	3,45	1,13	2,67
6300	4,76	1,30	3,72	4,76	1,30	3,56
8000	6,08	1,35	2,81	6,08	1,35	4,66
10000	7,88	1,58	4,89	7,88	1,58	6,35

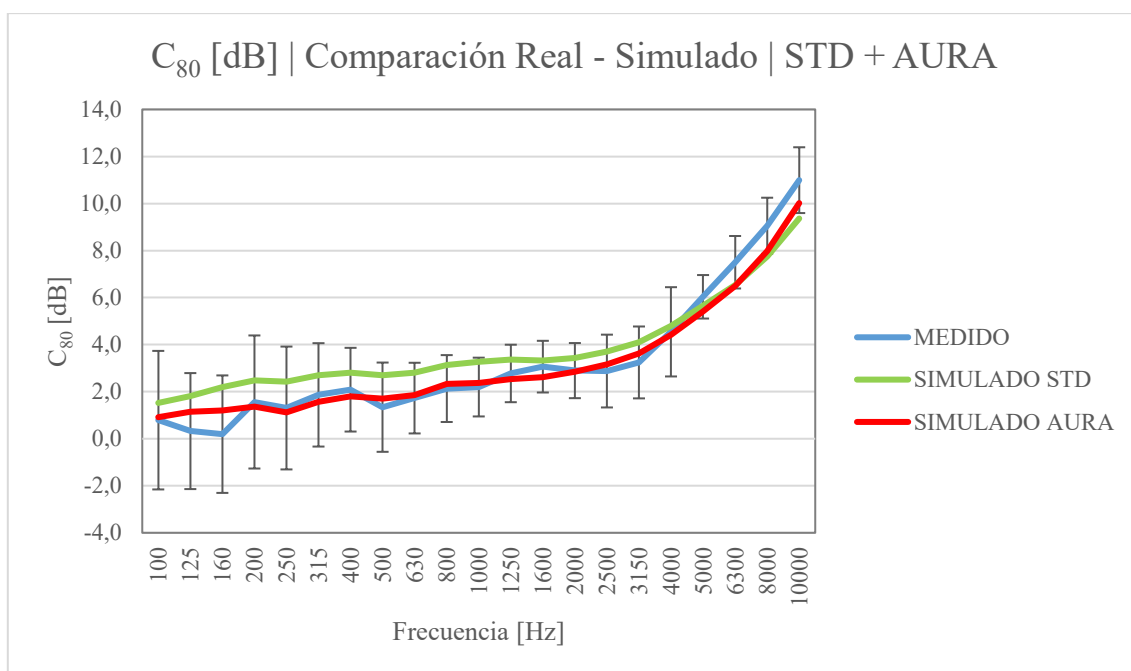


Figura 82. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro C<sub>80</sub>

Tabla 36. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro C<sub>80</sub>

Frecuencias [Hz]	C <sub>80</sub> [dB]   STD			C <sub>80</sub> [dB]   AURA		
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	0,79	2,95	1,52	0,79	2,95	0,92
125	0,32	2,47	1,82	0,32	2,47	1,15
160	0,20	2,50	2,19	0,20	2,50	1,20
200	1,56	2,83	2,48	1,56	2,83	1,36
250	1,31	2,61	2,42	1,31	2,61	1,12
315	1,86	2,20	2,70	1,86	2,20	1,57
400	2,08	1,78	2,81	2,08	1,78	1,80
500	1,34	1,90	2,69	1,34	1,90	1,71
630	1,73	1,50	2,80	1,73	1,50	1,86
800	2,13	1,42	3,13	2,13	1,42	2,33
1000	2,20	1,25	3,27	2,20	1,25	2,38
1250	2,78	1,22	3,36	2,78	1,22	2,54
1600	3,06	1,10	3,32	3,06	1,10	2,62
2000	2,90	1,17	3,43	2,90	1,17	2,85
2500	2,88	1,55	3,70	2,88	1,55	3,16
3150	3,24	1,53	4,10	3,24	1,53	3,62
4000	4,55	1,90	4,80	4,55	1,90	4,42
5000	6,03	0,92	5,65	6,03	0,92	5,40
6300	7,50	1,12	6,54	7,50	1,12	6,49
8000	9,05	1,19	7,75	9,05	1,19	7,98
10000	10,99	1,40	9,36	10,99	1,40	10,02

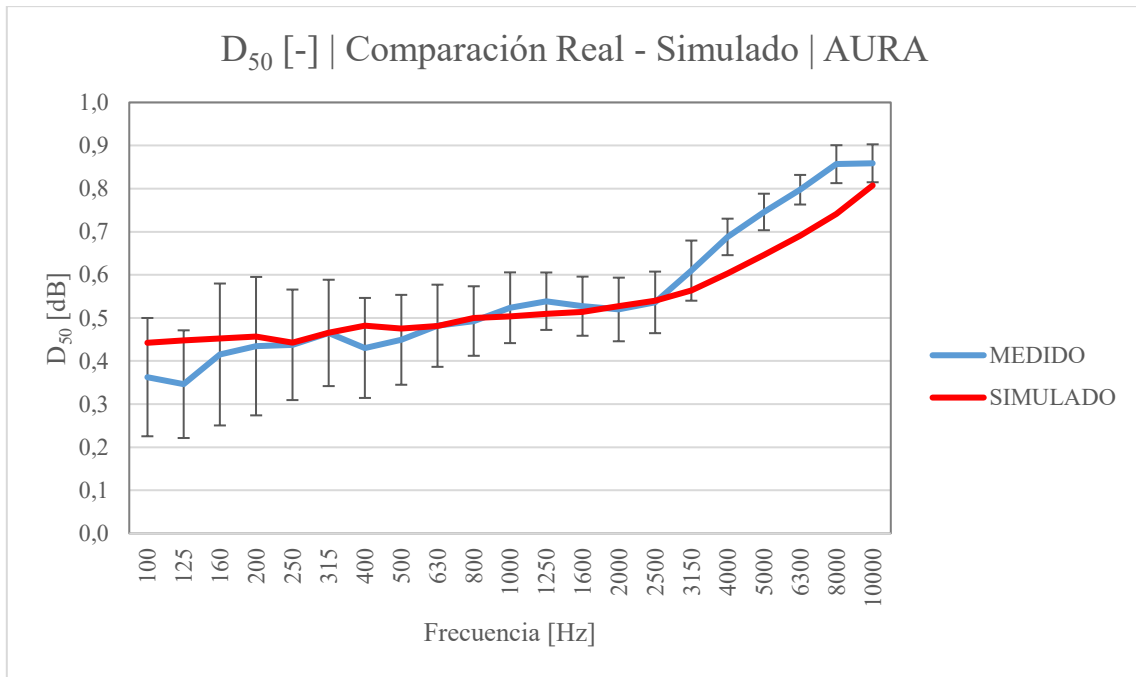


Figura 83. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $D_{50}$

Tabla 37. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $D_{50}$

<b><math>D_{50}</math> [-]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>100</b>	0,36	0,14	0,44
<b>125</b>	0,35	0,12	0,45
<b>160</b>	0,42	0,16	0,45
<b>200</b>	0,43	0,16	0,46
<b>250</b>	0,44	0,13	0,44
<b>315</b>	0,47	0,12	0,47
<b>400</b>	0,43	0,12	0,48
<b>500</b>	0,45	0,10	0,48
<b>630</b>	0,48	0,10	0,48
<b>800</b>	0,49	0,08	0,50
<b>1000</b>	0,52	0,08	0,50
<b>1250</b>	0,54	0,07	0,51
<b>1600</b>	0,53	0,07	0,51
<b>2000</b>	0,52	0,07	0,53
<b>2500</b>	0,54	0,07	0,54
<b>3150</b>	0,61	0,07	0,56
<b>4000</b>	0,69	0,04	0,60
<b>5000</b>	0,75	0,04	0,65
<b>6300</b>	0,80	0,03	0,69
<b>8000</b>	0,86	0,04	0,74
<b>10000</b>	0,86	0,04	0,81

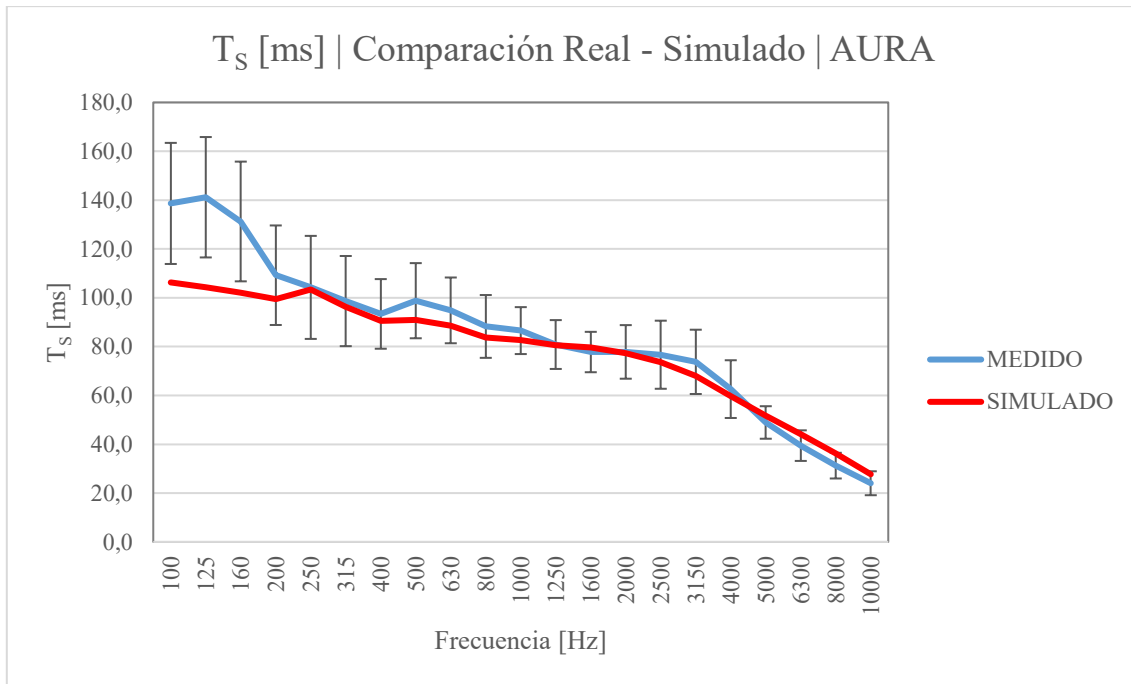


Figura 84. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_s$

Tabla 38. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro  $T_s$

<b><math>T_s</math> [ms]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>100</b>	138,64	24,79	106,29
<b>125</b>	141,17	24,65	104,28
<b>160</b>	131,25	24,52	102,07
<b>200</b>	109,24	20,38	99,40
<b>250</b>	104,26	21,10	103,34
<b>315</b>	98,65	18,46	96,29
<b>400</b>	93,39	14,26	90,50
<b>500</b>	98,81	15,38	90,93
<b>630</b>	94,84	13,47	88,52
<b>800</b>	88,26	12,87	83,70
<b>1000</b>	86,56	9,61	82,62
<b>1250</b>	80,86	10,01	80,52
<b>1600</b>	77,78	8,28	79,72
<b>2000</b>	77,83	10,98	77,27
<b>2500</b>	76,67	13,94	73,67
<b>3150</b>	73,76	13,17	67,96
<b>4000</b>	62,59	11,82	59,75
<b>5000</b>	48,93	6,66	51,75
<b>6300</b>	39,45	6,26	44,11
<b>8000</b>	31,25	5,26	36,25
<b>10000</b>	24,05	4,90	27,72

• **Parámetros espaciales:**

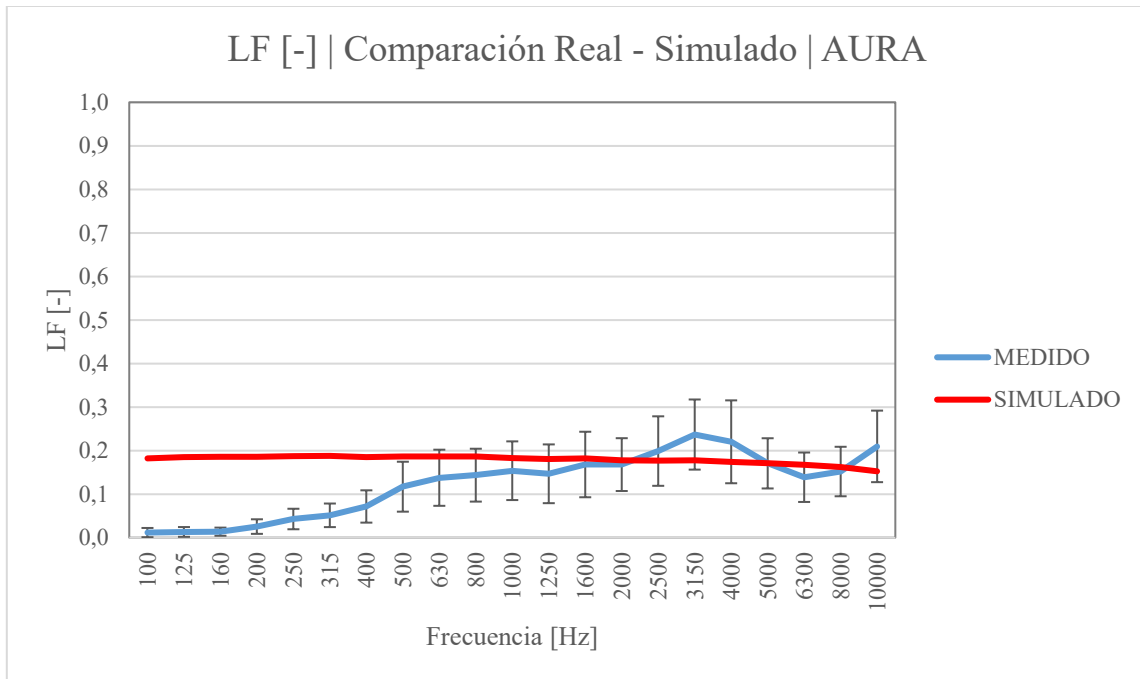


Figura 85. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LF

Tabla 39. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LF

LF [-]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	0,01	0,01	0,18
125	0,01	0,01	0,19
160	0,01	0,01	0,19
200	0,03	0,02	0,19
250	0,04	0,02	0,19
315	0,05	0,03	0,19
400	0,07	0,04	0,18
500	0,12	0,06	0,19
630	0,14	0,06	0,19
800	0,14	0,06	0,19
1000	0,15	0,07	0,18
1250	0,15	0,07	0,18
1600	0,17	0,08	0,18
2000	0,17	0,06	0,18
2500	0,20	0,08	0,18
3150	0,24	0,08	0,18
4000	0,22	0,10	0,17
5000	0,17	0,06	0,17
6300	0,14	0,06	0,17
8000	0,15	0,06	0,16
10000	0,21	0,08	0,15

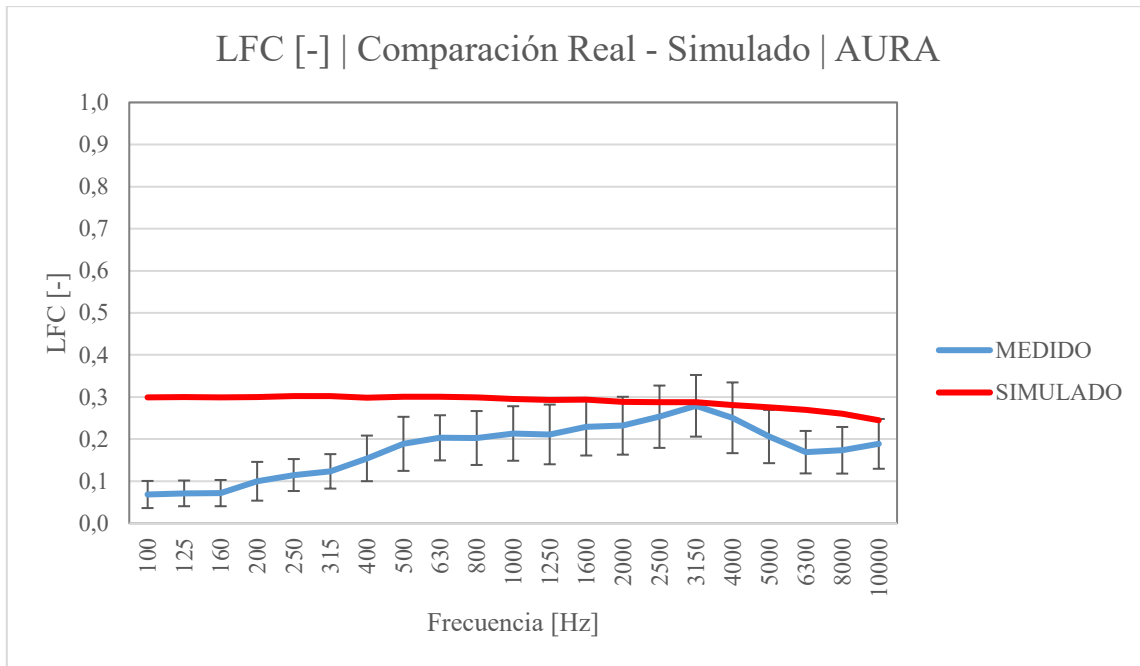


Figura 86. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LFC

Tabla 40. Comparación Medido – Simulado en tercios de octava. Parámetro LFC

LFC [-]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
100	0,07	0,03	0,30
125	0,07	0,03	0,30
160	0,07	0,03	0,30
200	0,10	0,05	0,30
250	0,11	0,04	0,30
315	0,12	0,04	0,30
400	0,15	0,05	0,30
500	0,19	0,06	0,30
630	0,20	0,05	0,30
800	0,20	0,06	0,30
1000	0,21	0,06	0,30
1250	0,21	0,07	0,29
1600	0,23	0,07	0,29
2000	0,23	0,07	0,29
2500	0,25	0,07	0,29
3150	0,28	0,07	0,29
4000	0,25	0,08	0,28
5000	0,21	0,06	0,28
6300	0,17	0,05	0,27
8000	0,17	0,06	0,26
10000	0,19	0,06	0,24

• **Parámetros de inteligibilidad:**

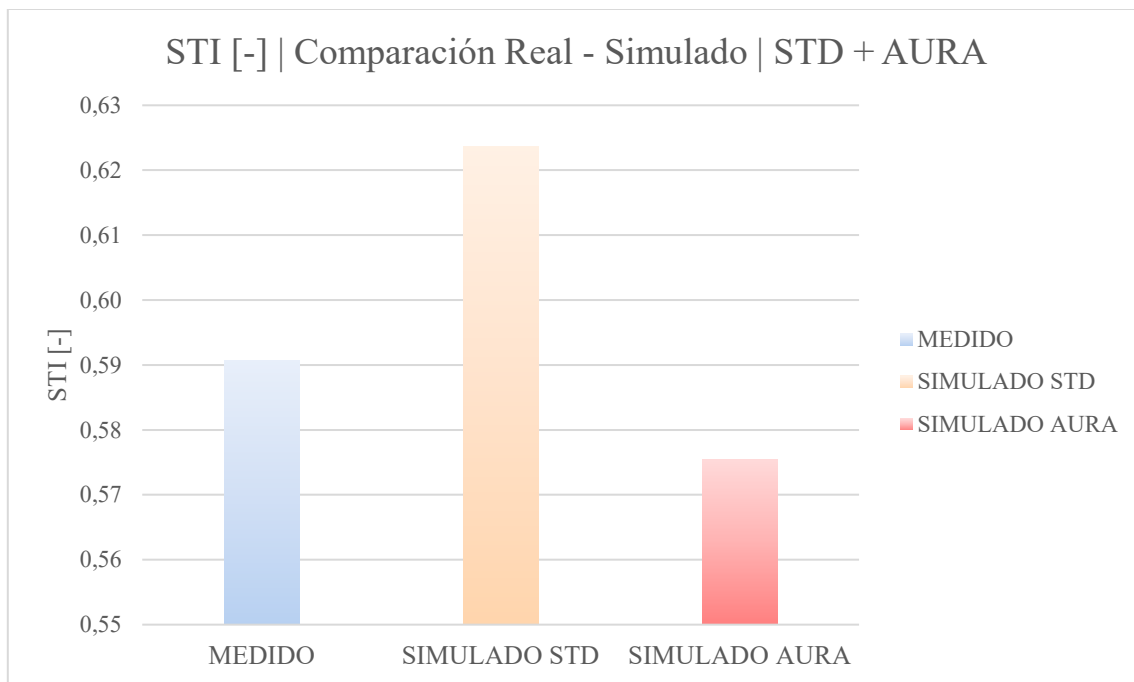


Figura 87. Comparación Medido – Simulado. Parámetro STI

Tabla 41. Comparación Medido – Simulado. Parámetro STI

STI [-]   STD			STI [-]   AURA		
MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA
0,59	0,04	0,62	0,59	0,04	0,58

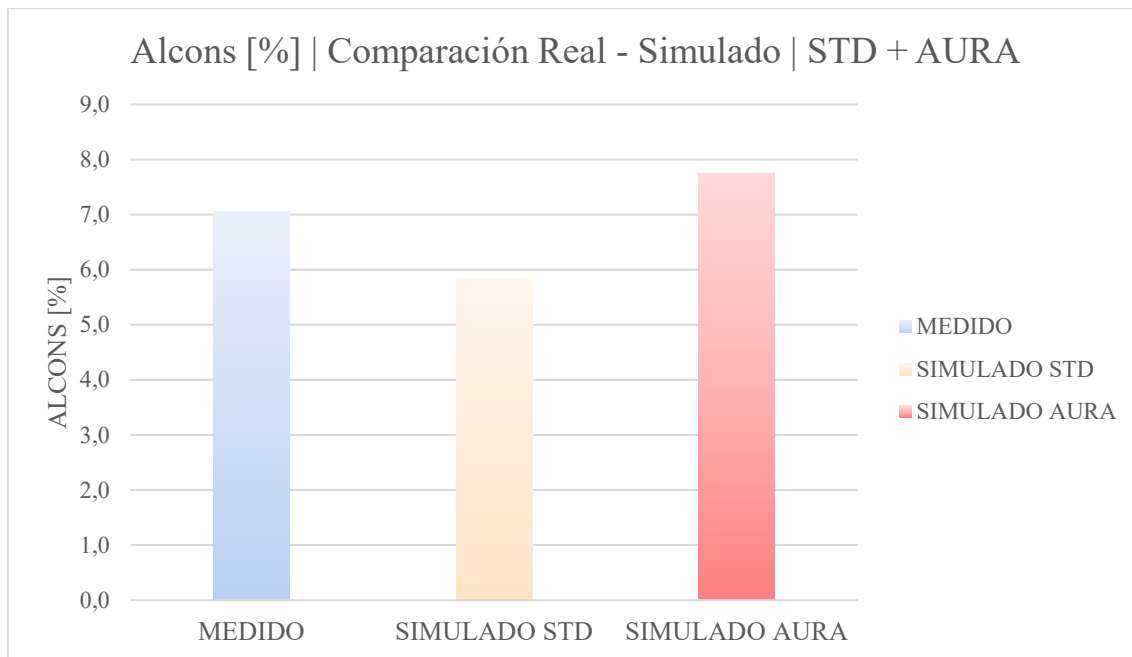


Figura 88. Comparación Medido – Simulado. Parámetro ALCONS

Tabla 42. Comparación Medido – Simulado. Parámetro ALCONS

ALCONS [%]   STD			ALCONS [%]   AURA		
MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA
7,06	1,19	5,82	7,06	1,19	7,75

Como se puede observar en las gráficas, la validación final es exitosa. Todos los parámetros en general están bien adaptados a la realidad.

Poniendo la atención en los parámetros temporales, se observa lo que se explicó en el ajuste de la curva del TR. Es decir, en la figura 78, el TR está calculado por *Standard Mapping* y los valores simulados son inferiores a los reales. En las figuras 79 y 80 correspondientes a  $T_{20}$  y  $T_{30}$ , se visualiza que el TR ha aumentado considerablemente debido a las aproximaciones y sobreponderaciones de EASE al calcular mediante *AURA Mapping*.

En general, los valores simulados se encuentran siempre en el rango de la desviación típica de las mediciones, aunque a 250 Hz se aprecia un pico en los parámetros temporales que hace subir la métrica JND a dicha frecuencia. Se corresponde con la frecuencia de resonancia del panel resonador colocado en el techo.

Los parámetros de inteligibilidad son parecidos, sobre todo el ALCONS, cuya diferencia en *AURA Mapping* es de menos de un punto. Este método de cálculo al aportar (generalmente) más exactitud se llega a aproximar más fielmente en las simulaciones.

Por último se señala la aleatoriedad de los resultados de LF y LFC, sobre todo a baja frecuencia, no coincidiendo con las medidas in-situ. Sin embargo, los valores temporales, energéticos y de inteligibilidad ofrecen unos resultados notables.

Tabla 43. Tabla en métrica JND en tercios de octava de la validación final

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	1	1	1	3	1	1	1	1	3	4	4	5				
125 Hz	1	1	1	3	2	2	2	1	3	4	4	5				
160 Hz	2	2	2	3	3	3	2	2	1	3	4	5				
200 Hz	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	4	5				
250 Hz	3	3	4	2	1	1	2	1	1	1	3	4				
315 Hz	2	3	4	2	1	1	1	1	1	1	3	4				
400 Hz	2	2	3	2	1	1	1	1	2	1	3	3				
500 Hz	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	3				
630 Hz	1	2	2	3	1	1	2	1	1	1	1	2				
800 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				
1000 Hz	1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1
1250 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				
1600 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				
2000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				
2500 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1				
3150 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	1				
4000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1				
5000 Hz	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2				
6300 Hz	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	3				
8000 Hz	2	1	1	2	4	2	2	2	2	1	1	2				
10000 Hz	2	1	1	2	3	2	2	1	1	1	2	2				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	149	62	30	11	4	0	0	0	0	0	256
% sobre Total	58%	24%	12%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	
% acumulado	58%	82%	94%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Por otro lado, se presenta la validación del modelo realizado en bandas de frecuencia de **octava**. De la misma manera que para tercios de octavas, se presenta la comparativa de cada parámetro en las figuras 89-100. Además, se detallan los datos de las gráficas en las tablas 44 a 55. Por último se muestra la tabla final 56 donde se representan los escalones JND para cada parámetro.

- **Parámetros temporales:**

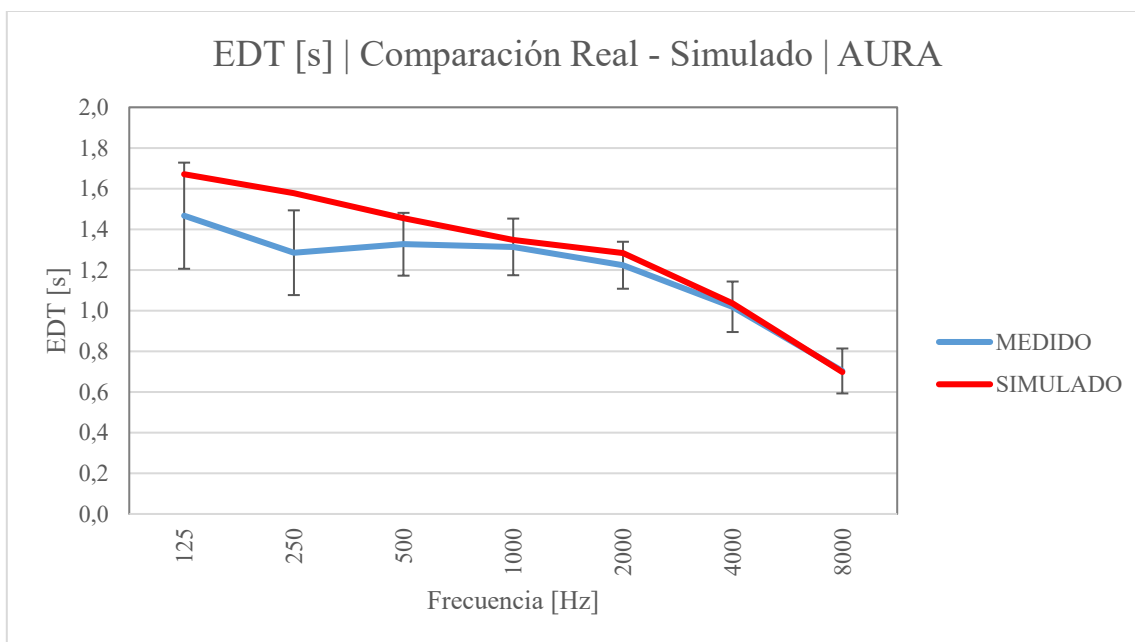


Figura 89. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro EDT

Tabla 44. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro EDT

EDT [s]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
<b>125</b>	1,47	0,26	1,67
<b>250</b>	1,28	0,21	1,58
<b>500</b>	1,33	0,15	1,45
<b>1000</b>	1,31	0,14	1,35
<b>2000</b>	1,22	0,12	1,28
<b>4000</b>	1,02	0,12	1,04
<b>8000</b>	0,70	0,11	0,70

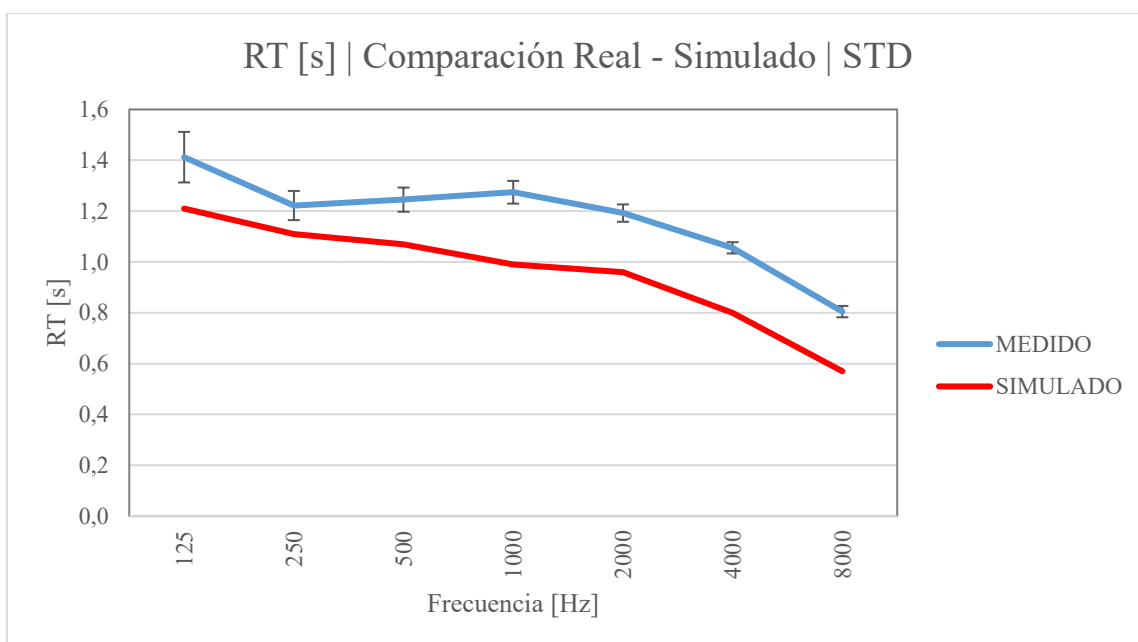


Figura 90. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro RT

Tabla 45. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro RT

RT [s]   STD			
Frecuencias [Hz]	REAL	DESVIACIÓN	SIMULADO
<b>125</b>	1,41	0,10	1,21
<b>250</b>	1,22	0,06	1,11
<b>500</b>	1,25	0,05	1,07
<b>1000</b>	1,27	0,04	0,99
<b>2000</b>	1,19	0,03	0,96
<b>4000</b>	1,06	0,02	0,80
<b>8000</b>	0,80	0,02	0,57

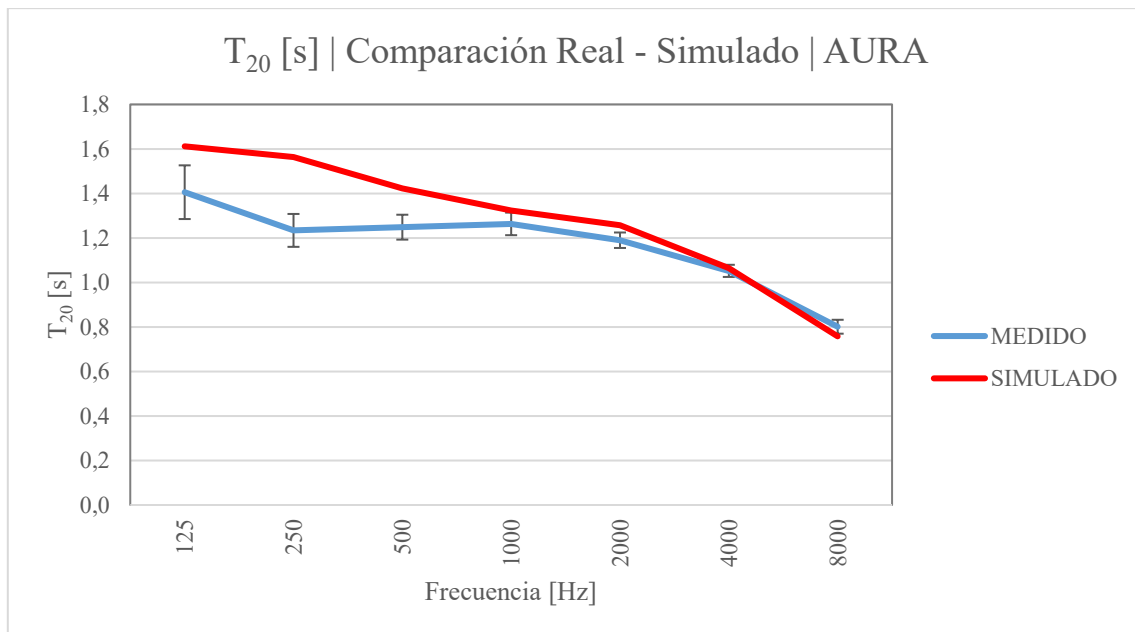


Figura 91. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_{20}$

Tabla 46. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_{20}$

<b>T<sub>20</sub> [s]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>125</b>	1,41	0,12	1,61
<b>250</b>	1,23	0,07	1,56
<b>500</b>	1,25	0,06	1,42
<b>1000</b>	1,26	0,05	1,32
<b>2000</b>	1,19	0,03	1,26
<b>4000</b>	1,05	0,03	1,06
<b>8000</b>	0,80	0,03	0,76

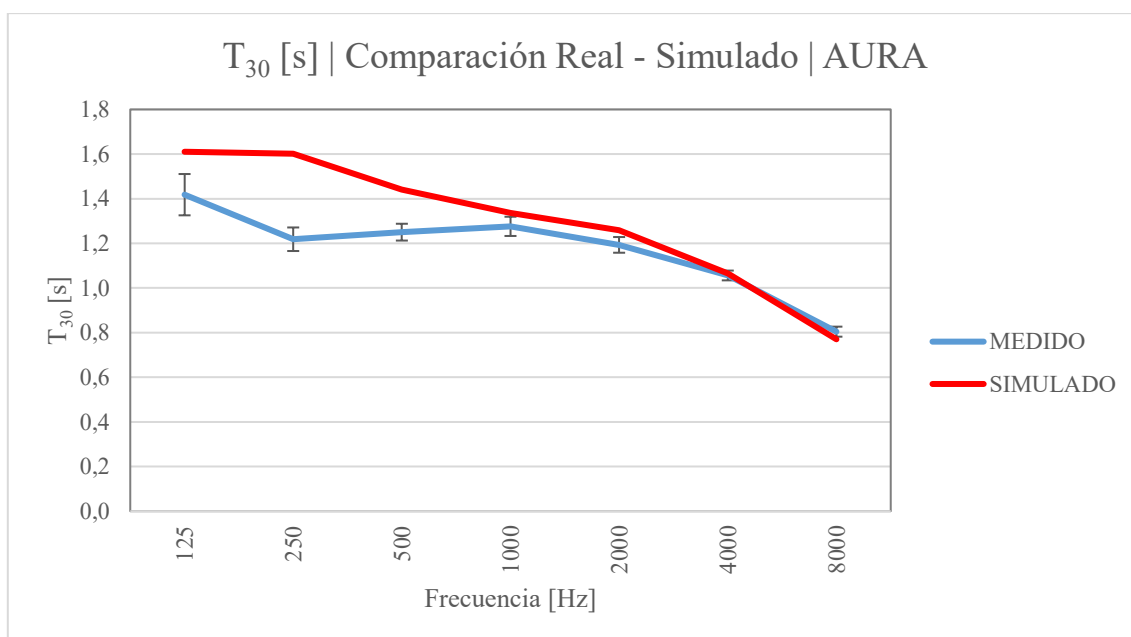


Figura 92. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_{30}$

Tabla 47. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_{30}$

<b>T<sub>30</sub> [s]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>125</b>	1,42	0,09	1,61
<b>250</b>	1,22	0,05	1,60
<b>500</b>	1,25	0,04	1,44
<b>1000</b>	1,28	0,04	1,34
<b>2000</b>	1,19	0,04	1,26
<b>4000</b>	1,06	0,02	1,06
<b>8000</b>	0,80	0,02	0,77

• **Parámetros energéticos:**

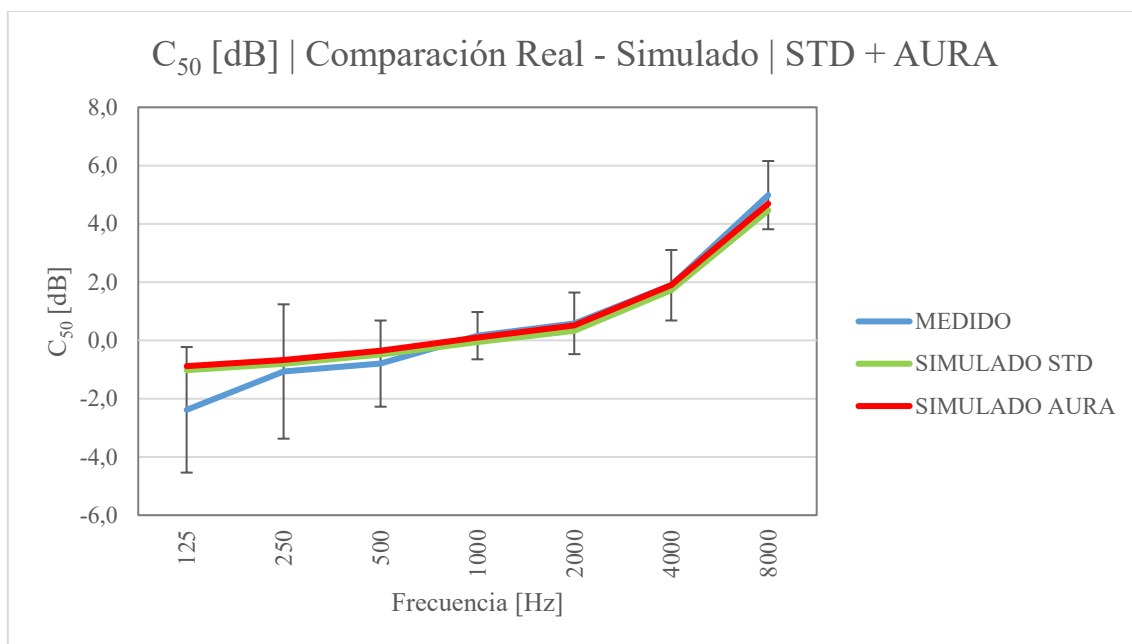


Figura 93. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro C<sub>50</sub>

Tabla 48. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro C<sub>50</sub>

Frecuencias [Hz]	C <sub>50</sub> [dB]   STD			C <sub>50</sub> [dB]   AURA		
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
125	-2,38	2,16	-1,02	-2,38	2,16	-0,88
250	-1,07	2,31	-0,80	-1,07	2,31	-0,67
500	-0,80	1,48	-0,49	-0,80	1,48	-0,35
1000	0,16	0,81	-0,05	0,16	0,81	0,10
2000	0,59	1,06	0,33	0,59	1,06	0,51
4000	1,89	1,21	1,72	1,89	1,21	1,90
8000	4,99	1,17	4,46	4,99	1,17	4,69

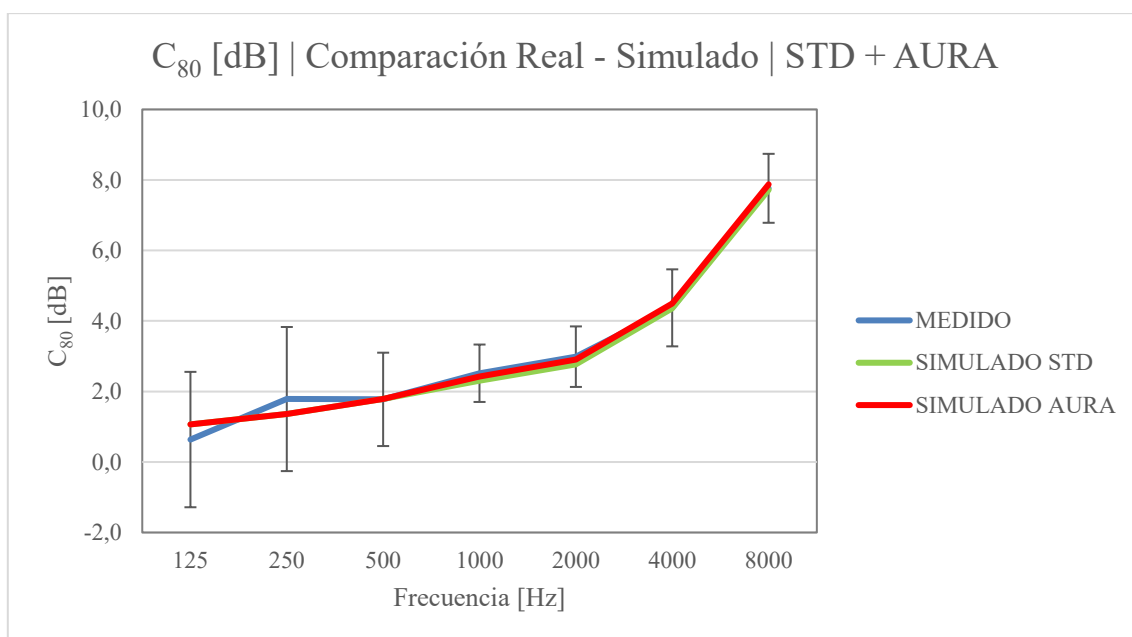


Figura 94. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro C<sub>80</sub>

Tabla 49. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro C<sub>80</sub>

Frecuencias [Hz]	C <sub>50</sub> [dB]   STD			C <sub>50</sub> [dB]   AURA		
	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
125	0,64	1,92	1,07	0,64	1,92	1,07
250	1,79	2,04	1,36	1,79	2,04	1,36
500	1,78	1,32	1,79	1,78	1,32	1,79
1000	2,52	0,81	2,31	2,52	0,81	2,43
2000	2,99	0,86	2,77	2,99	0,86	2,91
4000	4,37	1,09	4,36	4,37	1,09	4,50
8000	7,76	0,98	7,72	7,76	0,98	7,87

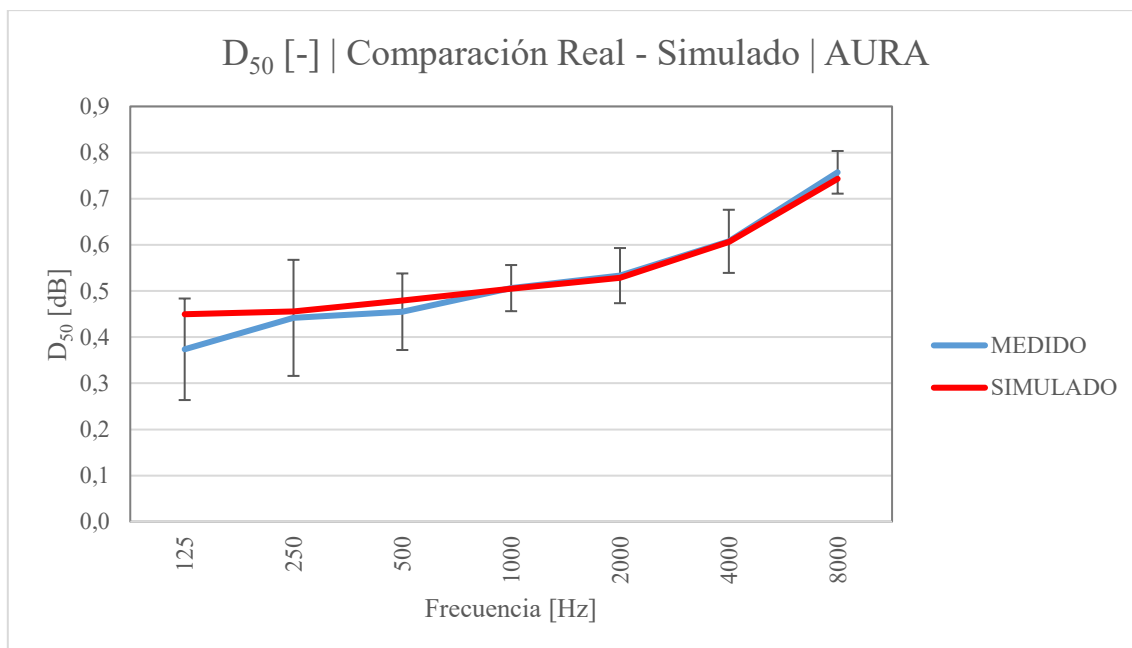


Figura 95. Comparación Medido – Simulado en octavas Parámetro  $D_{50}$

Tabla 50. Comparación Medido – Simulado en octavas Parámetro  $D_{50}$

<b><math>D_{50}</math> [-]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>125</b>	0,37	0,11	0,45
<b>250</b>	0,44	0,13	0,46
<b>500</b>	0,46	0,08	0,48
<b>1000</b>	0,51	0,05	0,50
<b>2000</b>	0,53	0,06	0,53
<b>4000</b>	0,61	0,07	0,61
<b>8000</b>	0,76	0,05	0,74

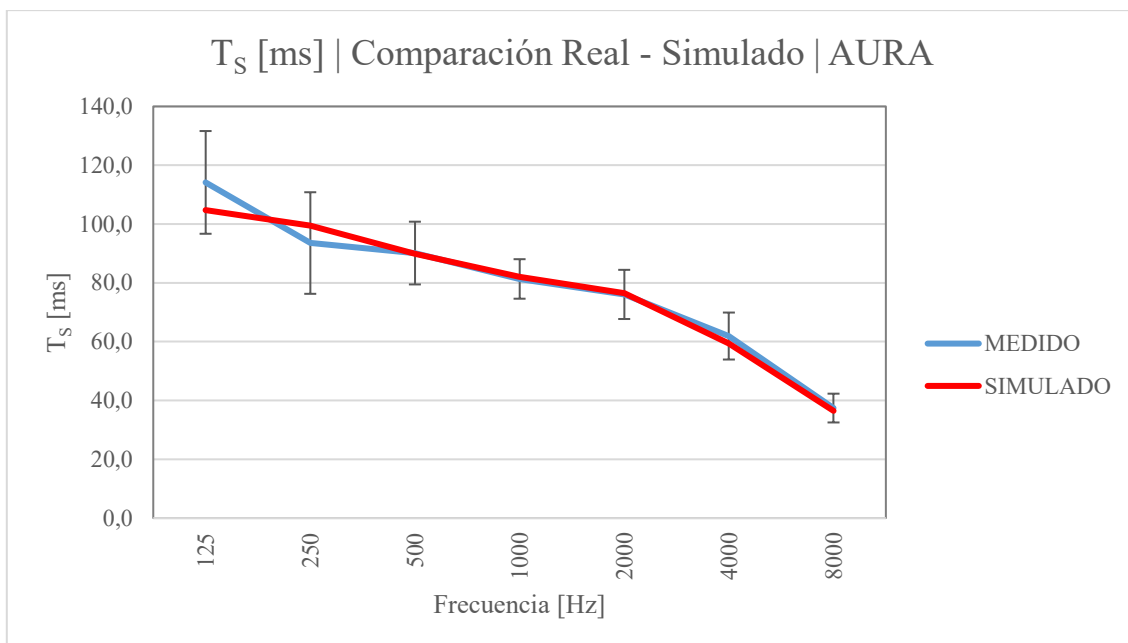


Figura 96. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_s$

Tabla 51. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro  $T_s$

<b><math>T_s</math> [ms]   AURA</b>			
<b>Frecuencias [Hz]</b>	<b>MEDIDO</b>	<b>DESVIACIÓN</b>	<b>SIMULADO</b>
<b>125</b>	114,16	17,47	104,74
<b>250</b>	93,54	17,28	99,50
<b>500</b>	90,13	10,67	89,86
<b>1000</b>	81,33	6,72	82,07
<b>2000</b>	76,07	8,36	76,52
<b>4000</b>	61,91	7,99	59,40
<b>8000</b>	37,41	4,90	36,48

- **Parámetros espaciales:**

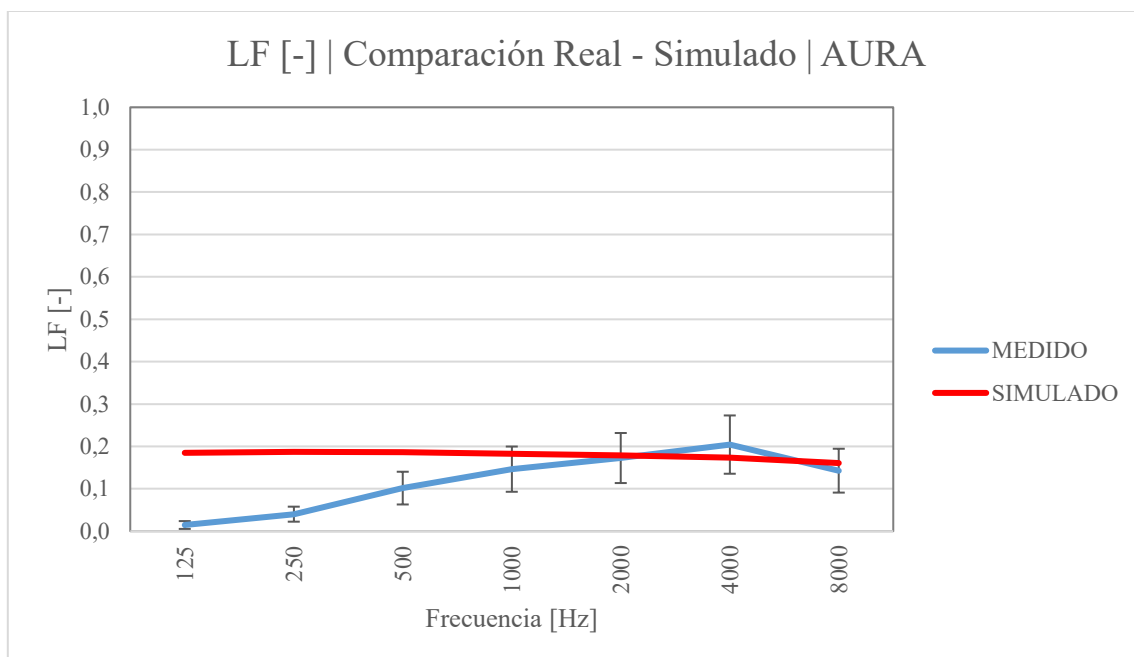


Figura 97. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LF

Tabla 52. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LF

LF [-]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
<b>125</b>	0,01	0,01	0,18
<b>250</b>	0,04	0,02	0,19
<b>500</b>	0,10	0,04	0,19
<b>1000</b>	0,15	0,05	0,18
<b>2000</b>	0,17	0,06	0,18
<b>4000</b>	0,20	0,07	0,17
<b>8000</b>	0,14	0,05	0,16

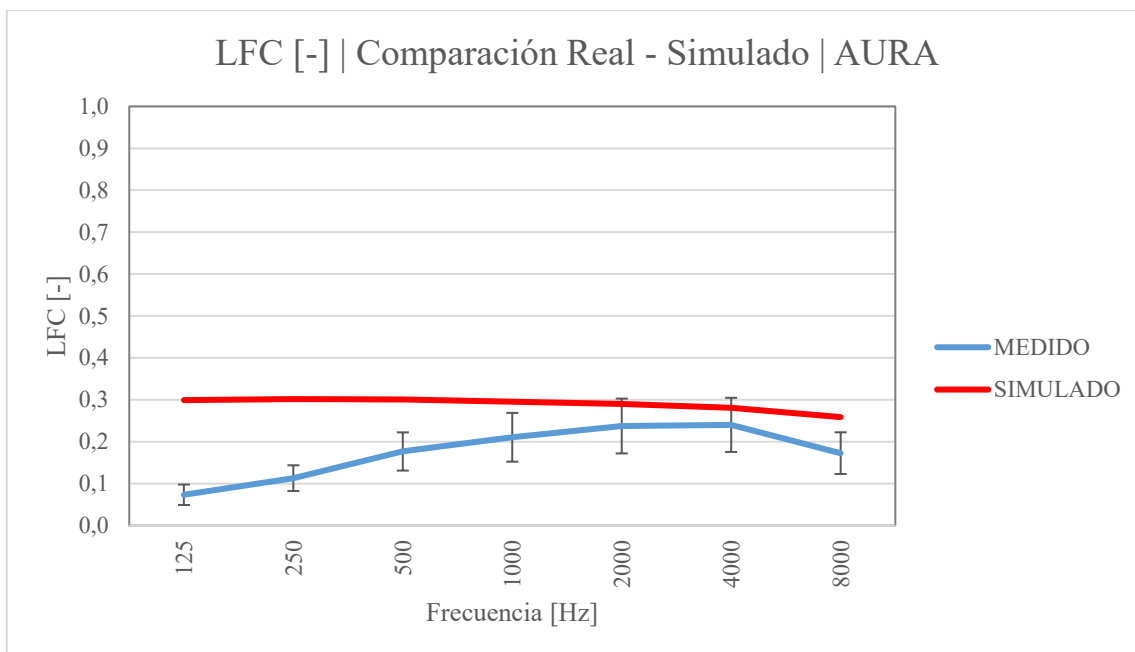


Figura 98. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LFC

Tabla 53. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro LFC

LFC [-]   AURA			
Frecuencias [Hz]	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO
<b>125</b>	0,07	0,02	0,30
<b>250</b>	0,11	0,03	0,30
<b>500</b>	0,18	0,05	0,30
<b>1000</b>	0,21	0,06	0,30
<b>2000</b>	0,24	0,07	0,29
<b>4000</b>	0,24	0,06	0,28
<b>8000</b>	0,17	0,05	0,26

- **Parámetros de inteligibilidad:**

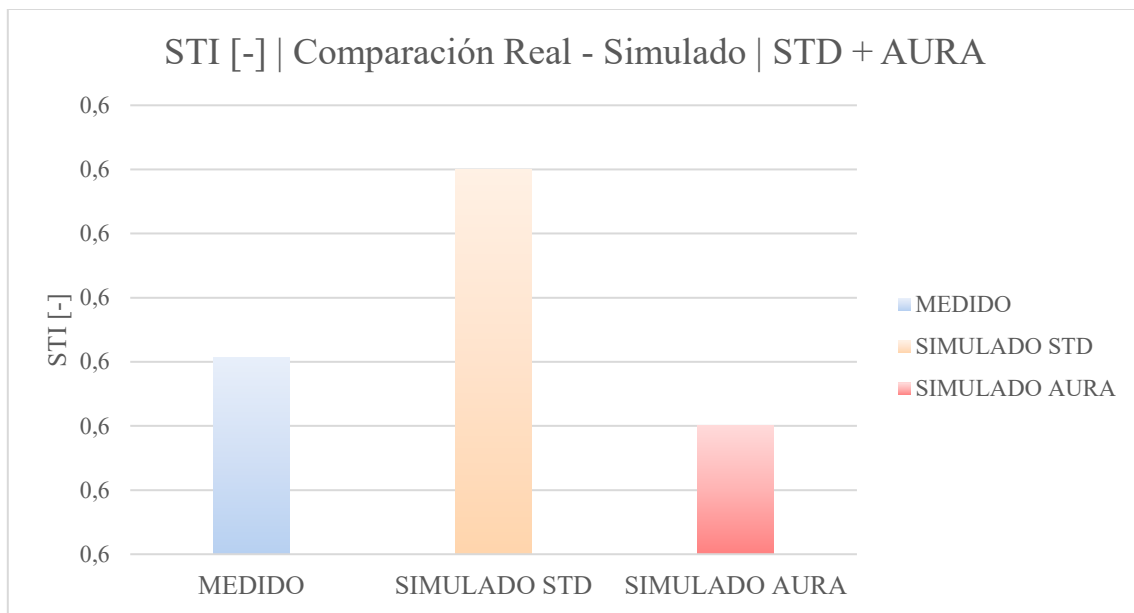


Figura 99. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro STI

Tabla 54. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro STI

STI [-]   STD			STI [-]   AURA		
MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA
0,59	0,04	0,62	0,59	0,04	0,58

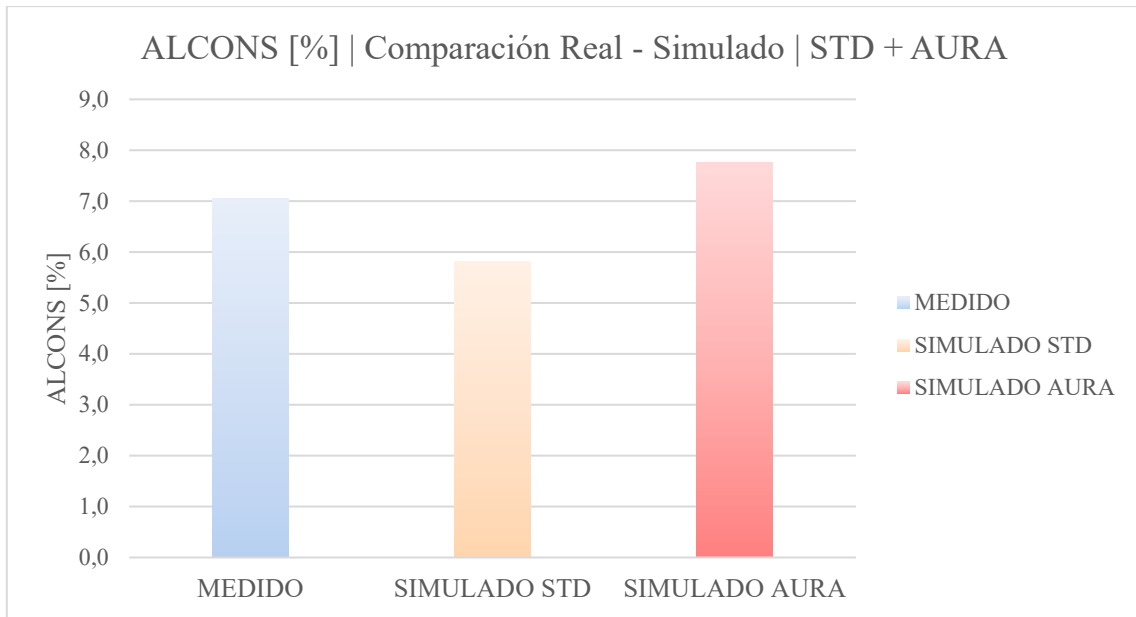


Figura 100. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro ALCONS

Tabla 55. Comparación Medido – Simulado en octavas. Parámetro ALCONS

ALCONS [%]   STD			ALCONS [%]   AURA		
MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO STD	MEDIDO	DESVIACIÓN	SIMULADO AURA
7,06	1,19	5,82	7,06	1,19	7,75

Tabla 56. Tabla de escalones JND en octavas de la validación final

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	ALcons M STD	ALcons M AURA
125 Hz	2	2	2	3	3	2	1	1	3	1	4	5				
250 Hz	3	3	4	2	1	1	1	1	1	1	3	4				
500 Hz	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	3				
1000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
2000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				
4000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1				
8000 Hz	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2				

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Cantidad por escalón	61	12	11	3	1	0	0	0	0	0	88
% sobre Total	69%	14%	13%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	
% acumulado	69%	83%	95%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

Como se puede observar en las gráficas, y más concretamente en la tabla 56, los resultados son óptimos y muy semejantes a lo visto en tercios de octava. Tan solo varían algunos valores de frecuencias determinadas o el parámetro STI por el método *STANDARD* en un escalón



## 8. PRESUPUESTO

Para realización del proyecto es necesario contar con herramientas concretas y personal de trabajo, y ambas cosas conllevan un gasto. En la tabla 57 se resumen y desglosan todos los gastos que se tienen que tener en cuenta al realizar un proyecto de estas características. En este caso se particularizan los costes para el proyecto llevado a cabo.

Realmente, el coste sufrido es mucho menor al establecido en la tabla 57 ya que el material (herramientas y software) utilizado ha sido prestado por la Universidad Politécnica de Madrid y la mano de obra no se tiene en cuenta. Esta última se establece en 15 euros / hora, siguiendo el promedio del mercado.

*Tabla 57. Presupuesto del proyecto*

Tipo	Concepto	Descripción	Cantidad	Unidad	Personas	Importe / Unidad	IMPORTE TOTAL
1	Herramientas	Alquiler de todas las herramientas e instrumentos: Fuente, micrófonos, cableados, tarjeta de sonido etc.	1	días	-	-	600,00 €
2	Software	Licencia de DIRAC 6.0	1	-	-	-	600,00 €
		Lincencia de EASE.4.4	1	-	-	-	300,00 €
3	Desplazamiento	Coste del desplazamiento en coche	1	-	-	-	65,00 €
4	Mano de obra	Obtención de documentación y estudio previo	15	horas	1	15,00 €	225,00 €
		Toma de medidas In-Situ	15	horas	4	15,00 €	900,00 €
		Procesado de medidas In-Situ	50	horas	1	15,00 €	750,00 €
		Creación del modelo geométrico.	100	horas	1	15,00 €	1 500,00 €
		Exportación a EASE y validación del modelo	80	horas	1	15,00 €	1 200,00 €
		Redacción de la memoria	80	horas	1	15,00 €	1 200,00 €
<b>TOTALES</b>			<b>340</b>	<b>horas</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7 340,00 €</b>



## 9. IMPACTO DEL PROYECTO

La salud y la tecnología son pilares fundamentales en la vida humana. Con este proyecto y la acústica aplicada a la arquitectura se puede mejorar la calidad de vida de las personas. La contribución de este proyecto en estos ámbitos (sociales, salud, tecnología) es importante aunque se perciba de forma indirecta. Pese a que el proyecto realizado se centra en la acústica virtual de recintos, se puede replicar la metodología seguida con el fin de aplicar nuevas soluciones tecnológicas e innovadoras en el tratamiento del sonido en otros ámbitos. Así, se tiene impacto transversal en varias facetas del desarrollo cotidiano (ocio, trabajo, descanso)

Este proyecto y el campo en el que se ubica está completamente ligado a alguno de los objetivos de desarrollo sostenibles acordados por los líderes mundiales en 2015. En concreto, la acústica arquitectónica tiene influencia en los objetivos 3 [19], 9 [20] y 11 [21]. Además, nichos como la acústica ambiental también tienen peso en los ODS 14 y 15.

El ODS 3 se refiere a la salud y el bienestar y para lograrlo es conveniente combatir la contaminación acústica, ya que tiene numerosos efectos nocivos para la salud. Desde síntomas físicos como dolores de cabeza o aumento de la presión arterial, hasta psicológicos, como estrés o irritabilidad. Minimizar al máximo el ruido en las ciudades, y saber aislarlo correctamente donde se produzca es esencial para paliar el problema. Además, haciendo estudios acústicos, no solo se aísla sino que se acondicionan los recintos, haciendo que la estancia en los lugares sea amena. Con ello, se aporta a la consecución de las metas del ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. En un mundo cada vez más urbanita y centralizado, se debe cuidar lo anteriormente expuesto para que la vida sea sostenible.

Por otro lado, y tomando de referencia el ODS 9, los métodos utilizados en este proyecto contribuyen a tener una industria, innovación e infraestructuras sostenibles. Utilizar herramientas informáticas para hacer simulaciones y cálculos con los que aportar nuevas soluciones hace que se ahorre y optimice mucha energía. Además, se pueden diseñar espacios o materiales de alta calidad que no sean dañinos para el planeta como fibra de madera, corcho u otros.

Toda la información tratada y creada en este proyecto se incluirá en una base de datos del grupo de investigación GAMMA. Si se requiere, en un futuro se puede operar con ella para sacar información del recinto sin tener que hacer desplazamientos. Se evita el malgasto de tiempo y energía

Para finalizar se enfatiza como tarea global pendiente el desarrollo sostenible de las TIC. Todo este proyecto se basa en ellas y en el mundo actual son imprescindibles. Por eso, se debe velar por un desarrollo que tenga menos impacto medioambiental. Optimizar recursos, y priorizar esta tarea es indispensable para poder seguir usando la herramienta más potente en todas las industrias.



## 10. CONCLUSIONES

Para el estudio acústico de recintos existen herramientas muy potentes que ayudan a simular su comportamiento. El modelo geométrico del Teatro Carrión y su posterior validación se realiza con el objetivo de poder estudiar acústicamente el recinto.

La organización de las fases del proyecto facilita su realización, aprendiendo a trabajar de forma ordenada y minuciosa. Primeramente, no solo se aprende a seguir y aplicar normas sino que también a interpretarlas para su uso en casos particulares. Además, la construcción del teatro requiere trabajar con programas de modulación, con lo que se adquieren conocimientos sobre este tipo de *software*. Por otra parte, se amplían conocimientos en el manejo de programas de simulación acústica como EASE.

Después del desarrollo del proyecto se ha obtenido un modelo validado que es acorde a la realidad, debido a que los valores medidos se asemejan a los simulados. Los escalones JND son correctos, y por lo tanto los cambios no son perceptibles en el oyente a excepción de una pequeña desviación a 250 Hz producida mayoritariamente por el techo. El 99% de los valores están entre 0 y 4, remarcando la notable aproximación del modelo. Con los resultados se ve que la sala tiene una buena acústica, y los parámetros de inteligibilidad detallan que lo ocurrido en escena puede ser interpretado sin problema en la zona de audiencia. Además, se llega a la conclusión de que los parámetros LF y LFC son los más difíciles de predecir. Debido a su carácter aleatorio son más difíciles de interpretar que el resto de parámetros.

La incertidumbre en todo cálculo es un dato muy importante ya que da una buena indicación de lo acertadas que son las mediciones. En rasgos generales, la desviación típica de los parámetros medidos es correcta, pero en las bandas de frecuencia de ambos extremos se incrementa por la dificultad de emisión de la fuente. Además, los parámetros temporales, cuentan con una mayor precisión que los energéticos.

Nunca se ha de pasar por alto al interpretar los resultados que el modelo es una simplificación de la realidad y que los materiales simulados no tienen exactamente el mismo coeficiente de absorción que en la realidad. Además, la humedad, temperatura o la tolerancia de errores de los aparatos de medida también juegan un papel importante. Todo ello, en pequeña medida limita la realización del modelo. Bien es cierto, que si todo lo anterior se reproduce con exactitud, no se lograría una representación exacta, ya que los programas de simulación acústica también tienen márgenes de error.

Pese a que el cometido del proyecto está cumplido, se puede utilizar para líneas futuras de trabajo. Los recintos, y particularmente salas de espectáculo, cambian con el objetivo de ofrecer la mejor acústica al público. Teniendo un modelo geométrico validado del Teatro Carrión se puede simular para comprobar la afectación de futuras reformas o mejoras que se quieran llevar a cabo. Por ejemplo, si se requiere renovar o mejorar el equipo de audio de la sala, se puede simular y probar cuál la mejor opción antes de instalarla. Asimismo, si se necesita realizar un cambio en la distribución de butacas, se puede simular para conocer los lugares menos recomendables para la colocación de las mismas.

Este proyecto va a formar parte del repositorio de estudios acústicos del grupo de investigación GAMMA y también se pueden aplicar mejoras escalables a futuros proyectos de este grupo. La incorporación de herramientas de automatización para el procesado de datos o la introducción de nuevos *plug-ins* en los programas de modulado 3D son nuevos objetivos interesantes.

En el control de ruido y vibraciones, tratamiento de acústica ambiental, diseño de espacios de espectáculo, edificios y otros recintos es indispensable seguir las normas y cumplir la legislación. Habiendo sentado las bases con este proyecto, la ambición por continuar aplicando los conocimientos aprendidos durante la realización del grado es mucho mayor.



## 11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] AENOR, “UNE-EN ISO 3382-1: Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos”, España, febrero de 2010.
- [2] M. A. Guadilla, “Monumentos y Edificios. Teatro Carrión”, Noviembre 2016, [on-line], disponible: <https://www.valladolidweb.es/valladolid/imagesmagvall/126%20TeatroCarrion.htm>
- [3] E. A. Fernández, “Plan de Autoprotección”, Diffusio Artes Escenicas SLU, Valladolid, Mayo 2020
- [4] Fundación sgae, “MIRE. Teatro Carrión de Valladolid”, agosto 2019, [on-line], disponible: <https://www.proyectomire.org/web/datosrecinto.php?id=290>
- [5] J. Sánchez, “Teoría Estadística”, Apuntes de la asignatura 595000130, Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [6] J. Sánchez, “Teoría Geométrica”, Apuntes de la asignatura 595000130, Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [7] A. C. Isbert, “Diseño acústico de espacios arquitectónico”, 1998, disponible: <https://arqlemus.files.wordpress.com/2014/04/diseo3b1o-acc3bastico-de-espacios-arquitectc3b3nicos.pdf>
- [8] M.J. Elejalde García, A. Franco García, J. Janariz Larumbe, E. Macho Stadler, “Algunos fenómenos acústicos: efecto Doppler, absorción, reflexión, refracción, transmisión, difracción, eco y reverberación”, Grupo de Acústica, Universidad del País Vasco, [on-line], disponible: <https://www.ehu.es/acustica/bachillerato/feaces/feaces.html>
- [9] M.J. Elejalde García, A. Franco García, J. Janariz Larumbe, E. Macho Stadler, “Aplicaciones al estudio de la acústica de recintos”, Grupo de Acústica, Universidad del País Vasco, [on-line], disponible: <https://www.ehu.es/acustica/bachillerato/acares/acares.html>
- [10] Studio-22, “Enciclopedia”, mayo 2019, [on-line], disponible: <https://www.studio-22.com/blog/enciclopedia>
- [11] Álava Ingenieros, “DO12 Fuente de ruido omnidireccional”, 2023, [on-line], disponible: <http://www.mra.pt/repositorio/54c1/pdf/1377/2/fuente-omnidireccional-avm-do-12-especificaciones-tecnicas.pdf?d=1>
- [12] Thomann, “AKG CK 92”, 2023, [on-line], disponible: [https://www.thomann.de/es/akg\\_ck92\\_capsule.htm](https://www.thomann.de/es/akg_ck92_capsule.htm)
- [13] Vintage King, “AKG CK94 Condenser Microphone Capsule”, 2023, [on-line], disponible: <https://vintageking.com/akg-ck94-instrument-microphone#product.attributes>
- [14] BH Photo Video, “AKG SE-300B Power Supply for Blue Line Microphone Capsules”, 2023, [on-line], disponible: [https://www.bhphotovideo.com/c/product/128230-REG/AKG\\_2439\\_Z\\_00080\\_SE\\_300B\\_Power\\_Supply.html](https://www.bhphotovideo.com/c/product/128230-REG/AKG_2439_Z_00080_SE_300B_Power_Supply.html)
- [15] Hispasonic, “MOTU UltraLite MKIII Hybrid (2009)”, 2023, [on-line], disponible: <https://www.hispasonic.com/productos/motu-ultralite-mkiii-hybrid/38419>
- [16] MadridHifi, “Crown XLS 2002”, 2023, [on-line], disponible: <https://www.madridhifi.com/p/crown-xls-2002/>
- [17] Leasametric, “2260 Brüel & Kjaer”, 2023, [on-line], disponible: <https://www.leasametric.com/produit/bruel-kjaer-2260-investigator-evaluator/>
- [18] Brüel & Kjaer, “Calibrador Sonoro Modelo 4231”, 2023, [on-line], disponible: <https://www.bksv.com/es/transducers/acoustic/calibrators/sound-calibrator-4231>
- [19] ONU, “Objetivos de desarrollo Sostenible. Objetivo 3: Salud y bienestar”, 2023, [on-line], disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>

[20] ONU, “Objetivos de desarrollo Sostenible. Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras”, 2023, [online], disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

[21] ONU, “Objetivos de desarrollo Sostenible. Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles”, 2023, [online], disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

## ANEXO I. RUIDO DE FONDO

En todo el proceso de medición se debe tener en cuenta el nivel de ruido de fondo. Es importante debido a que tiene influencia en el resultado de todos los parámetros, especialmente los de inteligibilidad. Una diferencia que no sea lo suficientemente grande respecto a la excitación sonora hace que los resultados no sean correctos.

El ruido de fondo se evita si el aislamiento del recinto es adecuado, pero nunca es nulo, ya que dentro del mismo, puede haber excitaciones: equipos de trabajo, máquinas etc. Por ello, se ha de medir para saber qué grado de contaminación pueden llevar las medidas. Técnicas como la medición del tiempo de reverberación a través de los parámetros  $T_{20}$  o  $T_{30}$  evitan que se contamine la medida.

Se hacen un total de 6 mediciones en distintos puntos de la sala, obteniendo representatividad temporal y espacial. La colocación y métodos han de ser análogos a las medidas de los micrófonos normales.

En la tabla 58 se muestra el ruido de fondo medido in-situ, comprobando que los valores más grandes se encuentran en baja frecuencia hasta aproximadamente los 100 Hz. No obstante, a partir de 100 Hz los valores son muy bajos (pese a su mayor desviación típica) y quedan totalmente enmascarados por la señal de excitación. Este rango es el que verdaderamente hay que tener en cuenta, al haber focalizado el estudio entre 100 Hz y 10 kHz. Se representan los valores en la figura 101 para una mejor apreciación visual.

Tabla 58. Medidas del ruido de fondo

Frecuencia [Hz]	MEDIDAS. SPL [dB]						PROMEDIO	DESVIACIÓN TÍPICA
	1	2	3	4	5	6		
12,5	36,7	44,3	37,5	32,4	40,7	44,8	39,40	4,79
16	43,2	39,2	41,4	39,4	43,7	42,2	41,52	1,89
20	41,0	44,0	41,0	44,5	38,1	46,4	42,50	3,01
25	43,1	36,3	41,1	36,4	43,6	44,4	40,82	3,63
31,5	34,5	33,4	34,3	31,6	35,7	34,5	34,00	1,39
40	35,2	35,0	33,3	37,0	31,1	33,6	34,20	2,01
50	34,3	31,7	35,8	33,2	30,7	34,6	33,38	1,91
63	29,4	24,6	25,5	26,7	25,5	29,1	26,80	2,01
80	26,8	25,3	26,0	26,7	23,7	26,1	25,77	1,15
100	26,0	25,0	27,4	21,2	27,5	25,5	25,43	2,31
125	18,1	17,1	16,3	16,8	20,3	20,7	18,22	1,87
160	16,6	15,8	16,5	14,0	18,5	19,6	16,83	1,98
200	23,5	20,0	12,5	13,5	20,2	21,5	18,53	4,48
250	18,8	16,4	13,6	13,0	21,6	18,5	16,98	3,30
315	19,8	16,2	9,6	11,6	17,7	18,8	15,62	4,11
400	14,8	19,0	12,2	13,3	18,0	14,5	15,30	2,66
500	15,4	14,1	10,5	13,6	14,8	13,1	13,58	1,72
630	18,7	14,7	11,1	14,4	12,9	12,5	14,05	2,63
800	19,2	15,5	12,1	21,7	11,6	12,2	15,38	4,24
1000	15,6	12,5	10,6	22,2	11,5	9,9	13,72	4,61
1250	19,6	20,2	16,5	24,1	13,5	12,6	17,75	4,38
1600	17,8	15,6	15,4	19,2	14,6	12,7	15,88	2,31
2000	14,8	11,4	10,5	17,0	14,0	12,0	13,28	2,43
2500	13,7	10,2	11,5	17,1	12,2	12,5	12,87	2,37
3150	10,8	9,1	8,6	19,6	8,6	9,7	11,07	4,26
4000	11,8	9,5	9,3	22,1	10,5	8,5	11,95	5,10
5000	14,7	9,4	9,1	19,2	11,1	11,8	12,55	3,83
6300	11,4	9,1	8,8	15,2	9,1	8,9	10,42	2,54
8000	12,5	9,5	13,5	12,3	8,8	9,8	11,07	1,93
10000	9,7	8,5	9,5	9,5	8,9	8,7	9,13	0,50
12500	9,5	8,7	9,2	8,6	8,7	8,9	8,93	0,35
16000	9,3	9,8	9,1	9,0	9,1	8,8	9,18	0,34
20000	10,7	10,1	10,2	10,2	9,4	9,8	10,07	0,44

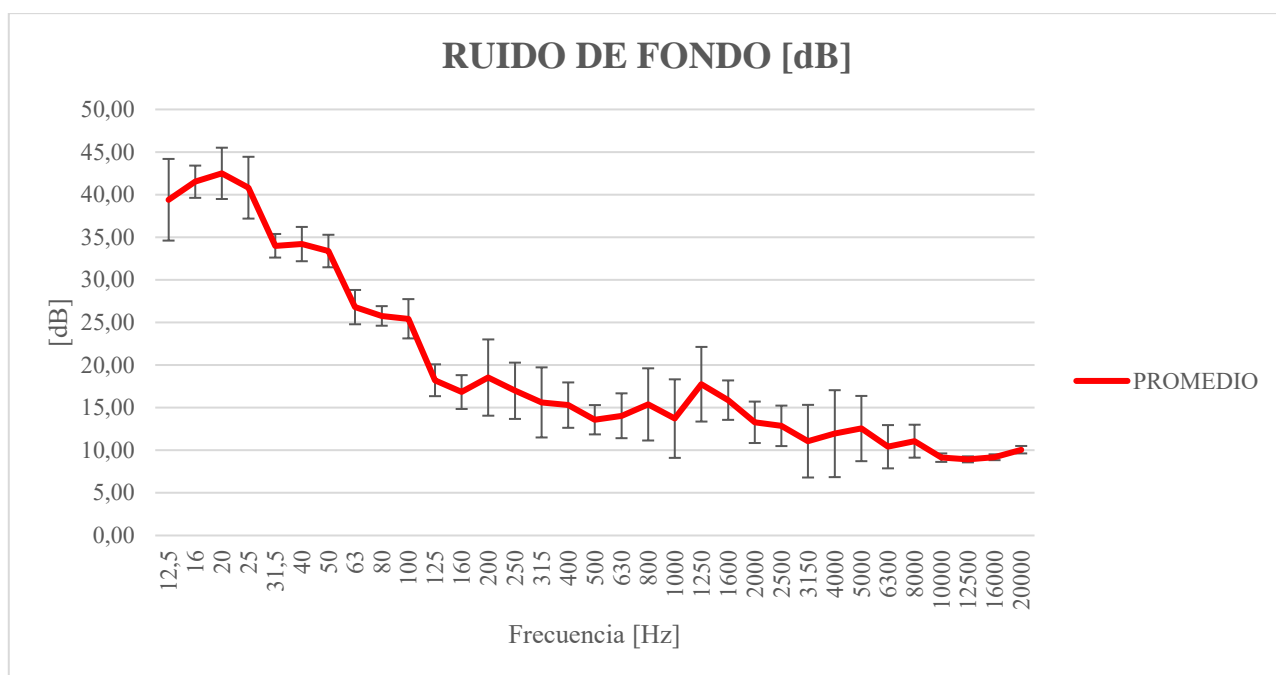


Figura 101. Promedio y desviación del ruido de fondo

## ANEXO II. PLANOS DE AUTOCAD

Se presentan a continuación los planos originales aportados por la empresa gestora del teatro, Diffusio ARtes Escenicas, S.L.U en las figuras 102-107. Los planos se modifican para ajustarlos a la realidad, a la par que se simplifican para la realización del modelo. Éstos se observan en la figura 107.

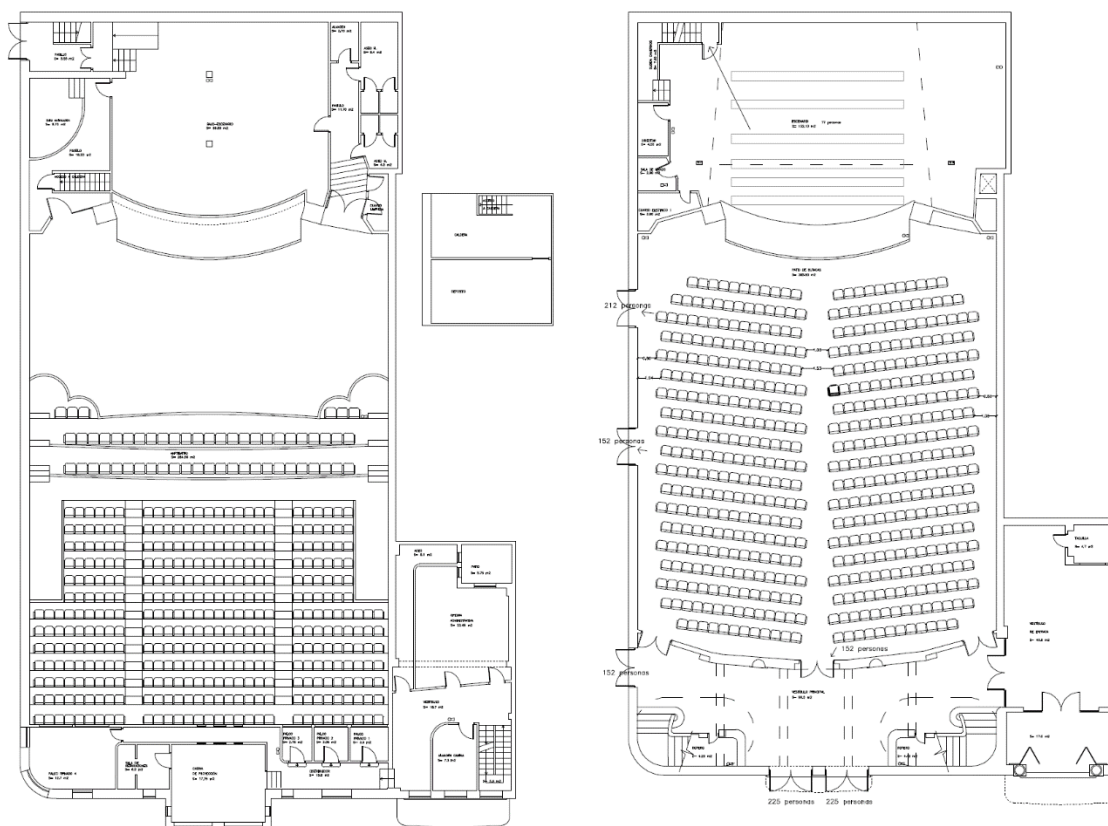


Figura 102. Planos en planta de ambas alturas del Teatro Carrión<sup>8</sup>

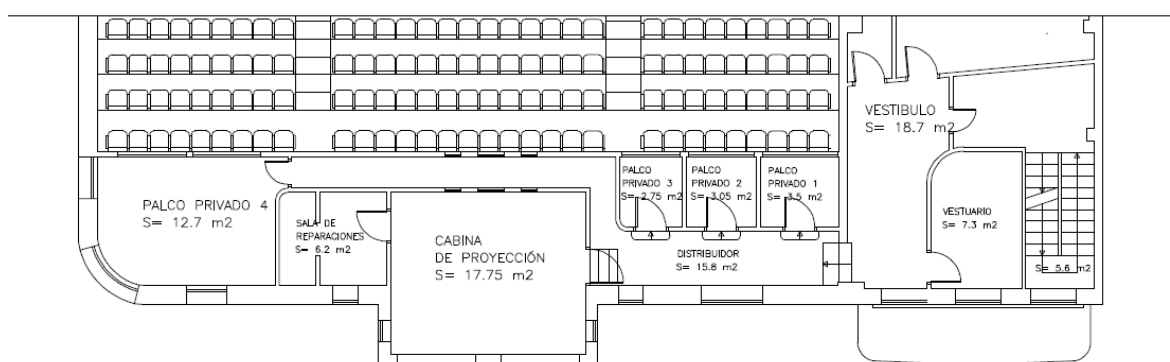


Figura 103. Plano de la parte superior del anfiteatro y sus salas exteriores

<sup>8</sup> Imagen extraída de: Archivos de la empresa gestora del teatro: Diffusio ARtes Escenicas, S.L.U.

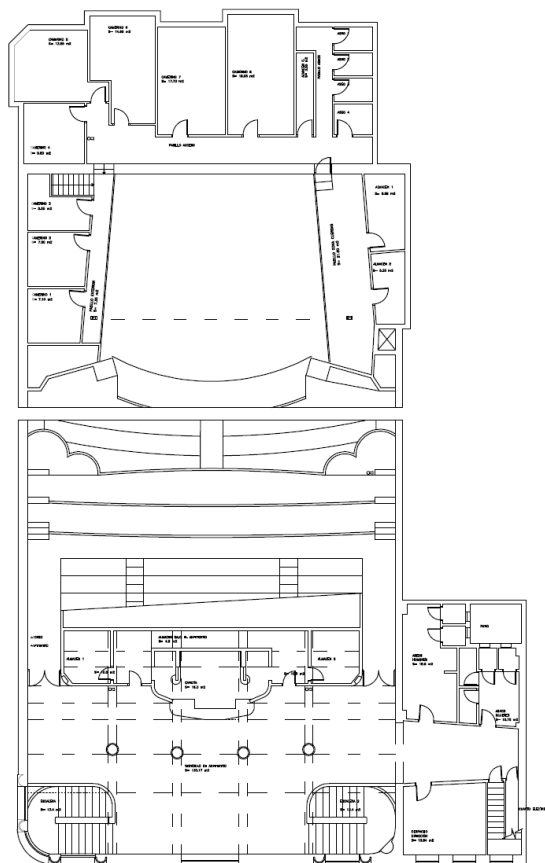


Figura 104. Plano estructural del Teatro Carrión

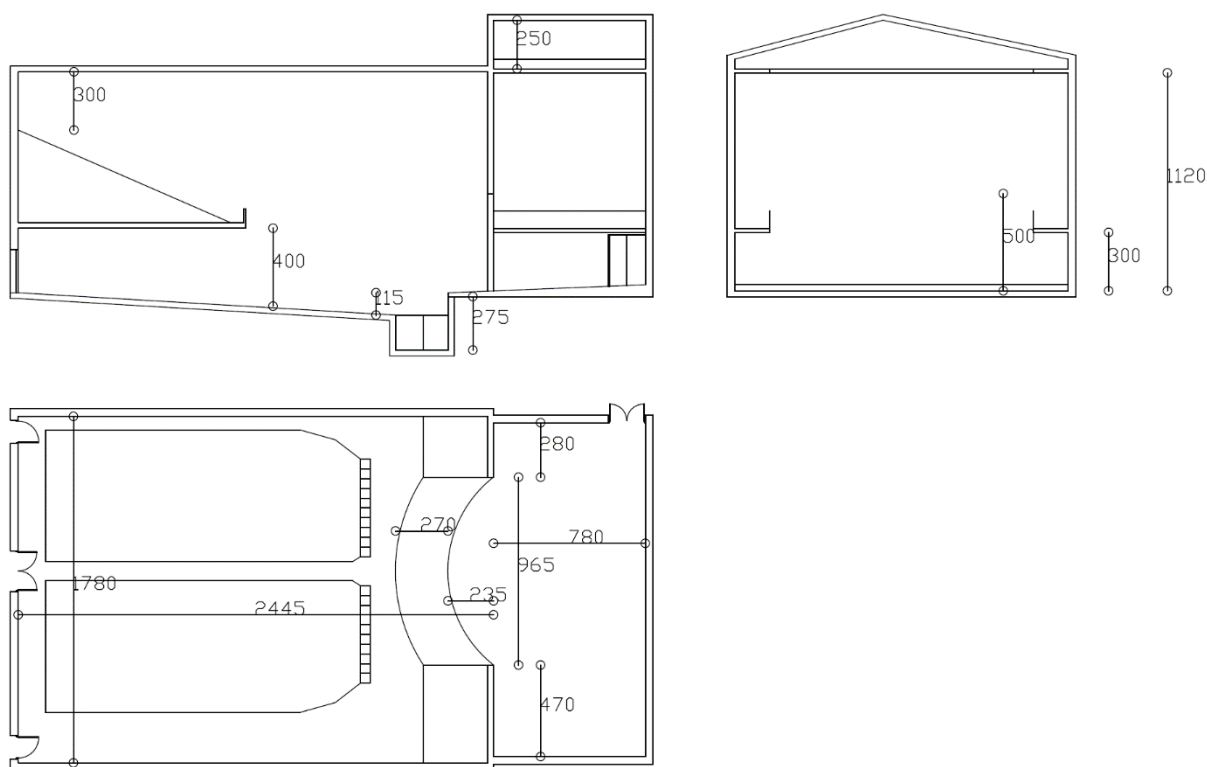


Figura 105. Planos adicionales en tres vistas del Teatro Carrión<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Imagen extraída de: <https://www.proyectomire.org/web/datosrecinto.php?id=290&d=p>

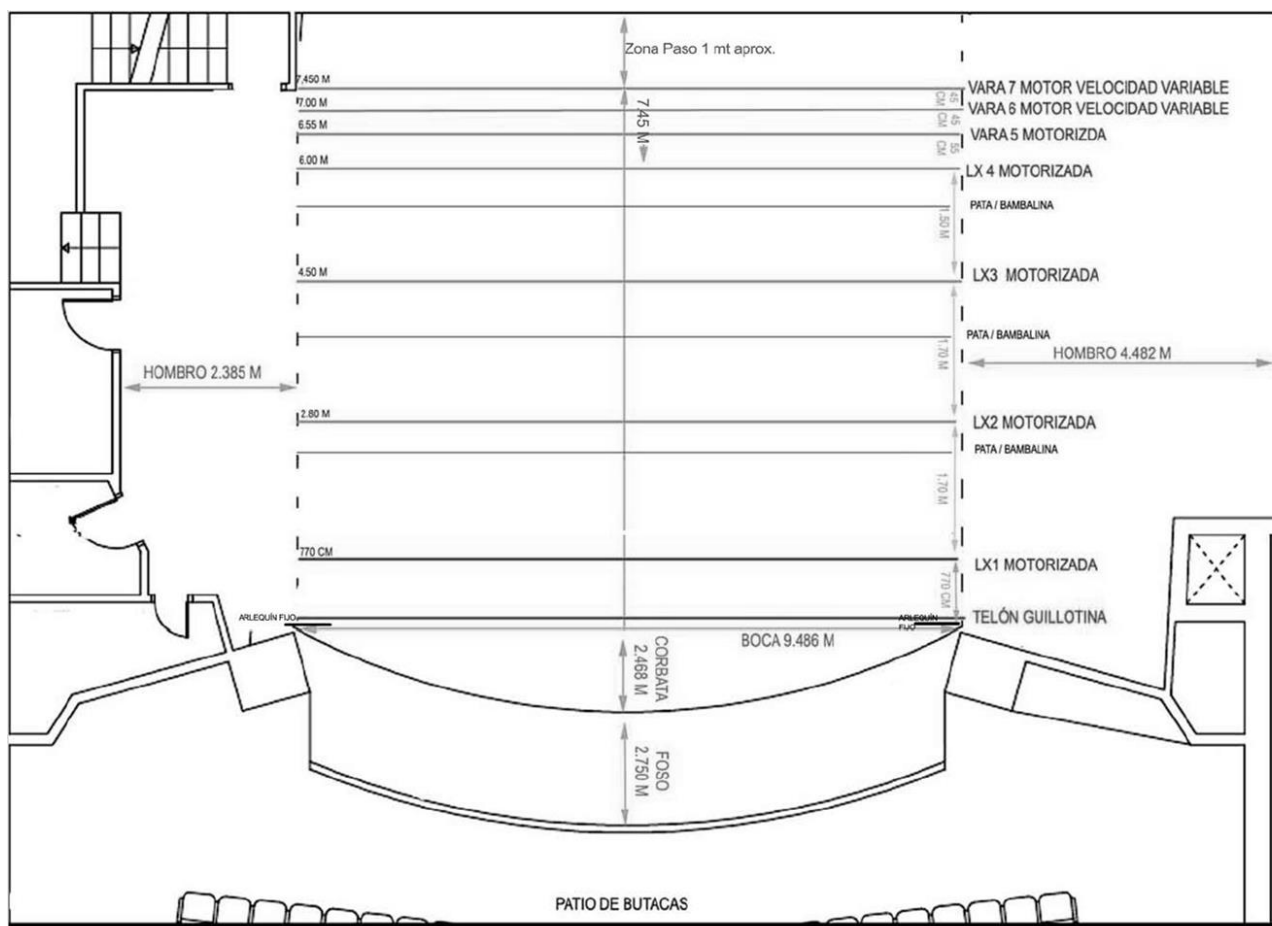
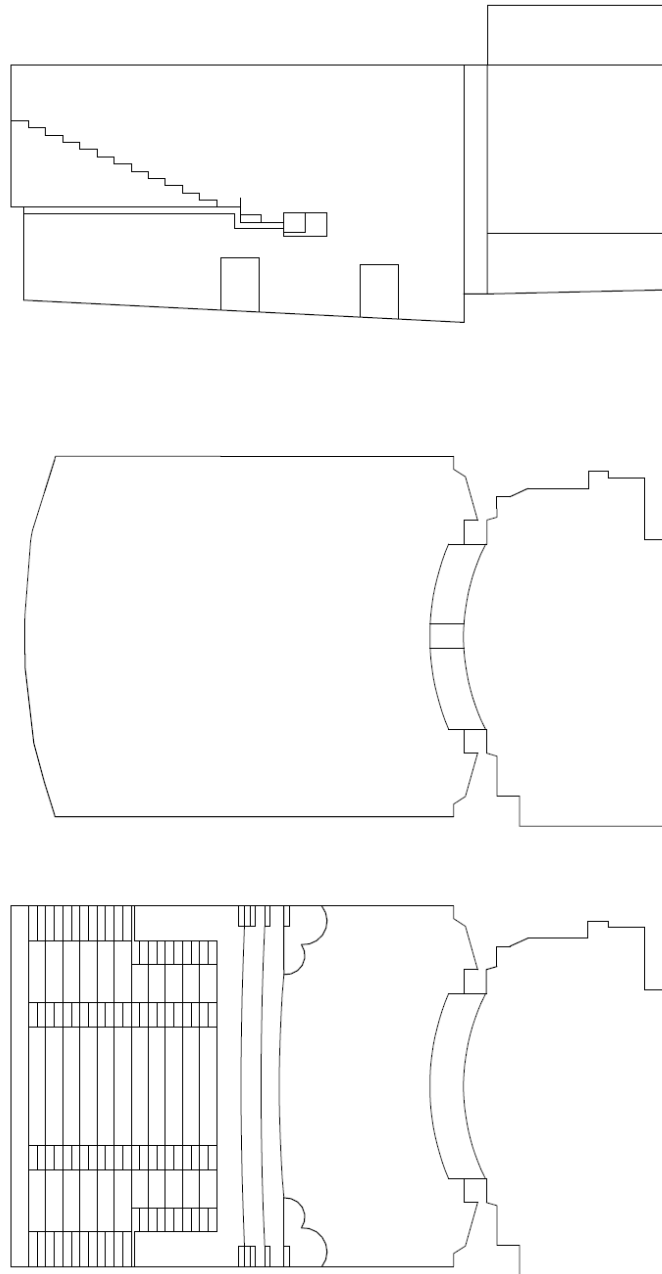


Figura 106. Plano del escenario del Teatro Carrión <sup>10</sup>

<sup>10</sup> Imagen extraída de: <https://www.proyectomire.org/web/datosrecinto.php?id=290&d=p>



*Figura 107. Planos modificados y simplificados exportados a Sketch-Up. Producción propia.*

### ANEXO III. ESTUDIO ACÚSTICO DEL TEATRO CARRIÓN SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 3382

De forma adicional al diseño y validación del modelo se proporciona un estudio acústico del Teatro Carrión. Se incluye la representación de cada parámetro en octavas de frecuencia sin ningún filtrado. En todos ellos, se pueden distinguir los datos divididos por zonas. También se incluye el promedio. Se representa a través de las barras de error de cada una de las gráficas la desviación estándar del valor promedio.

En las figuras 108-119 y tablas 59-70 se puede observar toda la información detallada.

- **Parámetros temporales:**

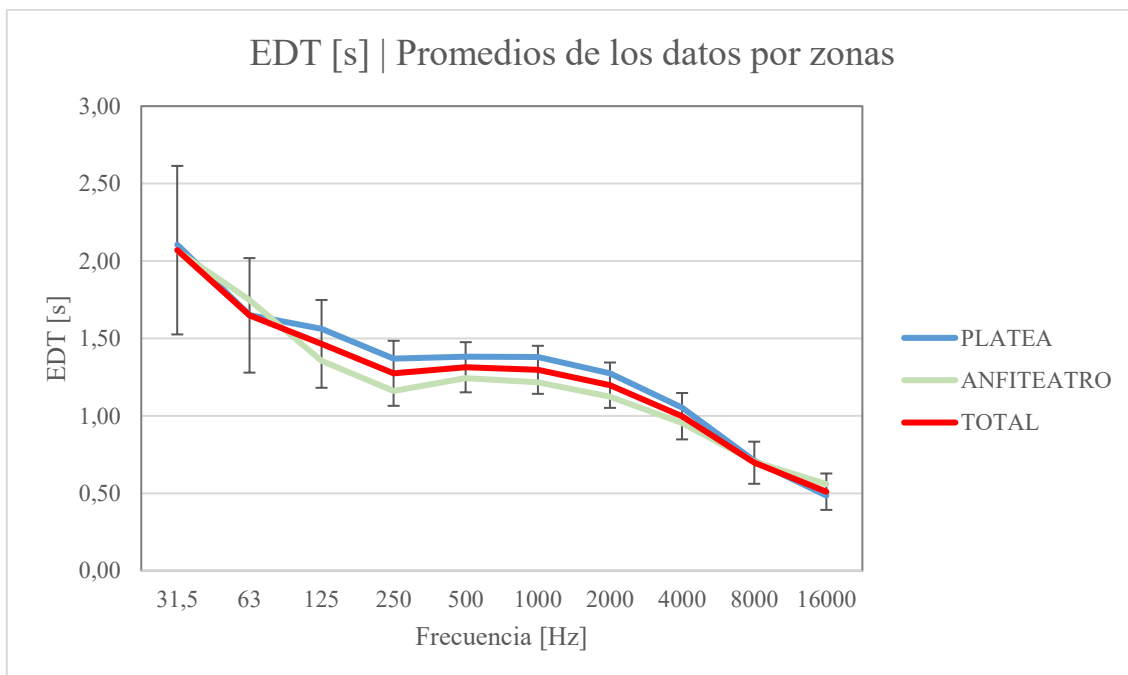


Figura 108. EDT medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 59. EDT medido por zonas en octavas y sin filtrado.

EDT   Promedios de los datos por zonas				EDT   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	2,11	2,07	<b>2,07</b>	0,56	0,53	<b>0,54</b>
63	1,65	1,75	<b>1,65</b>	0,33	0,29	<b>0,37</b>
125	1,56	1,36	<b>1,46</b>	0,27	0,25	<b>0,28</b>
250	1,37	1,16	<b>1,27</b>	0,19	0,17	<b>0,21</b>
500	1,38	1,24	<b>1,31</b>	0,13	0,15	<b>0,16</b>
1000	1,38	1,22	<b>1,30</b>	0,11	0,12	<b>0,16</b>
2000	1,28	1,12	<b>1,20</b>	0,09	0,12	<b>0,15</b>
4000	1,05	0,96	<b>1,00</b>	0,12	0,13	<b>0,15</b>
8000	0,71	0,70	<b>0,70</b>	0,14	0,07	<b>0,14</b>
16000	0,49	0,56	<b>0,51</b>	0,12	0,07	<b>0,12</b>

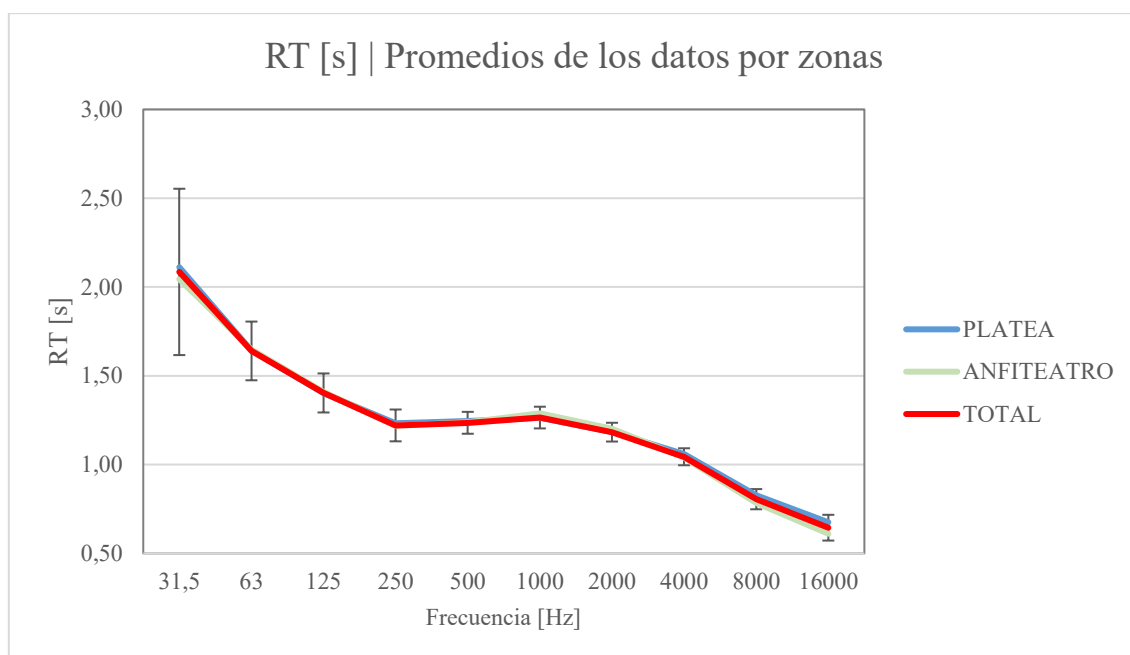


Figura 109. RT medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 60. RT medido por zonas en octavas y sin filtrado.

RT   Promedios de los datos por zonas				RT   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	2,11	2,04	<b>2,09</b>	0,43	0,54	<b>0,47</b>
63	1,64	1,65	<b>1,64</b>	0,16	0,18	<b>0,17</b>
125	1,40	1,41	<b>1,40</b>	0,11	0,11	<b>0,11</b>
250	1,23	1,22	<b>1,22</b>	0,08	0,09	<b>0,09</b>
500	1,25	1,24	<b>1,24</b>	0,04	0,06	<b>0,06</b>
1000	1,26	1,29	<b>1,27</b>	0,04	0,05	<b>0,06</b>
2000	1,18	1,20	<b>1,18</b>	0,03	0,04	<b>0,05</b>
4000	1,06	1,04	<b>1,04</b>	0,02	0,04	<b>0,05</b>
8000	0,83	0,78	<b>0,81</b>	0,06	0,03	<b>0,06</b>
16000	0,68	0,61	<b>0,65</b>	0,07	0,04	<b>0,07</b>

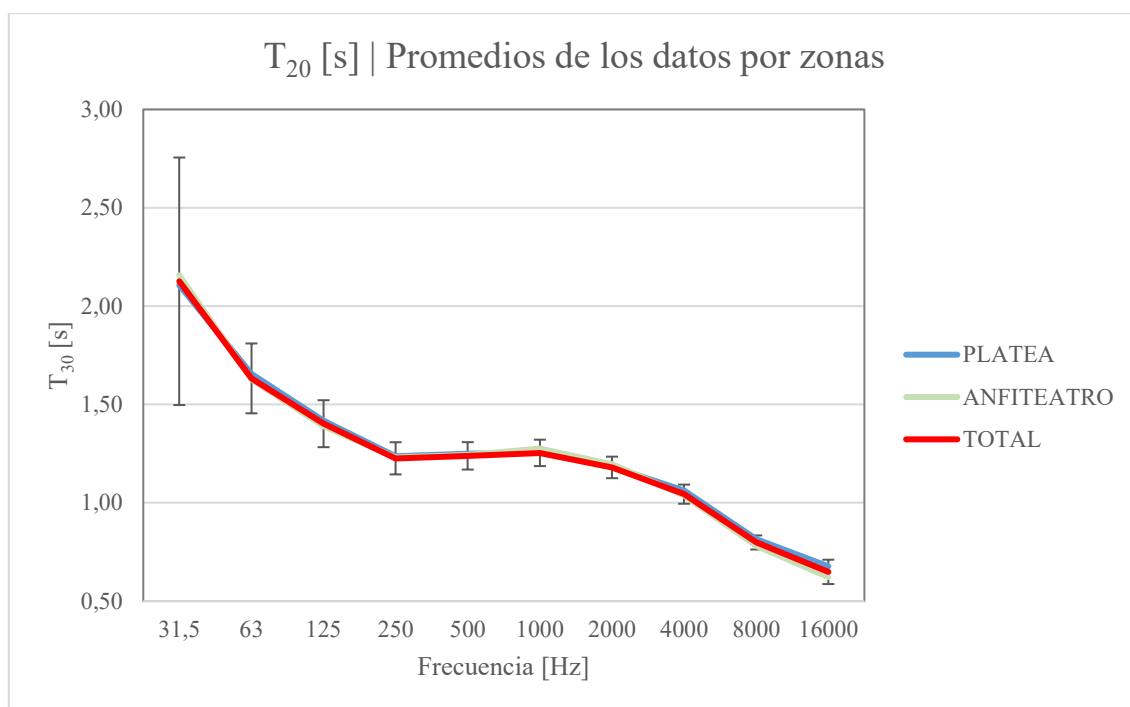


Figura 110.  $T_{20}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 61.  $T_{20}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

$T_{20}$   Promedios de los datos por zonas				$T_{20}$   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	2,11	2,16	<b>2,13</b>	0,39	0,90	<b>0,63</b>
63	1,65	1,63	<b>1,63</b>	0,16	0,18	<b>0,18</b>
125	1,42	1,39	<b>1,40</b>	0,13	0,11	<b>0,12</b>
250	1,24	1,23	<b>1,23</b>	0,08	0,07	<b>0,08</b>
500	1,25	1,24	<b>1,24</b>	0,06	0,06	<b>0,07</b>
1000	1,25	1,28	<b>1,25</b>	0,05	0,04	<b>0,07</b>
2000	1,18	1,20	<b>1,18</b>	0,04	0,03	<b>0,05</b>
4000	1,06	1,04	<b>1,04</b>	0,03	0,02	<b>0,05</b>
8000	0,82	0,78	<b>0,80</b>	0,03	0,02	<b>0,04</b>
16000	0,68	0,62	<b>0,65</b>	0,06	0,04	<b>0,06</b>

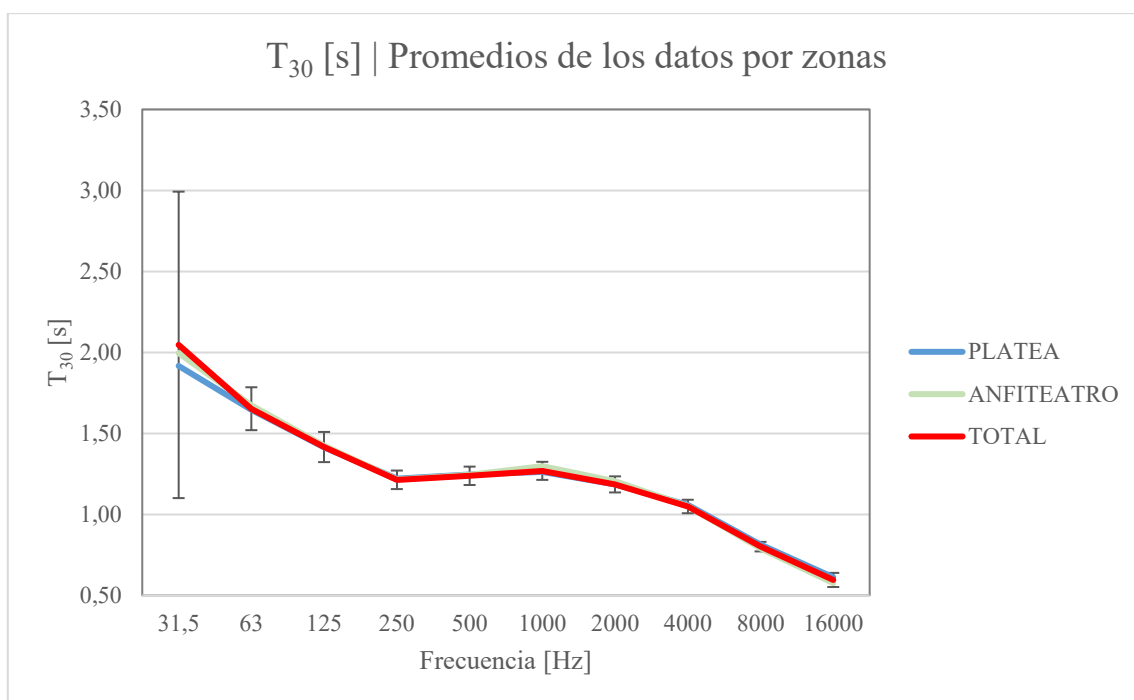


Figura 111.  $T_{30}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 62.  $T_{30}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

<b><math>T_{30}</math>   Promedios de los datos por zonas</b>				<b><math>T_{30}</math>   Desviaciones de los datos por zonas</b>		
<b>Fz (Hz)</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>TOTAL</b>
31,5	1,92	2,00	<b>2,05</b>	0,42	0,89	<b>0,95</b>
63	1,64	1,67	<b>1,65</b>	0,12	0,15	<b>0,13</b>
125	1,41	1,42	<b>1,42</b>	0,09	0,10	<b>0,09</b>
250	1,22	1,21	<b>1,21</b>	0,05	0,05	<b>0,06</b>
500	1,25	1,24	<b>1,24</b>	0,04	0,06	<b>0,06</b>
1000	1,26	1,30	<b>1,27</b>	0,03	0,05	<b>0,06</b>
2000	1,18	1,20	<b>1,18</b>	0,03	0,04	<b>0,05</b>
4000	1,06	1,05	<b>1,05</b>	0,02	0,02	<b>0,04</b>
8000	0,81	0,79	<b>0,80</b>	0,02	0,02	<b>0,03</b>
16000	0,61	0,58	<b>0,60</b>	0,04	0,03	<b>0,04</b>

• **Parámetros energéticos:**

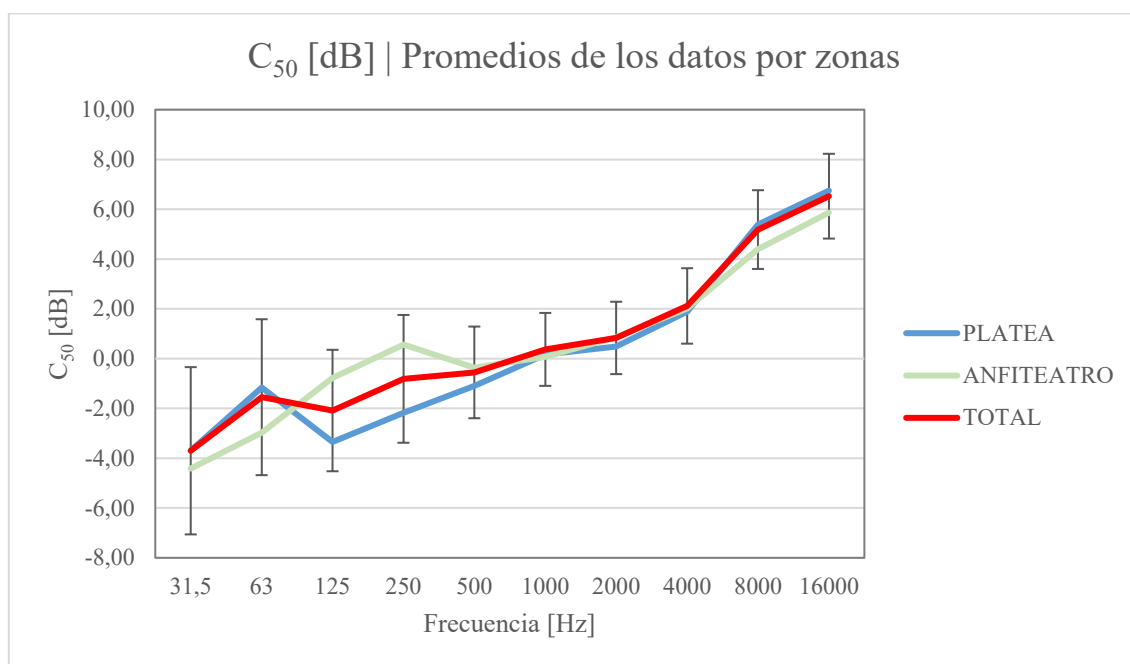


Figura 112. C<sub>50</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 63. C<sub>50</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.

C <sub>50</sub>   Promedios de los datos por zonas				C <sub>50</sub>   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	-3,69	-4,41	<b>-3,70</b>	2,57	3,83	<b>3,36</b>
63	-1,16	-2,98	<b>-1,55</b>	2,52	2,73	<b>3,13</b>
125	-3,34	-0,78	<b>-2,08</b>	1,97	1,76	<b>2,44</b>
250	-2,18	0,56	<b>-0,81</b>	1,79	2,00	<b>2,57</b>
500	-1,09	-0,37	<b>-0,55</b>	1,58	1,19	<b>1,84</b>
1000	0,17	0,08	<b>0,37</b>	0,97	0,96	<b>1,46</b>
2000	0,49	0,86	<b>0,83</b>	1,13	1,18	<b>1,45</b>
4000	1,89	2,02	<b>2,12</b>	1,41	1,10	<b>1,52</b>
8000	5,39	4,40	<b>5,18</b>	1,19	0,85	<b>1,58</b>
16000	6,75	5,86	<b>6,53</b>	1,43	1,58	<b>1,70</b>

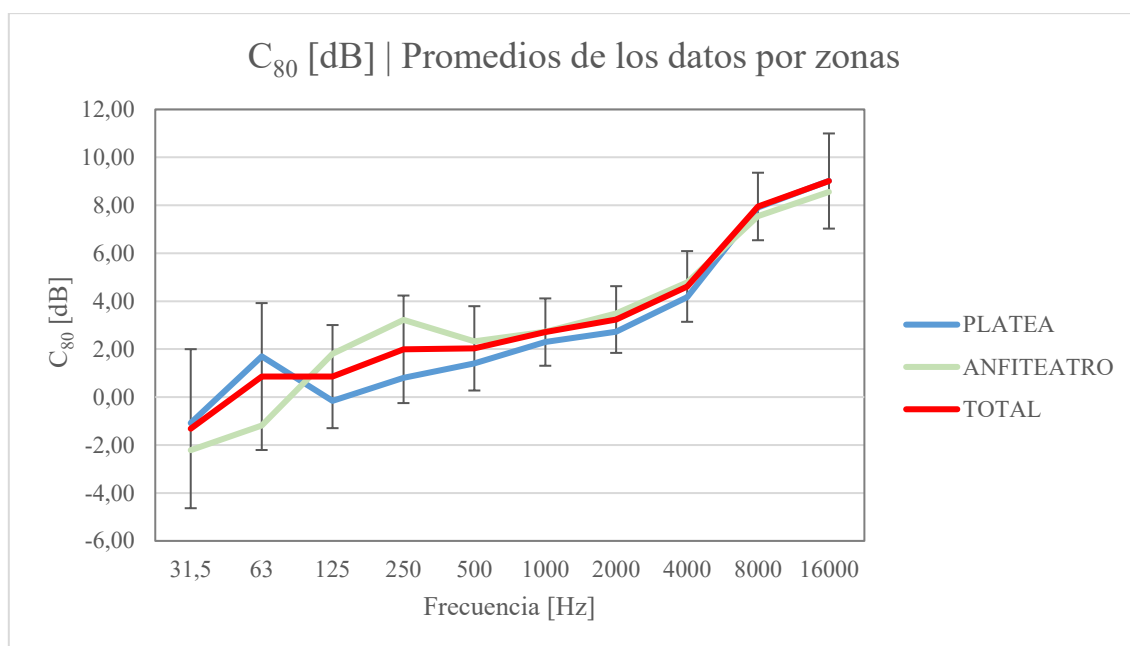


Figura 113. C<sub>80</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 64. C<sub>80</sub> medido por zonas en octavas y sin filtrado.

C <sub>80</sub>   Promedios de los datos por zonas				C <sub>80</sub>   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	-1,08	-2,21	<b>-1,32</b>	2,72	3,76	<b>3,32</b>
63	1,70	-1,19	<b>0,86</b>	2,24	2,44	<b>3,06</b>
125	-0,16	1,80	<b>0,86</b>	1,61	1,74	<b>2,15</b>
250	0,81	3,22	<b>1,99</b>	1,66	1,69	<b>2,24</b>
500	1,40	2,32	<b>2,03</b>	1,36	1,06	<b>1,76</b>
1000	2,30	2,73	<b>2,71</b>	0,92	0,79	<b>1,40</b>
2000	2,73	3,48	<b>3,23</b>	1,01	0,93	<b>1,39</b>
4000	4,17	4,78	<b>4,62</b>	1,22	1,01	<b>1,48</b>
8000	7,91	7,54	<b>7,95</b>	1,12	0,67	<b>1,41</b>
16000	9,02	8,56	<b>9,01</b>	1,61	1,66	<b>1,98</b>

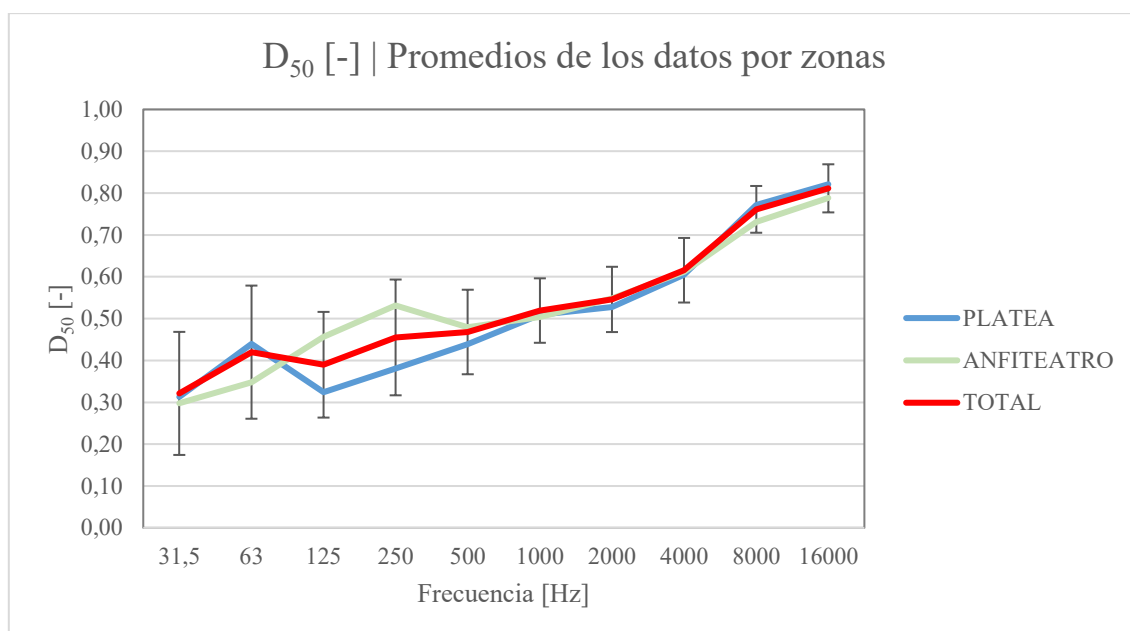


Figura 114.  $D_{80}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 65.  $D_{80}$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

<b>D<sub>50</sub>   Promedios de los datos por zonas</b>				<b>D<sub>50</sub>   Desviaciones de los datos por zonas</b>		
<b>Fz (Hz)</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PLATEA</b>	<b>ANFITEATRO</b>	<b>TOTAL</b>
31,5	0,31	0,30	<b>0,32</b>	0,12	0,15	<b>0,15</b>
63	0,44	0,35	<b>0,42</b>	0,13	0,13	<b>0,16</b>
125	0,32	0,46	<b>0,39</b>	0,10	0,10	<b>0,13</b>
250	0,38	0,53	<b>0,46</b>	0,10	0,11	<b>0,14</b>
500	0,44	0,48	<b>0,47</b>	0,09	0,07	<b>0,10</b>
1000	0,51	0,50	<b>0,52</b>	0,06	0,05	<b>0,08</b>
2000	0,53	0,55	<b>0,55</b>	0,06	0,06	<b>0,08</b>
4000	0,60	0,61	<b>0,62</b>	0,08	0,06	<b>0,08</b>
8000	0,77	0,73	<b>0,76</b>	0,05	0,04	<b>0,06</b>
16000	0,82	0,79	<b>0,81</b>	0,05	0,06	<b>0,06</b>

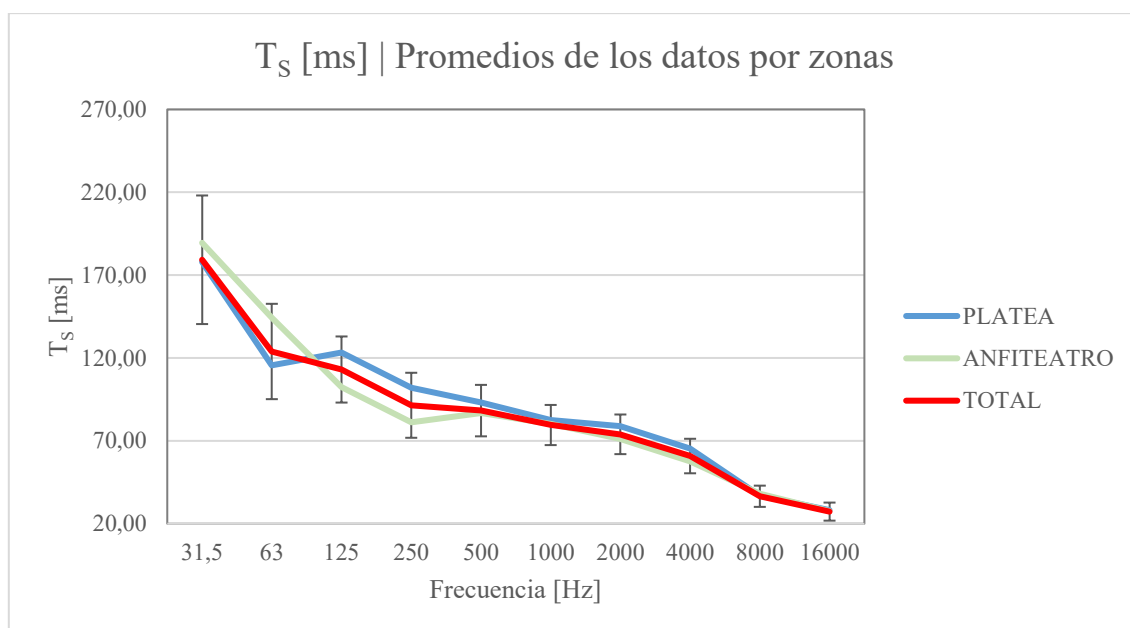


Figura 115.  $T_s$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 66.  $T_s$  medido por zonas en octavas y sin filtrado.

$T_s$   Promedios de los datos por zonas				$T_s$   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	177,97	189,51	<b>179,28</b>	36,41	35,27	<b>38,79</b>
63	115,59	144,29	<b>123,93</b>	20,71	20,96	<b>28,77</b>
125	123,25	102,54	<b>113,05</b>	16,02	14,68	<b>19,95</b>
250	102,00	81,11	<b>91,47</b>	14,05	13,73	<b>19,62</b>
500	93,14	86,85	<b>88,26</b>	12,14	9,13	<b>15,53</b>
1000	82,64	80,21	<b>79,55</b>	7,36	7,06	<b>12,11</b>
2000	78,82	71,18	<b>73,94</b>	8,44	7,45	<b>11,96</b>
4000	65,37	57,57	<b>60,84</b>	8,38	5,95	<b>10,41</b>
8000	36,95	38,09	<b>36,56</b>	5,72	3,25	<b>6,40</b>
16000	28,19	27,58	<b>27,30</b>	4,47	4,51	<b>5,45</b>

- **Parámetros espaciales:**

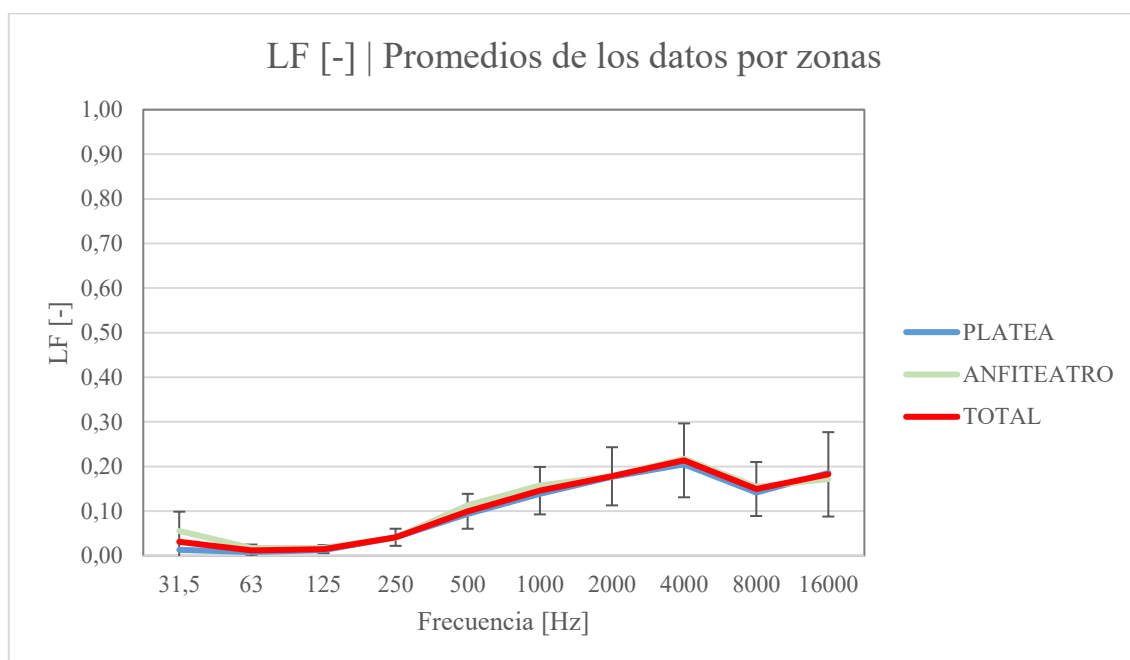


Figura 116. LF medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 67. LF medido por zonas en octavas y sin filtrado.

LF   Promedios de los datos por zonas				LF   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	0,01	0,06	<b>0,03</b>	0,02	0,10	<b>0,07</b>
63	0,01	0,02	<b>0,01</b>	0,01	0,02	<b>0,01</b>
125	0,01	0,02	<b>0,01</b>	0,01	0,01	<b>0,01</b>
250	0,04	0,04	<b>0,04</b>	0,02	0,02	<b>0,02</b>
500	0,09	0,11	<b>0,10</b>	0,04	0,04	<b>0,04</b>
1000	0,14	0,16	<b>0,15</b>	0,06	0,04	<b>0,05</b>
2000	0,18	0,18	<b>0,18</b>	0,08	0,05	<b>0,07</b>
4000	0,20	0,22	<b>0,21</b>	0,09	0,06	<b>0,08</b>
8000	0,14	0,15	<b>0,15</b>	0,07	0,04	<b>0,06</b>
16000	0,19	0,17	<b>0,18</b>	0,11	0,05	<b>0,09</b>

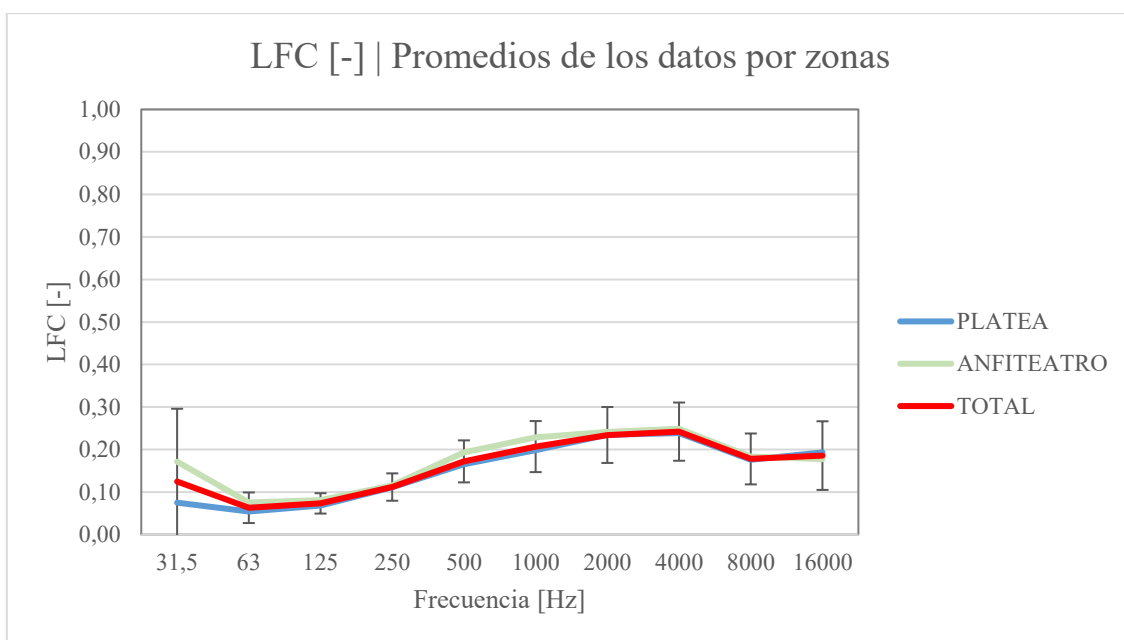


Figura 117. LFC medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 68. LFC medido por zonas en octavas y sin filtrado.

LFC   Promedios de los datos por zonas				LFC   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	0,08	0,17	<b>0,12</b>	0,05	0,24	<b>0,17</b>
63	0,05	0,08	<b>0,06</b>	0,03	0,05	<b>0,04</b>
125	0,07	0,08	<b>0,07</b>	0,02	0,02	<b>0,02</b>
250	0,11	0,12	<b>0,11</b>	0,03	0,03	<b>0,03</b>
500	0,17	0,19	<b>0,17</b>	0,05	0,04	<b>0,05</b>
1000	0,20	0,23	<b>0,21</b>	0,06	0,04	<b>0,06</b>
2000	0,23	0,24	<b>0,23</b>	0,07	0,06	<b>0,07</b>
4000	0,24	0,25	<b>0,24</b>	0,08	0,05	<b>0,07</b>
8000	0,18	0,18	<b>0,18</b>	0,07	0,03	<b>0,06</b>
16000	0,19	0,18	<b>0,19</b>	0,10	0,05	<b>0,08</b>

- **Parámetros de inteligibilidad:**

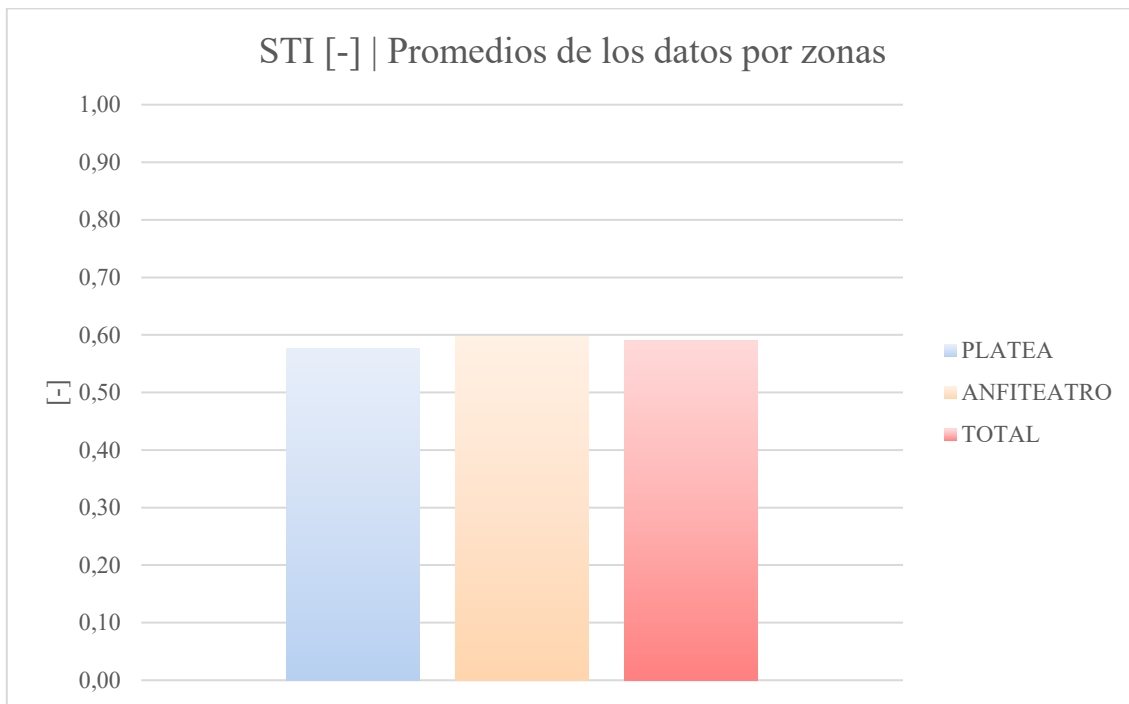


Figura 118. STI medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 69. STI medido por zonas en octavas y sin filtrado.

STI   Promedios de los datos por zonas				STI   Desviaciones de los datos por zonas		
Fz (Hz)	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
31,5	0,58	0,60	<b>0,59</b>	0,02	0,03	<b>0,04</b>

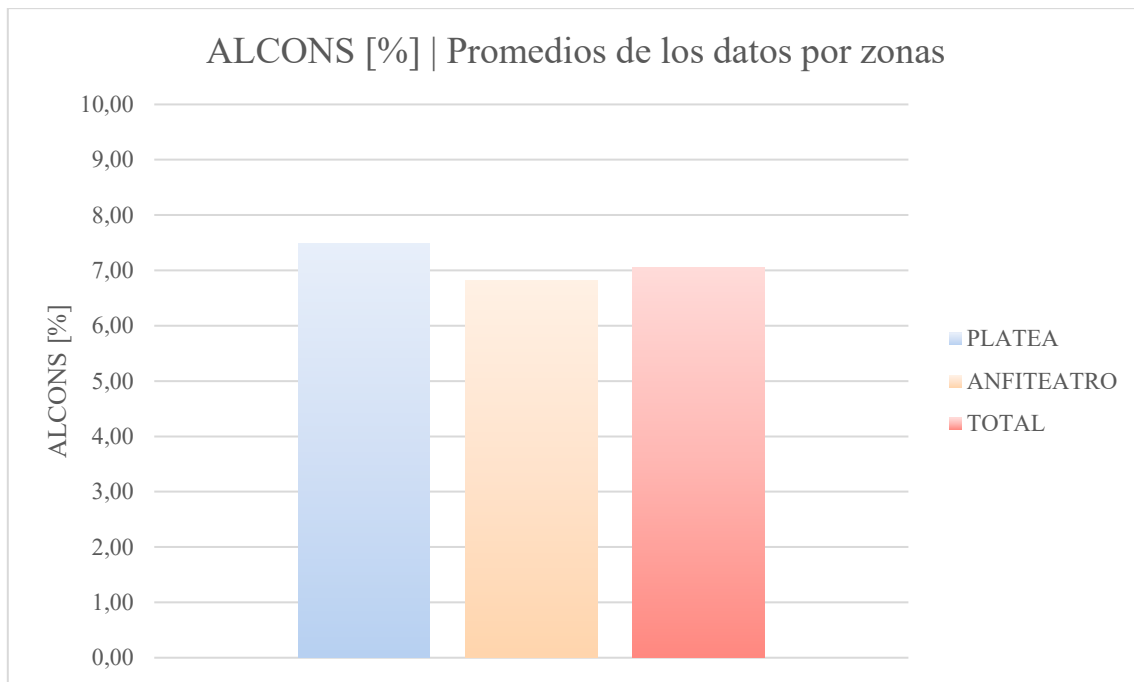


Figura 119. ALCONS medido por zonas en octavas y sin filtrado.

Tabla 70. ALCONS medido por zonas en octavas y sin filtrado.

ALCONS   Promedios de los datos por zonas			ALCONS   Desviaciones de los datos por zonas		
PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL	PLATEA	ANFITEATRO	TOTAL
7,49	6,82	7,06	0,82	0,93	1,19

## ANEXO IV. MATERIALES EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN

Durante la validación del modelo se cambian materiales y se crean nuevos para lograr que el recinto simulado se asemeje al real. En este anexo se presentan los materiales usados en la validación final junto con el porcentaje de superficie total de la sala que abarcan. Se adjuntan las figuras 120-150 donde se representa el coeficiente de absorción para cada frecuencia en cada uno de los materiales usados. Por último, se detalla, si lo hay, el *scattering* de cada material.

### 1. Cemento

Utilizado principalmente en las paredes lisas de la caja escénica. Cubre un 14.33% de la superficie total de la sala.

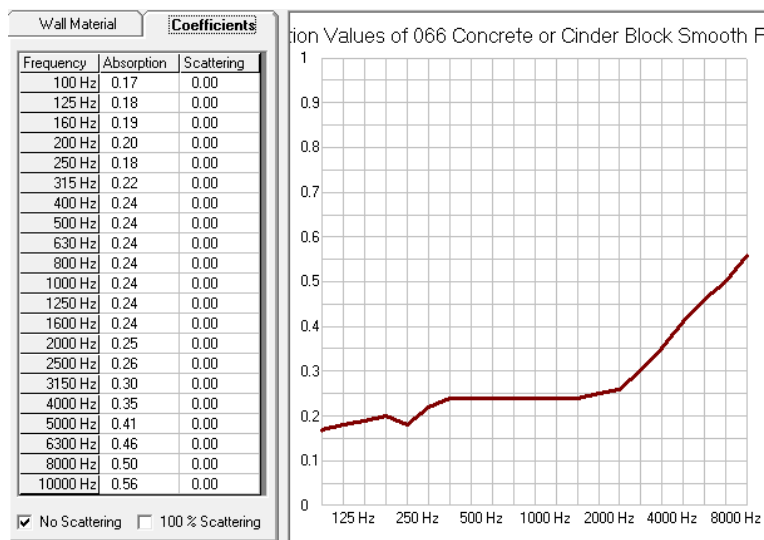


Figura 120. Valores de absorción del material 1

### 2. Material absorbente del 10%

Utilizado en la cara interior de las butacas. Tiene el mismo coeficiente de absorción para todas las frecuencias. Cubre un 13.03% de la superficie total de la sala.

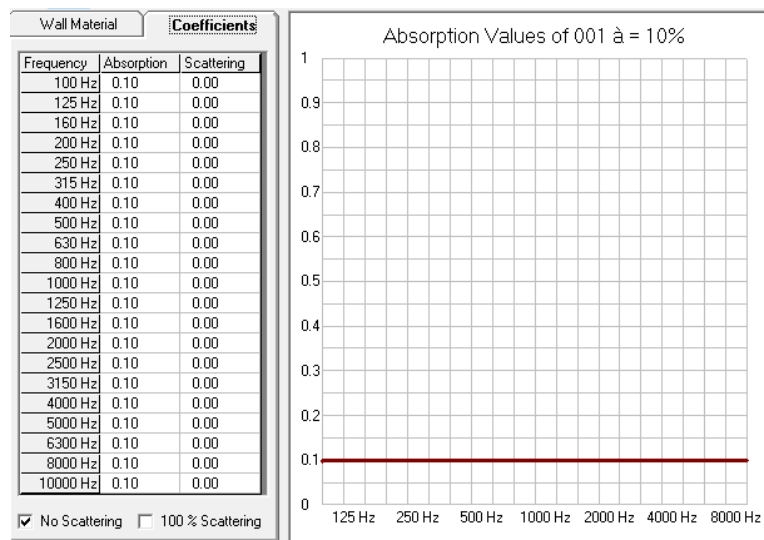


Figura 121. Valores de absorción del material 2

### 3. Terciopelo.

Tapizado que recubre todas las butacas por la cara exterior (misma superficie que la interior). De ahí que cubra lo mismo que el material absorbente anterior; un 13.03%.

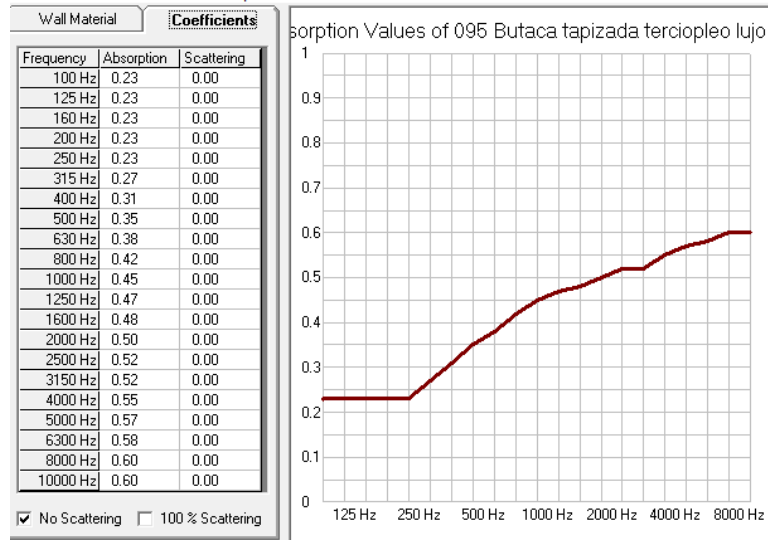


Figura 122. Valores de absorción del material 3

#### 4. Tarima de madera

Material que se utiliza para el suelo de tarima de la sala. Cubre un 10.19% de la superficie total de la sala.

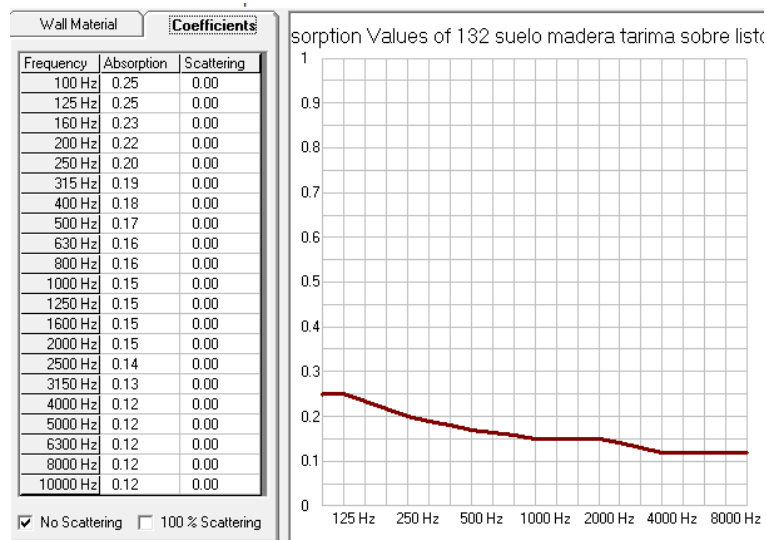


Figura 123. Valores de absorción del material 4

#### 5. Cemento II

Utilizado principalmente en las paredes lisas de la sala. Cubre un 9.81% de la superficie total de la sala.

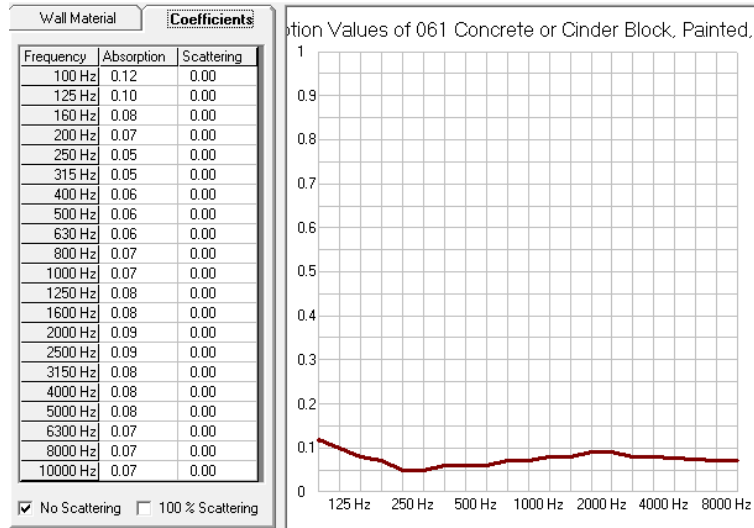


Figura 124. Valores de absorción del material 5

### 6. Panel de escayola

Este material se localiza en el techo de la sala. Tiene resonancia en 250 Hz. Debido a que hay zonas irregulares se colocan 2 *scattering* diferentes en la composición. Uno de los *scattering* es circular y el otro cuadrado cubriendo el 0.71% y 2.71% de superficie respectivamente. El material sin *scattering* cubre el 6.32% de la superficie total.

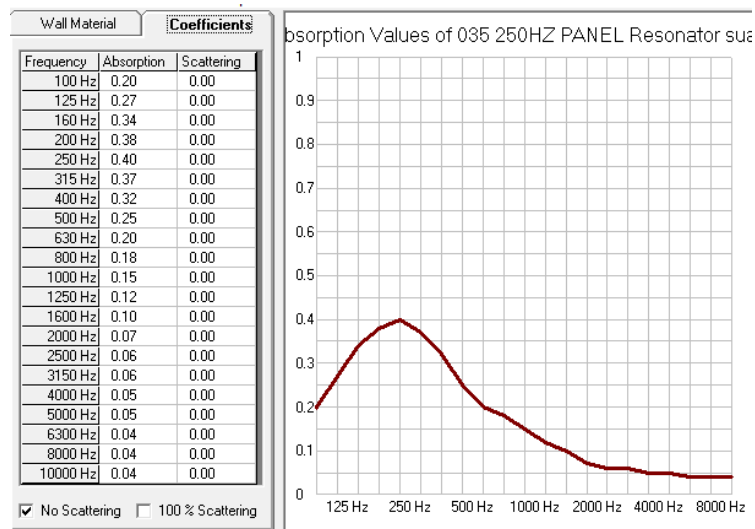


Figura 125. Valores de absorción del material 6

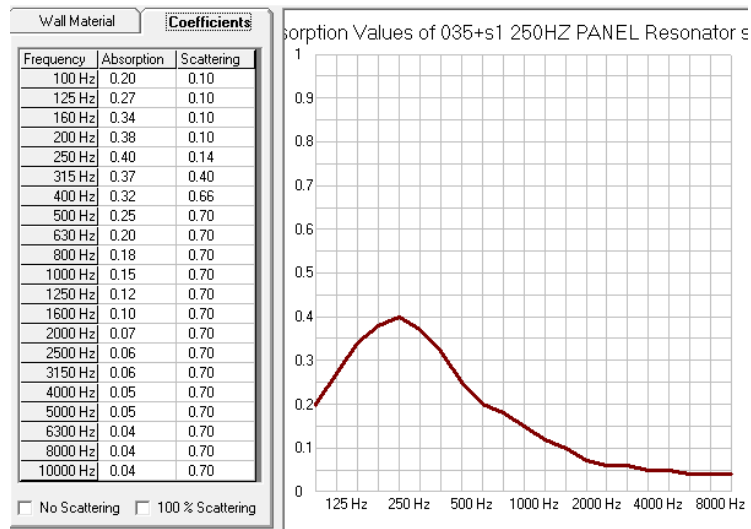


Figura 126. Valores de absorción del material 6 con scattering circular

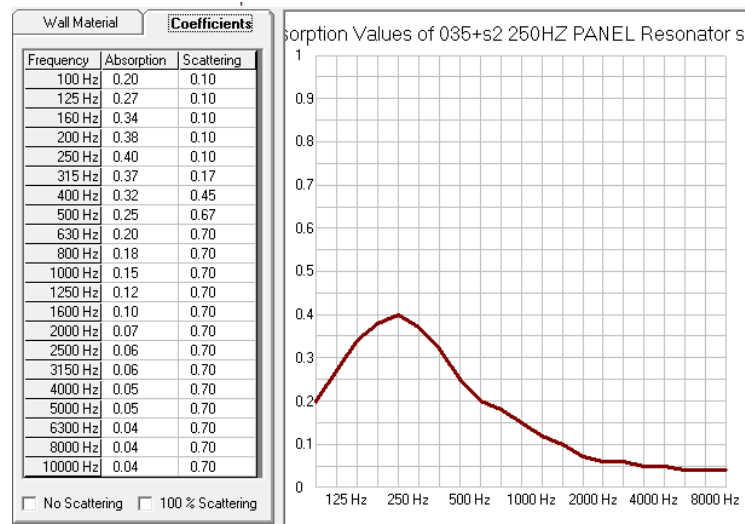


Figura 127. Valores de absorción del material 6 con scattering cuadrado

## 7. Cemento III

Este tipo de cemento se asigna al forjado del anfiteatro y cubre en 5.48% de la superficie total.

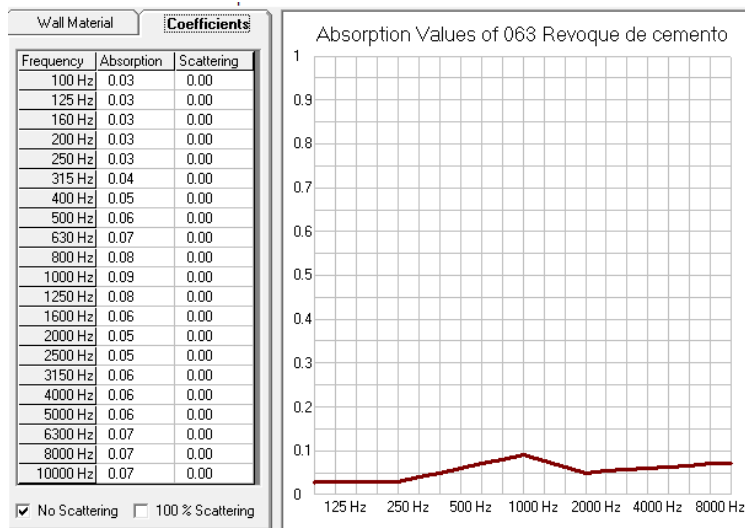


Figura 128. Valores de absorción del material 7

### 8. Madera

Se asigna al techo de la acaja escénica. Supone un 3.48% de la superficie total.

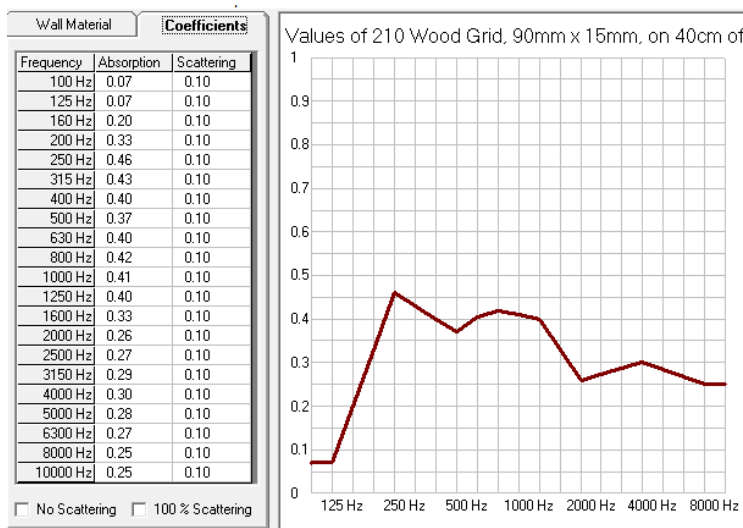


Figura 129. Valores de absorción del material 8

### 9. Moqueta

La moqueta se coloca en el reborde del escenario, la escalera de subida al mismo y en los pasillos de la sala. Todo ello suma un 3.03% de la superficie total.

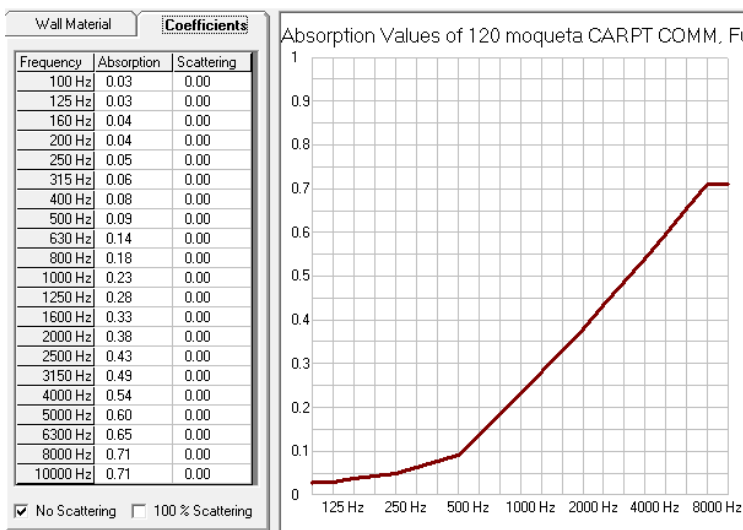


Figura 130. Valores de absorción del material 9

### 10. Madera II

Este tipo de madera se utiliza para recubrir el suelo del escenario. Cubre un 2.79% de la superficie total.

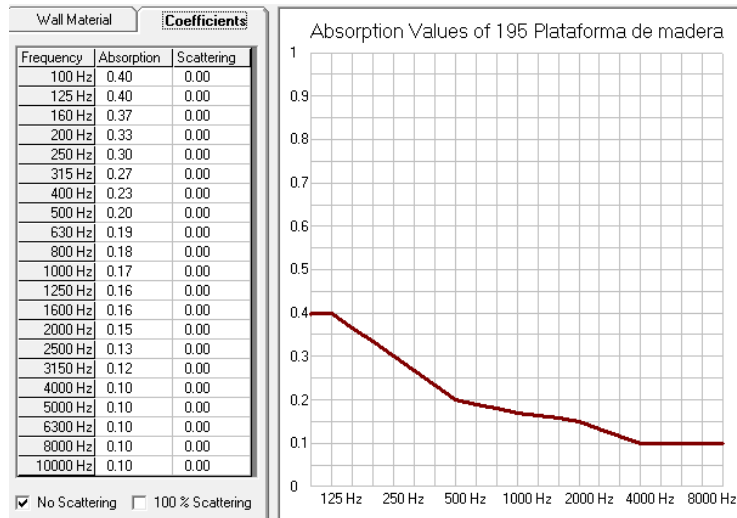


Figura 131. Valores de absorción del material 10

### 11. Revestimiento de madera

La parte inferior de las paredes está recubierta de este tipo de madera. Cubre un 2.62% de la superficie total.

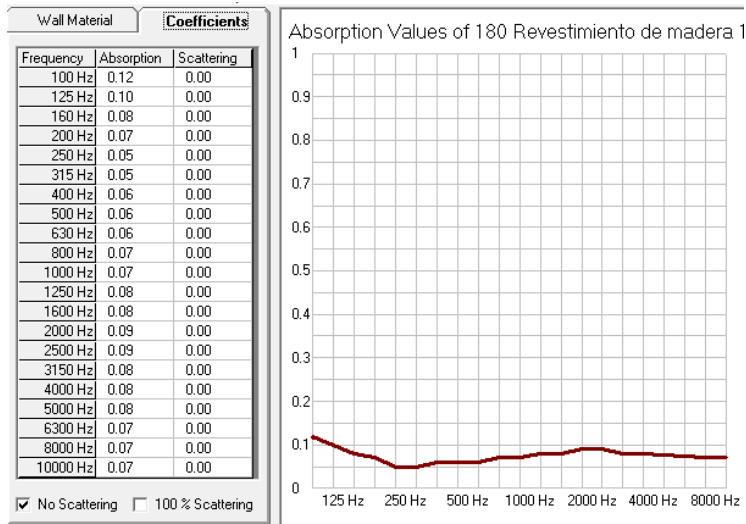


Figura 132. Valores de absorción del material 11

### 12. Terrazzo

Este material se asigna a parte del suelo anfiteatro del teatro. Concretamente, al suelo de las dos primeras filas y mbos palcos. Cubre un 1.82% de la superficie total.

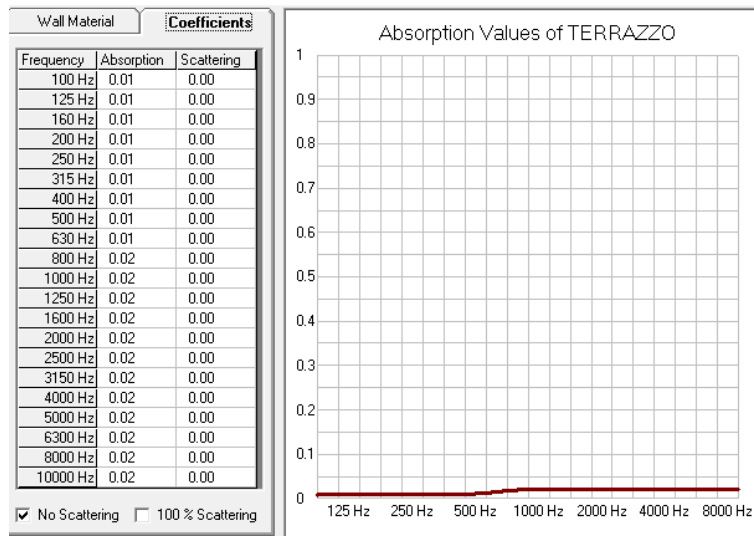


Figura 133. Valores de absorción del material 12

### 13. Escayola

Este tipo de escayola se asigna a la estructura del arco del escenario. Debido a las irregularidades del mismo se le dota de varios *scattering*. Se utilizan *scattering* cuadrado, circular y lineal, todos ellos de tamaño grande. La superficie cubierta total es de 2.79%

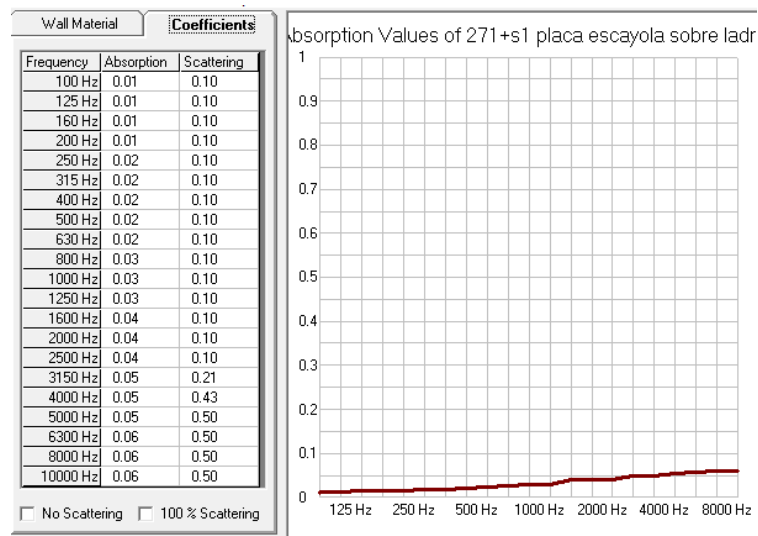


Figura 134. Valores de absorción del material 13 con *scattering* lineal

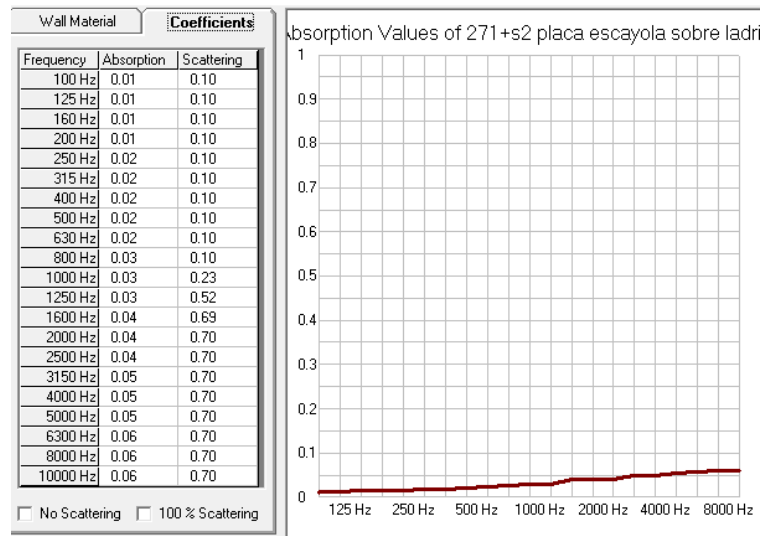


Figura 135. Valores de absorción del material 13 con scattering cuadrado

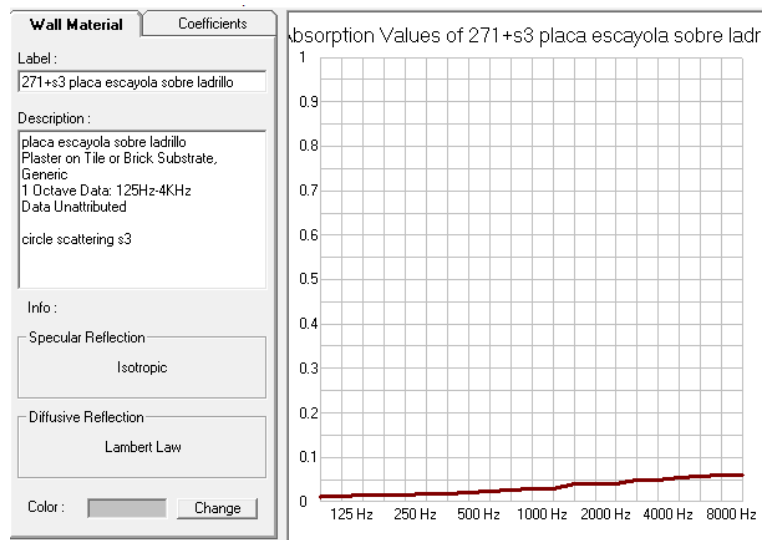


Figura 136. Valores de absorción del material 13 con scattering circular

### 14. Algodón

Se asigna al telón grande del escenario. Cubre un 1.24% de la superficie total.

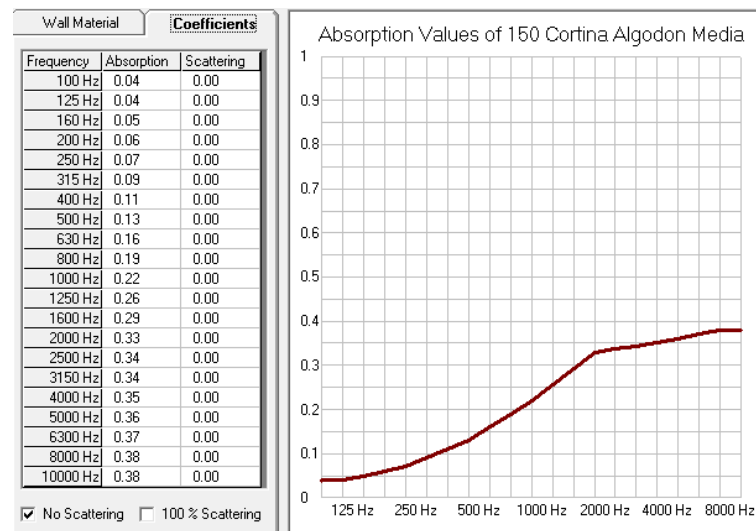


Figura 137. Valores de absorción del material 14

### 15. Metacritalo

El metacritalo se asigna a la lámpara. Se compone de dos partes diferenciadas. Una sin *scattering* (cubre un 1.09% de superficie) y otra con él. Es de tipo grande y laminada y supone un 0.71% de superficie cubierta.

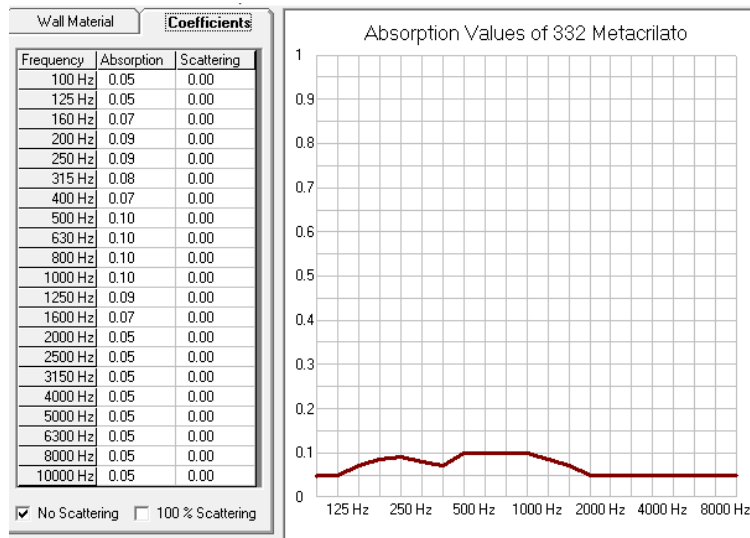


Figura 138. Valores de absorción del material 15

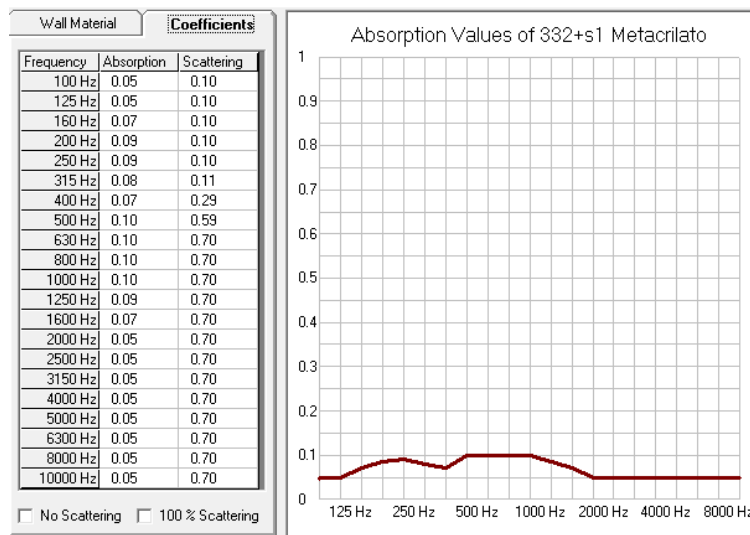


Figura 139. Valores de absorción del material 15 con scattering lineal

### 16. Madera

Asignado a las puertas. Entre todas cubren un 0.85% de la superficie total.

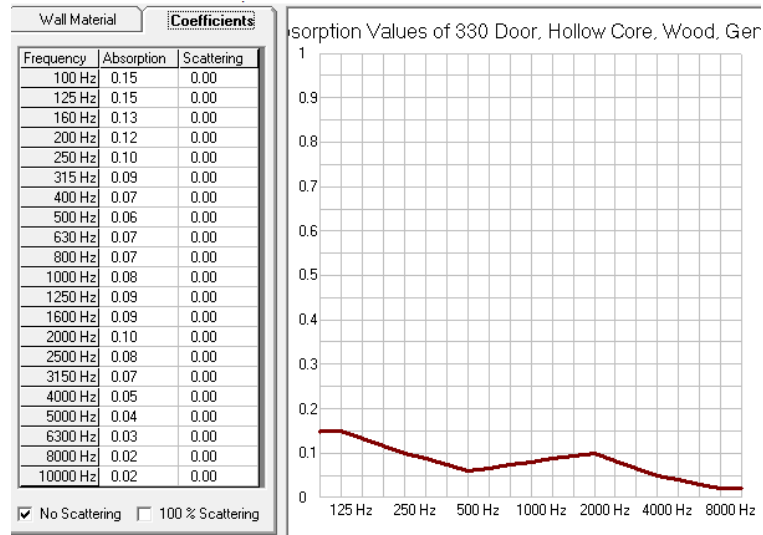


Figura 140. Valores de absorción del material 16

### 17. Terciopelo

Este terciopelo se asigna a las cortinas de las puertas. Cubre una superficie total de 0.74%, un 0.11% menos que el anterior material debido a que no todas las puertas cuentan con cortinas.

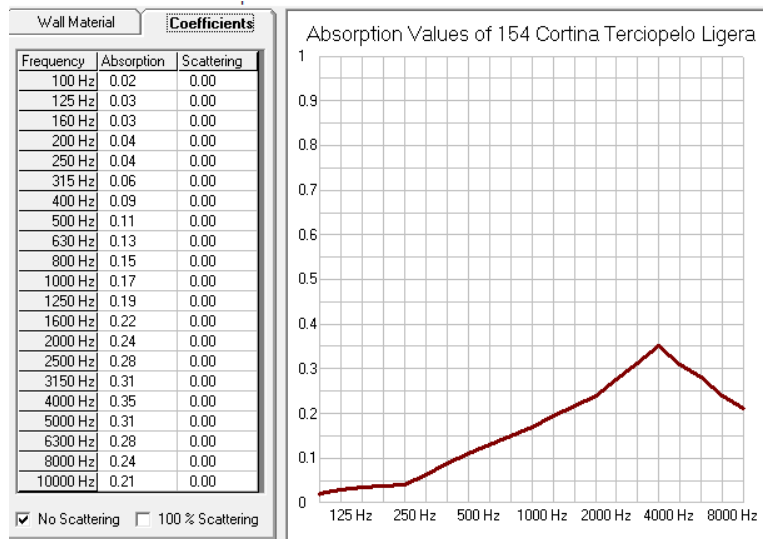


Figura 141. Valores de absorción del material 17

### 18. Escayola

La barandilla superior del anfiteatro está constituida de escayola. Cubre un 0.7% de la superficie total.

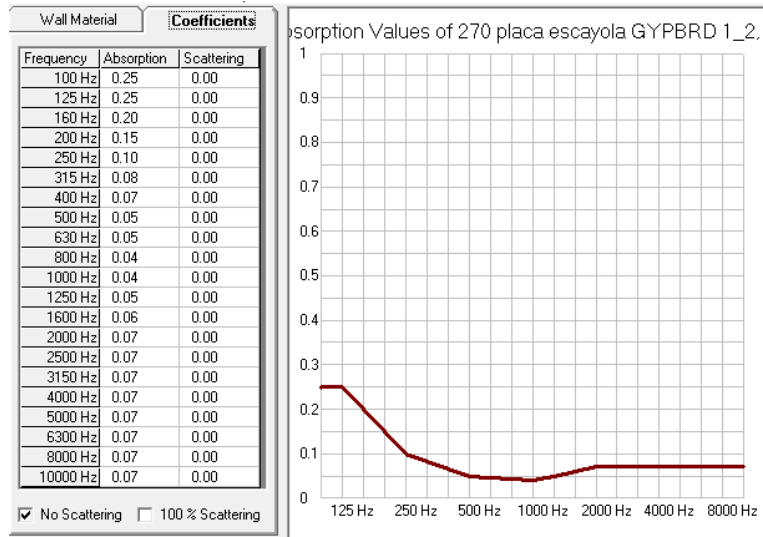


Figura 142. Valores de absorción del material 18

**19. Tela**

Se asigna al telón grande del escenario. Cubre un 0.66% de la superficie total.

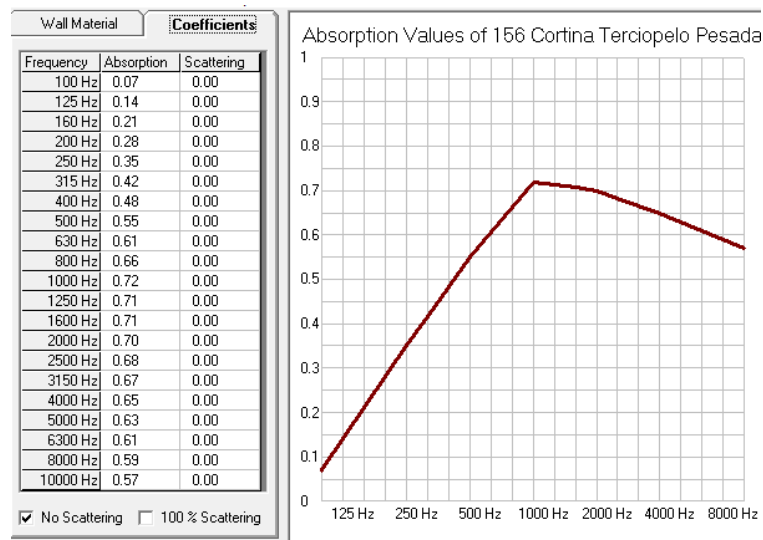


Figura 143. Valores de absorción del material 19

**20. Contrachapado de madera**

La cabina de control se crea con contrachapado de madera. Cubre un 0.58% de la superficie total de la sala.

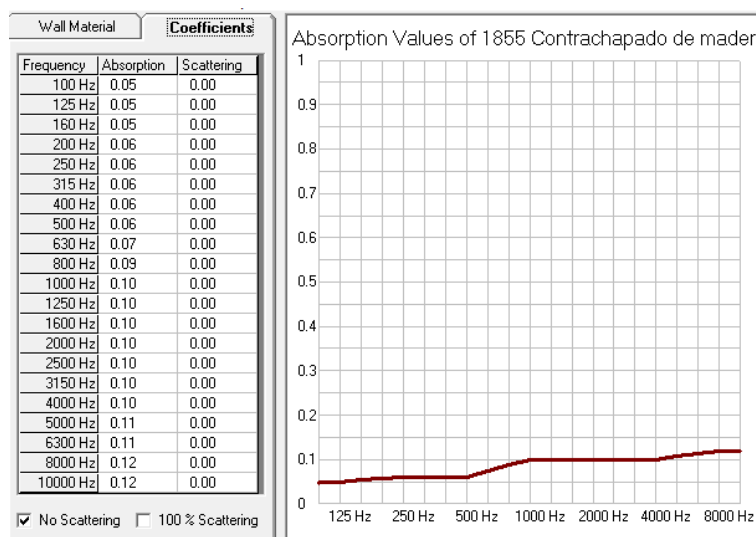


Figura 144. Valores de absorción del material 20

## 21. Escayola II

La barandilla superior del antepecho está constituida de escayola. Cubre un 0.52% de la superficie total.

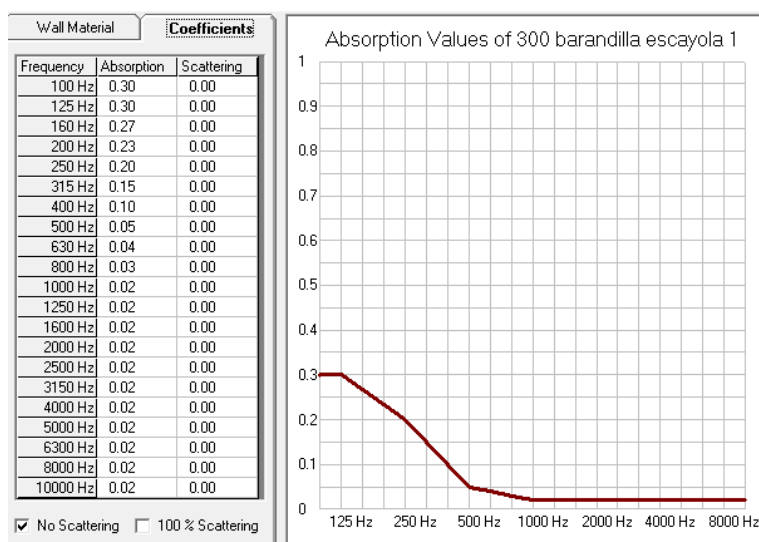


Figura 145. Valores de absorción del material 21

## 22. Yeso

Se utiliza en los pequeños adornos, como las lámparas de los laterales. Suponen un 0.19% de la superficie total.

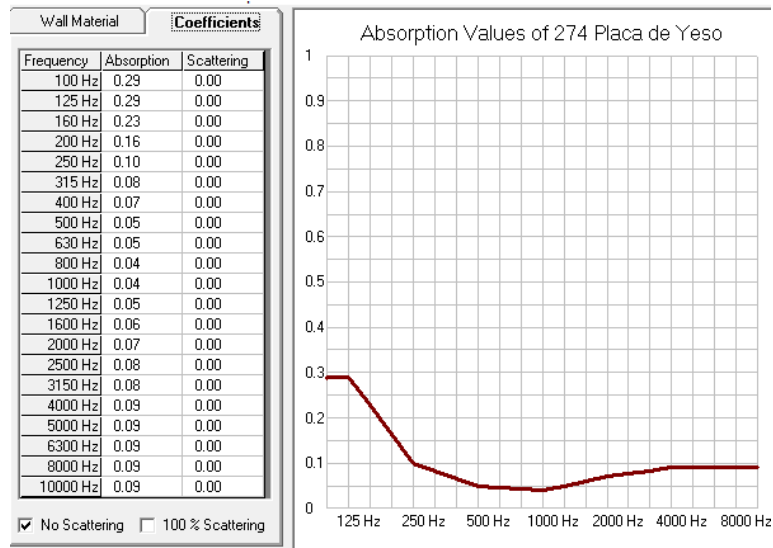


Figura 146. Valores de absorción del material 22

### 23. Tapiz

Las sillas se recubren de este tapiz. Como hay pocas sillas, tan solo cubre un 0.08% de la superficie total.

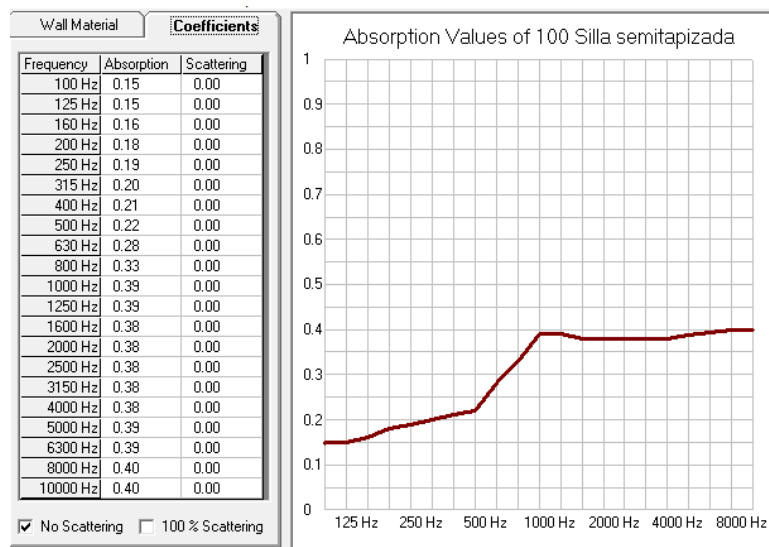


Figura 147. Valores de absorción del material 23

### 24. Cristal

Se asigna al cristal de la cabina de control trasera. Cubre un 0.04% de la superficie total.

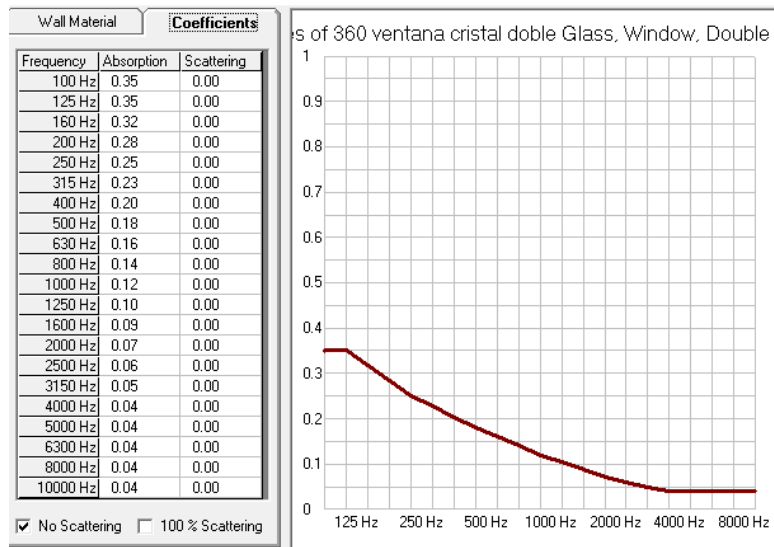


Figura 148. Valores de absorción del material 24

**25. Metal**

En ambas entradas del anfiteatro hay una barandilla metálica. A ambas barandillas se les asigna este material. Cubren el 0.02% de la superficie total.

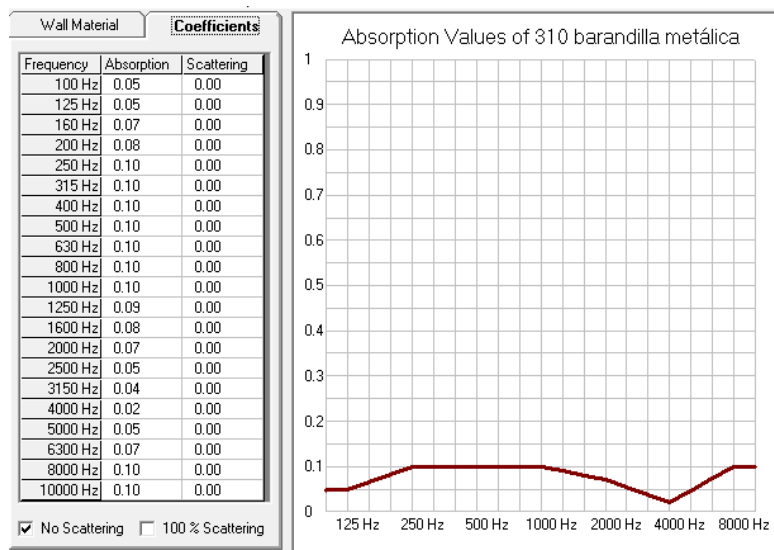


Figura 149. Valores de absorción del material 25

**26. Revesitimiento de madera**

Se aplica a la barandilla del foso del escenario. Al igual que las anteriores barandillas, cubren el 0.02% de la superficie total.

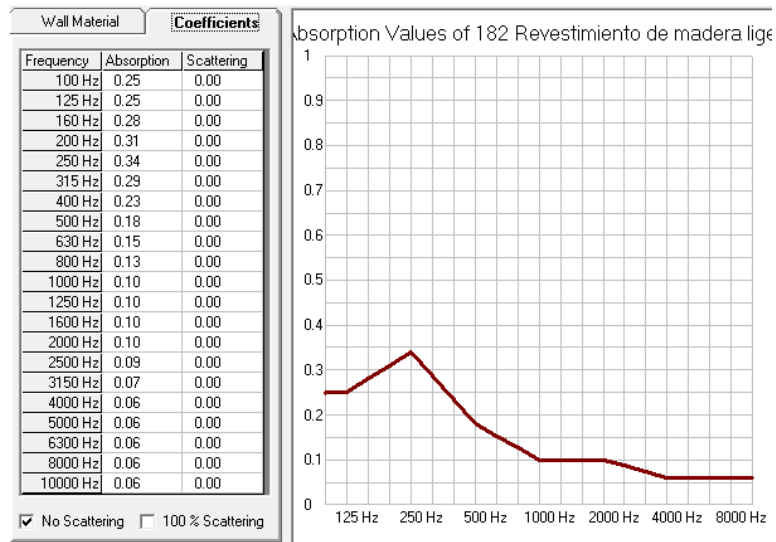


Figura 150. Valores de absorción del material 26

