

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio del acondicionamiento
acústico del Teatro del Museu Faller de
Gandía.”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Rubén Valls Sanz

Tutor/a:

Juan Antonio Martínez Mora

GANDIA, 2019

Resumen

En el presente trabajo se analizan las características acústicas del “Museu Faller” de Gandía en el estado actual y se proponen las acciones de mejora de su acondicionamiento acústico y adoptarlo el uso al que está destinado. La caracterización consiste en la realización de las mediciones del tiempo de reverberación y de la respuesta al impulso en la sala junto al análisis de los resultados. De forma paralela se llevará a cabo el diseño del recinto virtual mediante el programa de simulación acústica. Los resultados de la simulación acústica se comparan con los resultados de las medidas in situ.

Finalmente se presentarán propuestas de mejora de acuerdo con las deficiencias observadas en los parámetros acústicos que se emplean en estos estudios.

Palabras clave: Acondicionamiento acústico; Catt Acoustic; Acústica de salas; Diseño acústico.

Abstract

In the present work, the acoustic characteristics of the "Museu Faller" of Gandía in the current state are analyzed and the actions to improve its acoustic conditioning and adopt the intended use are proposed. The characterization consists in the realization of the reverberation time measurements and the impulse response in the room together with the analysis of the results. In parallel, the virtual enclosure design will be carried out through the acoustic simulation program. The results of the acoustic simulation are compared with the results of the measurements in situ.

Finally, proposals for improvement will be presented in accordance with the deficiencies observed in the acoustic parameters used in these studies.

Key words: Acoustic conditioning; Catt Acoustic; Room acoustic; Acoustic design

Índice

RESUMEN	2
ABSTRACT	2
1 - INTRODUCCIÓN	5
1.1 - OBJETIVO DEL PROYECTO	5
1.2 - SITUACIÓN Y ENTORNO	5
2 - CONCEPTOS ACÚSTICOS	8
2.1 - CONCEPTOS ACÚSTICOS Y NORMAS UNE	8
2.1.1 – TEORÍA ESTADÍSTICA	8
2.1.2 – TEORÍA GEOMÉTRICA.....	8
2.1.3 - TEORÍA ONDULATORIA	9
2.1.4 – TIEMPO DE REVERBERACIÓN RT.....	10
2.1.5 - T ₃₀	12
2.1.6- EDT.....	13
2.1.7 - T ₂₀	13
2.1.8 - T _S	13
2.1.9 – CALIDEZ ACÚSTICA (BASS RATIO) BR	14
2.1.10 - BRILLO (BR)	14
2.1.11 – CLARIDAD C50.....	15
2.1.12 – CURVA NC.....	16
3 – NORMAS APLICADAS PARA LAS MEDICIONES <i>IN-SITU</i>	17
3.1 - INSTRUMENTOS UTILIZADOS	17
3.1.1 -SONÓMETRO	17
3.1.2 - MICRÓFONO DE CONDENSADOR	17
3.1.3 - CALIBRADOR	18
3.1.4 – SOFTWARE ARTA	18
3.1.5 - FUENTE SONORA	18
3.1.6 – AMPLIFICADOR DE POTENCIA	19
3.1.7 - TARJETA DE SONIDO	19
3.1.8 - PC CON EL SOFTWARE “CATT-ACOUSTICS”.....	19
3.1.9 - SOFTWARE BZ5503.....	20
3.1.10 - OTROS ELEMENTOS	20
3.2 – SALA DEL MUSEU FALLER	20
3.3 – CALIBRACIÓN	21
3.4 - MONTAJE	23
3.5 – RESULTADOS	27
3.5.1.-RESULTADOS EN EL SONÓMETRO.	27
3.5.2 – RESULTADOS CON LA RESPUESTA AL IMPULSO	29
3.6 – COMPARACIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN	33
4 – SIMULACIÓN EN CATT- ACOUSTIC	33
4.1 – RESULTADOS OBTENIDOS	37
5 – CONCLUSIONES	41
6 – BIBLIOGRAFÍA	42

1 - Introducción

1.1 - Objetivo del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es primeramente caracterizar y posteriormente optimizar la acústica de la sala en el “Museu Faller” de Gandía. Se llevará a cabo un estudio del acondicionamiento acústico del teatro para obtener los valores de los parámetros acústicos en el estado actual y a partir del análisis de los resultados y con la ayuda de un programa de simulación, optimizar y acercarnos a los parámetros teóricos ideales según el uso al que este destinado este recinto.

Para conseguir un buen acondicionamiento del teatro en primer lugar se llevarán a cabo las mediciones acústicas para determinar los parámetros acústicos en el estado actual y a continuación consultando la bibliografía obtendremos los valores de los parámetros acústicos óptimos, de acuerdo con la teoría de acústica de salas y en concreto para la geometría, aforo y volumen de la sala bajo estudio.

El siguiente paso se abordaría con la ayuda del software Catt-acoustic, se diseñarán diferentes soluciones del acondicionamiento acústico en este recinto para que las simulaciones se ajusten a los valores teóricos de los parámetros ideales para esta sala.

Como objetivo secundario será profundizar en el uso del equipamiento necesario para realizar las medidas acústicas en una situación real, así como el uso del software de simulación CATT-ACOUSTIC. Una parte importante del trabajo consistirá en llevar a cabo las mediciones “in situ” con la instrumentación y equipamiento del laboratorio de Acústica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía.

1.2 - Situación y entorno

La ciudad de Gandía está situada en la Comunidad Valenciana en la provincia de Valencia en la comarca de la Safor. Cuenta con 73.829 habitantes (fuente INE 2018).

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

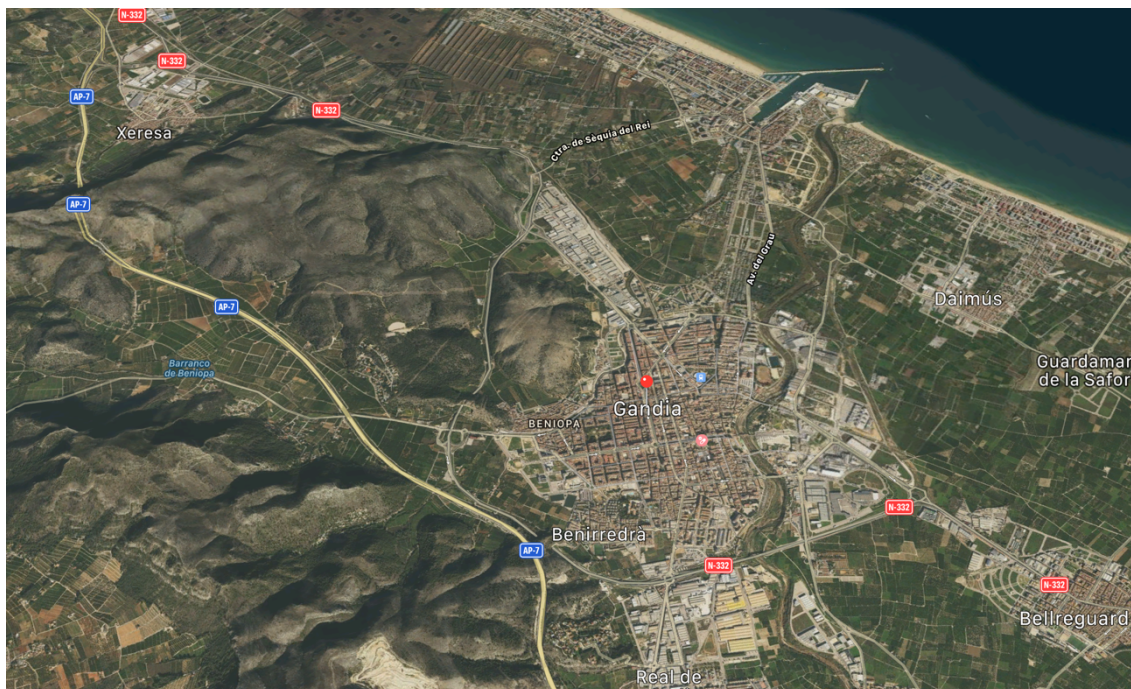


Figura 1. Situación General de la población de Gandía. Fuente Google

El edificio se encuentra ubicado en la calle Sant Martí de Porres nº 29. En este mismo edificio, junto al teatro se encuentra un Museo, un bar y a su derecha un parking descubierto.

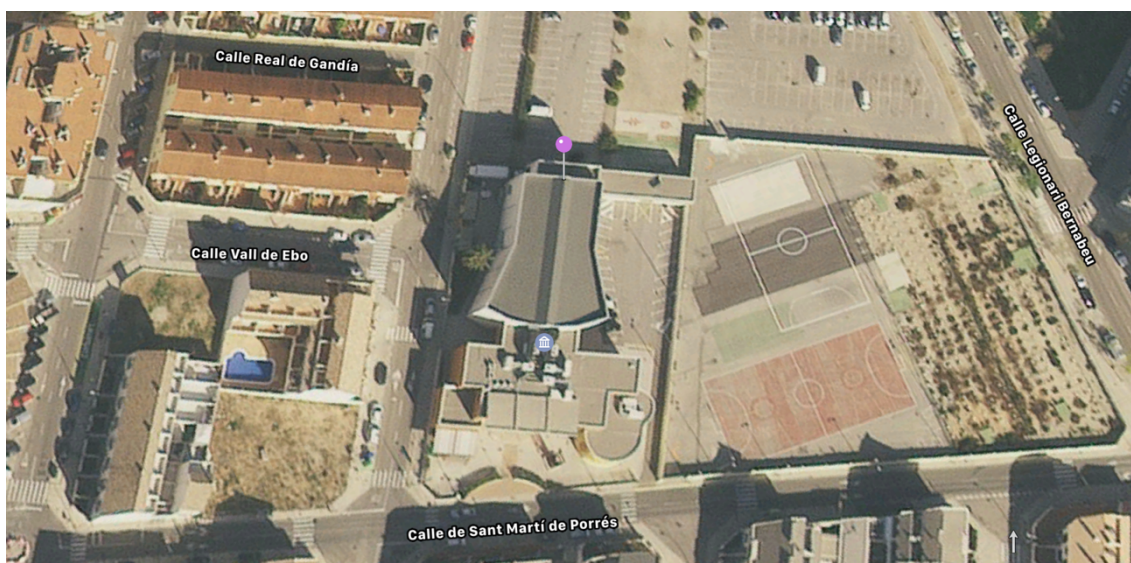


Figura 2. Vista que muestra la ubicación del edificio. Fuente Google



Figura 3. Fachada principal

2 - Conceptos acústicos.

2.1 - Conceptos acústicos y Normas UNE

Como se ha comentado en el capítulo anterior, el objetivo del proyecto es obtener los parámetros acústicos de la sala de estudio, para posteriormente, poder realizar un estudio de la misma.

Existen tres maneras, complementarias entre ellas, para abordar el diseño acústico de un espacio. La teoría estadística, la teoría geométrica y la teoría ondulatoria.

Además, para el estudio de la Acústica de un recinto, diferentes autores a través de la bibliografía (Beranek, Barron) han definido un gran número de parámetros que caracterizan la sala, pero en nuestro caso tenemos un recinto para usos múltiples y después de consultar la bibliografía y otros estudios (Carrión) se ha decidido estudiar los que, a continuación, se definirán y se detallarán las principales características acústicas de cada uno de los parámetros

2.1.1 – Teoría estadística

La energía sonora total presente en cualquier punto de una sala se obtiene como suma de una energía de valor variable, que depende de la ubicación del punto y otra de valor constante. Se supone que se parte de una fuente sonora de directividad conocida que radia una potencia constante. La energía de valor variable corresponde al sonido directo, y disminuye a medida que el receptor se aleja de la fuente, mientras que la energía de valor constante va asociada al sonido indirecto o reflejado. El hecho de que dicha energía no dependa del punto en consideración proviene de aplicar la teoría estadística a todo el sonido reflejado y, en consecuencia, de tratar por igual todas las reflexiones, sean primeras o tardías (cola reverberante). Esta hipótesis teórica conduce a resultados aproximados, si bien presenta la ventaja de la simplicidad de cálculo de energía total. Habitualmente no se trabaja en términos de energía, sino de nivel de presión sonora, lo cual es totalmente equivalente. Ello se debe a que, en la práctica el nivel de SPL es fácilmente medible mediante sonómetros. Por lo tanto, según lo que se acaba de exponer, la presión sonora total en un punto cualquiera de un recinto se obtiene a partir de la contribución de las presiones del sonido directo (disminuye con la distancia a la fuente) y del sonido reverberado (es constante en toda la sala).

2.1.2 – Teoría geométrica

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

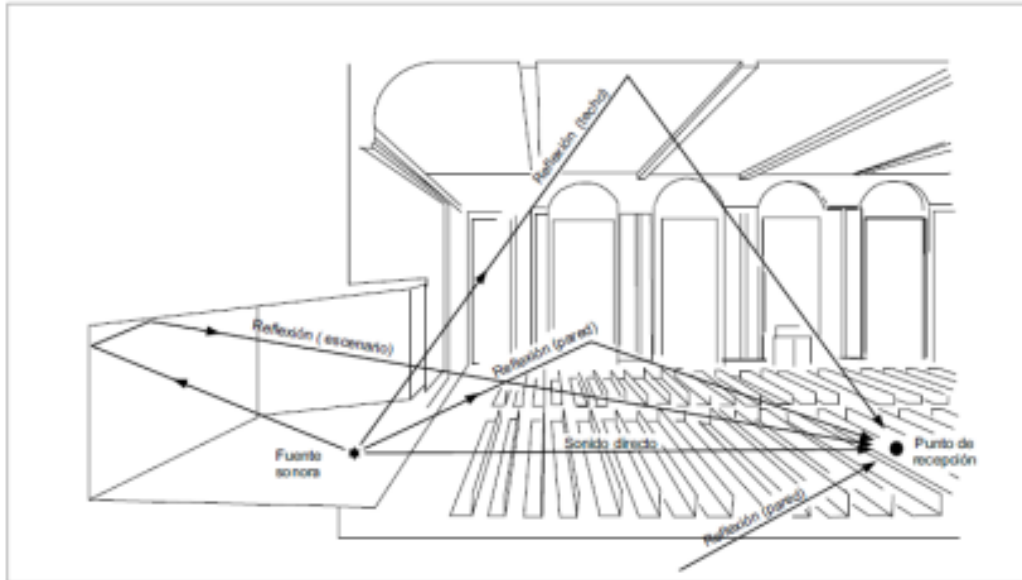


Figura 3. Reflexiones

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

El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexiones especulares constituye la base de la denominada acústica geométrica. Dicho análisis no es más que una aproximación a la realidad, ya que sólo en determinadas circunstancias la hipótesis de reflexión especular es totalmente veraz.

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

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

En el caso de que las dimensiones sean menores o similares a la longitud de onda del sonido, la onda sonora rodea la superficie y sigue propagándose como si el obstáculo que representa la misma no existe. Se conoce como difracción.

Por otra parte, si la superficie presenta irregularidades de dimensiones comparables con la longitud de onda, se produce una reflexión de la onda incidente en múltiples direcciones. Se conoce como reflexión difusa.

En el caso de que no se cumplan los requisitos anteriores aparecerán fenómenos de propagación del sonido difíciles de estudiar basándose en esta teoría. En tal caso, deberíamos recurrir a programas informáticos avanzados de simulación acústica que permiten el análisis teniendo en cuenta tanto el fenómeno de difracción como el de reflexión difusa.

2.1.3 - Teoría ondulatoria

La combinación de ondas incidentes y reflejadas en una sala da lugar a interferencias constructivas y destructivas o, lo que es lo mismo, a la aparición de las denominadas

ondas estacionarias o modos propios de la sala. Cada modo propio va asociado a una frecuencia, igualmente denominada propia, y está caracterizado por un nivel de presión sonora SPL que varía en función del punto considerado.

Esta teoría realiza un estudio analítico de los modos propios conjuntamente con la acústica geométrica y la estadística. Éstas constituyen las tres teorías clásicas que hacen posible conocer con rigor el comportamiento del sonido en un recinto cualquiera. El número de modos propios es ilimitado, si bien su distribución a lo largo del eje frecuencial es discreta, aumentando su densidad con la frecuencia. La presencia de todos ellos provoca en cada punto una concentración de energía alrededor de las diversas frecuencias, lo cual confiere un sonido característico a cada sala. Dicho sonido recibe el nombre de “coloración” y normalmente se pone de manifiesto en espacios de dimensiones relativamente reducidas como, por ejemplo, los estudios de grabación. Los valores de las frecuencias propias asociadas a los diferentes modos propios dependen de la geometría y de las dimensiones del recinto y, en general, su determinación resulta muy compleja. Únicamente cuando se trata de recintos de forma paralelepípedica con superficies totalmente reflectantes es posible calcularlos de una forma muy sencilla, mediante la denominada fórmula de Rayleigh:

$$f_{k,m,n} = 172,5 \sqrt{\left(\frac{k}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{m}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_z}\right)^2}$$

- L_x , L_y y L_z representan las dimensiones de la sala (en metros)
- k , m , n pueden tomar cualquier valor entero (0, 1, 2, 3, ...)

Cada combinación de valores k , m , n da lugar a una frecuencia y modo propio asociado, que recibe el nombre de modo propio k , m , n .

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

2.1.4 – Tiempo de reverberación RT

La reverberación es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido dentro de un espacio cerrado. Consiste en una ligera prolongación por las diferentes superficies, por lo que, en general, depende del volumen del recinto y de los coeficientes de absorción de sus superficies referidas a cada frecuencia.

Cuando una fuente sonora emite una energía acústica en un recinto, normalmente, las ondas sonoras progresan libremente, pero después de cierto tiempo, que depende de la distancia de la fuente a las superficies del contorno, estas ondas empiezan a reflejarse, superponiéndose con las ondas incidentes. Este proceso se repite continuamente, con lo cual la energía dentro del recinto iría incrementándose continuamente si no fuese por la absorción de parte de esta energía por las superficies del recinto, la absorción del aire y de los objetos situados dentro del mismo.

Análogamente, si la fuente sonora deja de emitir, la energía acústica almacenada en el recinto no desaparece inmediatamente, sino que necesita de un tiempo para que la misma sea absorbida hasta que no sea audible. Esta permanencia de los sonidos en el interior del

espacio tiene gran importancia para el comportamiento acústico de la sala. La reverberación es esta persistencia debida a las continuas reflexiones de las ondas sonoras en las superficies cuando la fuente ha dejado de emitir.

El tiempo de reverberación (RT) es uno de los primeros parámetros introducido por Sabine para cuantificar de forma objetiva la calidad acústica de una sala. Se define como el tiempo necesario para que la intensidad acústica de un sonido en régimen estacionario se reduzca a una millonésima de su valor inicial, contando a partir del instante en que la fuente deja de emitir. Esto equivale a considerar una reducción de 60dB en el nivel de presión sonora dentro del recinto. Subjetivamente, se entiende como el tiempo de persistencia del sonido en el recinto hasta hacerse inaudible. Es el indicador acústico más representativo del comportamiento de un recinto, al ser más expresivo en términos globales y del que dependen de otros. En escala logarítmica se puede medir a partir de la curva de decrecimiento de la energía acústica media, considerando que el RT es el tiempo que tarda en decaer la energía acústica media en el recinto 60 dB una vez que la fuente ha parado de emitir desde un estado estacionario. Usualmente esta caída empieza a considerarse una vez han decaído 5 dB para así evitar las pequeñas oscilaciones de nivel en el régimen estacionario, por tanto, el rango que se corresponde al RT es el de -5 dB hasta -65 dB.

Se mide en segundos y expresa la “viveza” de la sala (conforme aumenta el RT la sala tiene una mayor viveza y al revés salas con menor RT son más apagadas o también llamadas salas muertas). Este parámetro está ligado a las características físicas de la sala ya que depende directamente de su volumen, superficie, así como de los propiedades de absorción de los materiales con los que está construida. Se puede expresar en forma matemática a partir de la ecuación:

$$RT = \frac{0.161 V}{A} = \frac{0.161 V}{S_T \alpha_m} \quad (1)$$

Siendo:

V; Volumen de la sala en m³.

A; Área de absorción de la sala en (m² o Sabines)

S_T; Superficie total que es la suma de todos los cerramientos interiores de la sala (m²)

S_i; Superficie del cerramiento *i* (m²)

α_i; Coeficiente de absorción de la superficie S_i (adimensional)

α_m; Coeficiente de absorción media de la sala (adimensional) y se obtiene, teniendo en cuenta todas las superficies de la sala con sus correspondientes coeficientes de absorción, a partir de la expresión

$$\alpha_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i}{S_T}$$

En la figura 3 aparece una explicación visual de lo explicado en este párrafo.

En ocasiones el recinto cuya reverberación se desea conocer no tiene unas condiciones adecuadas para medir una caída de nivel tan grande, entre otras causas por la presencia de ruido de fondo o insuficiente nivel de la fuente; por tanto, se elegirán intervalos más pequeños, por lo que se introducen los parámetros EDT, T₂₀, T₃₀,... donde se utilizará el T₃₀ en este proyecto.

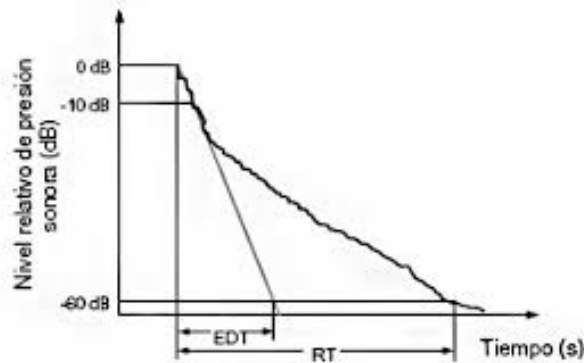


Figura 4. Medida del tiempo de reverberación a partir de la curva de decrecimiento

Por último, según Beranek, para volúmenes entre 10.000 y 30.000 m³, el valor medio de los RT correspondientes a las bandas de 500 Hz y 1 kHz por una sala totalmente ocupada y destinada a un amplio repertorio de música:

$$1,8 \leq RT_{mid} \leq 2 \text{ s}$$

Siendo T_{mid} el tiempo de reverberación medio, a partir del promedio de las frecuencias medias a 0.5 kHz y 1 kHz

$$T_{mid} = \frac{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})}{2}$$

El tiempo de reverberación para salas multifuncionales, como la del Museu Faller, debe estar entre 1,2-1,5 ms.

Sala	TR (medio 1kHz y 500Hz) Sala Ocupada
Sala de Conferencias	0.7-1.0
Cine	1.0-1.2
Sala Polivalente	1.2-1.5
Teatro de Ópera	1.2-1.5
Sala de Conciertos (música de cámara)	1.3-1.7
Sala de Conciertos (música sinfónica)	1.8-2.0
Iglesia/Catedral	2.0-3.0
Locutorio de radio	0.2-0.4

Tabla 1. Tiempo de reverberación.

2.1.5 - T₃₀

El T₃₀ es el tiempo de reverberación en función de un rango de evaluación de 30 dB, es decir, es la medida del tiempo de reverberación en un rango reducido.

En este caso, el rango de medida en la curva de decrecimiento es el correspondiente una caída de -5 a -35 dB multiplicado por 2.

2.1.6- EDT

El tiempo de reverberación inicial (EDT, siglas correspondientes a Early Decay Time), se corresponde con el tiempo que tarda en caer el nivel 10 dB en la curva de decrecimiento una vez la fuente ha cesado su emisión, multiplicado por 6.

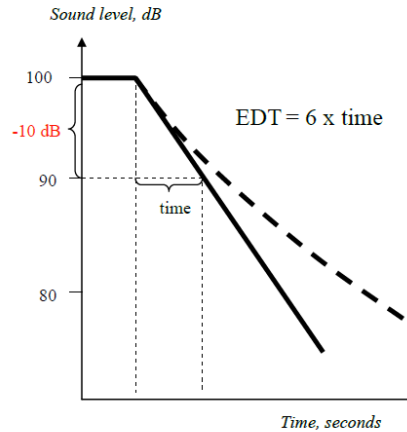


Figura 5. EDT

Como se observa en la figura 4, gráficamente se obtiene uniendo con una recta el punto donde la fuente deja de emitir con el punto donde el nivel cae 10 dB.

Se utiliza para obtener el tiempo de reverberación que percibimos subjetivamente, mientras que el RT es un parámetro objetivo. Precisamente por esta razón, el EDT suele ser menor al RT, aunque en salas con mucha difusión del sonido sus valores pueden coincidir. Un valor del EDT menor que el RT significa que la “viveza” de la sala comentada anteriormente es menor que la esperada debido al valor del RT.

Es aconsejable que para las bandas de frecuencia de 500 y 1000 Hz el EDT y el RT tengan valores similares en salas vacías.

2.1.7 - T_{20}

Es paralelo al T_{30} pero considerando un intervalo aún menor, de -5 a -25 dB multiplicado por 3.

Medida del EDT

2.1.8 - T_s

El tiempo central (T_s), es un parámetro que en la actualidad está en desuso que se utiliza para determinar la nitidez del sonido de manera que un aumento del tiempo central en un punto implica un aumento de la nitidez percibida en ese punto, no obstante, el valor del tiempo central no debería superar los 2 segundos ya que, en ese caso, la nitidez del sonido disminuye.

Este parámetro también es denominado centro de gravedad debido a que mide el tiempo que transcurre desde el inicio hasta el centro de gravedad de la curva de decrecimiento. Küer lo definió como el primer momento del área que queda debajo de la curva energía-tiempo, apoyando esta teoría con la ecuación (2):

$$t_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} [s] \quad (2)$$

2.1.9 – Calidez Acústica (Bass Ratio) BR

El calor o calidez de una sala se define como la suma de los RT de las frecuencias bajas (125 Hz a 250 Hz) y medias (500 Hz a 1 kHz), gracias a él, la sala debe reforzar los sonidos graves de forma que haga que la música más cálida. Si esto no se produce la sala da sensación de que la música es muy frágil, carece de fuerza.

$$BR = \frac{RT(125 \text{ Hz}) + RT(250 \text{ Hz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})}$$

Durante el diseño del acondicionamiento tendremos que tener especial cuidado en la utilización de materiales muy absorbentes y bajar demasiado el tiempo de reverberación con altos coeficientes de absorción a bajas frecuencias se llegaría a una sala muerta.

Según Beranek (citar bien la referencia), los márgenes de valores válidos para una sala de conciertos destinada a la música sinfónica y totalmente ocupada son:

$$1,10 \leq BR \leq 1,25 \text{ (si el } RT_{mid} = 2,2 \text{ s)}$$

$$1,10 \leq BR \leq 1,45 \text{ (si el } RT_{mid} = 1,8 \text{ s)}$$

Para salas con TR_{mid} intermedios, el valor de BR se obtiene por interpolación de los anteriores.

Sin dejar de lado los tiempos de reverberación los seguimos teniendo en cuenta para el cálculo del brillo de nuestra sala.

2.1.10 - Brillo (Br)

Relación entre los tiempos de reverberación de las altas frecuencias (2 y 4 kHz) y de las frecuencias medias (500 Hz y 1000 Hz)

$$Br = \frac{RT(2 \text{ kHz}) + RT(4 \text{ kHz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ kHz})}$$

Beranek (citar bien) recomienda que el valor del Br para todas las salas totalmente ocupadas verifique:

$$Br \geq 0,87$$

Hay que tener en cuenta que el brillo no será superior a la unidad. Esto es debido a la pérdida de energía de las ondas al propagarse a través del aire. Esta absorción tiene más efecto a partir de los 2 kHz y aumenta con la frecuencia y con el descenso de la humedad relativa.

2.1.11 – Claridad C50

Existen 2 parámetros distintos para poder medir la proporción efectiva de primeras reflexiones: la claridad de la voz C₅₀, para salas dedicadas a la palabra y la claridad musical, y C₈₀ para salas destinadas a música.

En nuestro caso nos centramos en C₅₀ ya que define la inteligibilidad de la palabra y de la música cantada. Se define como relación entre la energía sonora recibida durante las primeras 50ms desde la llegada del sonido directo y la que llega después de los primeros 50 ms.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{0,005} p^2(t) dt}{\int_{0,005}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (en dB)}$$

Según L.G. Marshall, para caracterizar una sala con un único valor, es suficiente utilizar el denominado Speech Average, que se calcula a partir de C₅₀:

$$C_{50\text{av}} = 0,15 C_{50} (500\text{Hz}) + 0,25 C_{50} (1000\text{Hz}) + 0,35 C_{50} (2000\text{Hz}) + 0,25 C_{50} (4000\text{Hz}) \text{ (en dB)}$$

Para una aceptable inteligibilidad, deberá cumplirse la siguiente condición:

$$C_{50} (\text{Speech average}) \geq 2\text{dB}$$

Cuanto mas se supere este límite, mayor será la sonoridad y la inteligibilidad de la palabra.

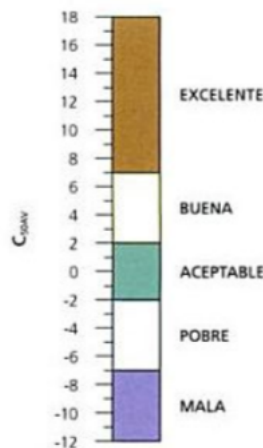


Figura 6. Valoración de la inteligibilidad en función de C50

2.1.12 – Curva NC

Se trata de un parámetro de calidad que no tiene que ver directamente con las características de la sala, sino con el sonido presente en su interior. Por lo tanto, se trata de una magnitud que permite valorar el ruido de fondo.

La forma en la que se evalúa es comparar el nivel existente en el interior predefinidos que constituyen una curva de referencia. Entre las más utilizadas, se encuentran las curvas NC (Noise Criterion) que abarcan bandas de octava entre 63 Hz y 8Khz.

Frec. (Hz)	NC Valores											
	NC-15	NC-20	NC-25	NC-30	NC-35	NC-40	NC-45	NC-50	NC-55	NC-60	NC-65	NC-70
63	47	51	54	57	60	64	67	71	74	77	80	83
125	36	41	44	48	52	56	60	64	67	71	75	79
250	29	33	37	41	45	50	54	58	62	67	71	75
500	22	26	31	35	40	45	49	54	58	63	68	73
1000	17	22	27	31	36	41	46	51	56	61	66	71
2000	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69
4000	12	17	22	28	33	38	43	48	53	58	63	68
8000	11	16	21	27	32	37	42	47	52	57	62	67

Tabla 2. Valores NC

Para saber que curva se adapta a nuestro recinto, se debe suponer un espectro de ruido medio con el conjunto de curvas e identificar aquella que queda más inmediatamente por encima.

Para ello, mostramos una tabla con las curvas recomendadas para diferentes tipos de salas.

TIPO DE RECINTOS	CURVA NC RECOMENDADA
Estudios de grabación	15
Salas de conciertos y teatros	15-20
Hoteles (habitaciones individuales)	20-30
Salas de conferencias / Aulas	20-30
Despachos de oficinas / Bibliotecas	30-35
Hoteles (vestíbulos y pasillos)	35-40
Restaurantes	35-40
Salas de ordenadores	35-45
Cafeterías	40-45
Polideportivos	40-50
Talleres (maquinaria ligera)	45-55
Talleres (maquinaria pesada)	50-65

Figura 7. Curva NC recomendadas

Como vemos, vamos viendo que en nuestra sala tendríamos que tener la curva NC-20 recomendada.

3 – Normas aplicadas para las mediciones *in-situ*.

La norma que rige estas medidas es la UNE-EN ISO 3382, esta norma consta de dos partes una primera dedicada a las salas de espectáculos y una segunda para recintos ordinarios.

En nuestro caso tendremos en cuenta la primera parte de la norma la dedicada a las salas de espectáculos y realizada en febrero de 2010.

3.1 - Instrumentos utilizados

3.1.1 -Sonómetro

El sonómetro utilizado es el modelo 2250 de la empresa Brüel&Kjaer. Se trata de un sonómetro de clase 1, lo cual nos indica que la medición tendrá una incertidumbre que puede variar en ± 0.7 dB.

Dispone de un filtro para corregir el efecto de la pantalla anti-viento y el almacenamiento de un historial de calibración. Tiene capacidad para almacenar archivos de las medidas que pueden transferirse luego a un ordenador.

El sonómetro dispone de varios módulos, nosotros utilizaremos el módulo de sonómetro avanzado, el módulo de tiempo de reverberación y el módulo de análisis de frecuencias, en esta última podemos seleccionar la medida en bandas de octava o en bandas de tercios de octava.



Figura 8. Sonómetro 2250 Bruel Kjaer utilizado en las mediciones del TR

3.1.2 - Micrófono de condensador

El micrófono utilizado para las mediciones con el sonómetro es un micrófono de campo libre pre-polarizado modelo 4189 de 1/2 pulgada de Brüel&Kjær. Se trata de un micrófono resistente y fiable con un amplio espectro de frecuencias y un rango dinámico entre 14.6 y 146 dB. Con direccionalidad Omnidireccional y de incidencia aleatoria.



Figura 9. Micrófono

3.1.3 - Calibrador

El calibrador es de Brüel& Kjaer, modelo 4231. El Calibrador genera un sonido estable a una determinada frecuencia asegura que los valores de medición del sonómetro sean exactos y cumplan con las leyes internacionales. El calibrador sonoro utilizado es el siguiente.



Figura 10. Calibrador modelo 4231

3.1.4 – Software ARTA

ARTA es un software que permite realizar medidas de respuesta al impulso utilizando un ordenador, un dispositivo de sonido que bien puede ser la propia tarjeta de sonido del ordenador y micrófonos.

A partir de esta respuesta medida, el sistema es capaz de calcular el espectro en frecuencia y muchos parámetros acústicos, entre ellos los que nos serán de interés en este caso todos ellos recogidos en la norma UNE-EN ISO 3382.

3.1.5 - Fuente sonora

La fuente sonora utilizada para las medidas de acondicionamiento es el modelo “OMNIPOWER” de la marca B&K.

Para medir las características acústicas de la sala se necesita que la fuente sea lo más omnidireccional posible y es por eso se ha escogido este modelo. Es una fuente cuya forma geométrica es dodecaédrica, teniendo en cada una de sus caras un altavoz. Además, dispone de un soporte regulable para poder ajustar la fuente de forma cómoda.

Esta fuente está especialmente diseñada para emitir un campo sonoro difuso conforme a la norma UNE-EN ISO 140.



Figura 11. Fuente OMNIPOWER B&K

Por último, cabe destacar que la fuente es menos omnidireccional a medida que aumenta la frecuencia, por tanto, habrá que ver si este hecho tiene relevancia en los resultados obtenidos o no. En la figura 10 se aprecia como la fuente se vuelve más direccional al aumentar la frecuencia, pese a que su comportamiento sigue siendo bastante bueno.

3.1.6 – Amplificador de potencia

Amplificador de potencia Bluer kjaer 2716

3.1.7 - Tarjeta de sonido

Se utilizará el dispositivo USB Fast Track Pro de M-Audio como tarjeta de sonido. Este dispositivo consta de dos canales de entrada y otros tantos de salida para poder enviar desde el ordenador señales generadas por ARTA y recibir datos para su estudio a la vez. Como su propio nombre indica, se conecta al ordenador mediante un USB por lo que no necesita alimentación externa.

3.1.8 - PC con el software “CATT-ACOUSTICS”

El software CattAcoustics V9.1.d con la Universidad Politécnica de Valencia EPSG un programa utilizado para la simulación del recinto introduciendo la geometría, las propiedades acústicas de los materiales, la posición y las características de la fuente y la posición de los receptores. Como salida se obtienen diferentes parámetros como TR, y su distribución junto con otros parámetros acústicos que definirán, las características acústicas de la sala objeto de estudio.

3.1.9 - Software BZ5503

Es un software de Brüel&Kjaer para la visualización y procesado de datos medidos con el sonómetro, el cual en este caso se hizo servir para el volcado de datos desde el sonómetro al ordenador.

3.1.10 - Otros elementos

Para poder llevar a cabo todas las mediciones correctamente serán necesarios algunos elementos adicionales que complementen al resto de componentes principales.

Estos serán principalmente soportes para los micrófonos y la fuente, cables y alargaderas con diferentes conectores para conectar todos los elementos entre sí, un medidor láser y una cinta métrica para tomar las dimensiones de la sala y un medidor de condiciones ambientales para medir la temperatura y humedad presente en la sala durante las medidas.
- Termohigrómetro Testo 635 para medir la temperatura, la humedad relativa con nº de serie 01437787/710

3.2 – Sala del Museu Faller

La sala que vamos a estudiar es el teatro situado dentro del edificio del Museu Faller de Gandía. La sala está compuesta por 17 filas y un anfiteatro en el primer piso, siendo la capacidad máxima de espectadores sentados en butaca de 572. Las butacas están distribuidas en cuatro bloques, donde las primeras 5 filas están a nivel del suelo del teatro, y el resto están situadas en unas gradas retráctiles. En la ilustración 2 puede verse una fotografía de la sala que se va a estudiar.



Ilustración 1. Sala del Museu Faller de Gandía. Vista desde el escenario.

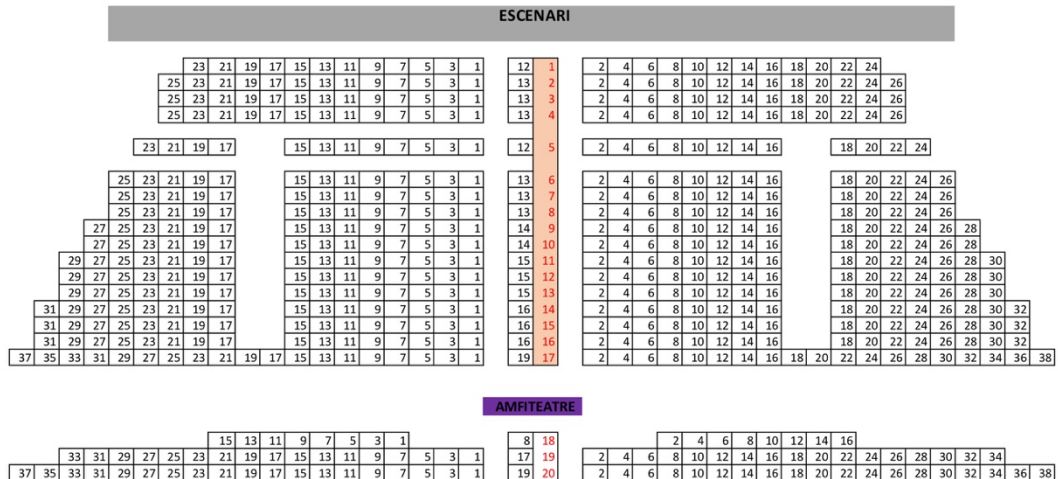


Figura 12. Distribución Gradas.

3.3 – Calibración

El primer paso antes de empezar a tomar medidas es calibrar la tarjeta de sonido Fast Track Pro. Para ello debe realizarse el montaje que aparece en la figura 11 que se basa en conectar el adaptador USB al ordenador uniendo en este cada una de sus entradas con su salida correspondiente.



Figura 13. Montaje para la calibración.

Abrimos el programa ARTA y seleccionamos el modo de medida **FR1**, que es la respuesta en frecuencia de canal simple, y lo configuramos con los siguientes parámetros:

- Tipo de generador: PN Pink
- Frecuencia (Hz): 48000
- FFT: 32768
- Compensación: Ninguna
- Nivel del generador: 0 dB

En el programa ARTA y en la pestaña **Audio Devices Setup** se seleccionan los drivers de la tarjeta Fast Track Pro.

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

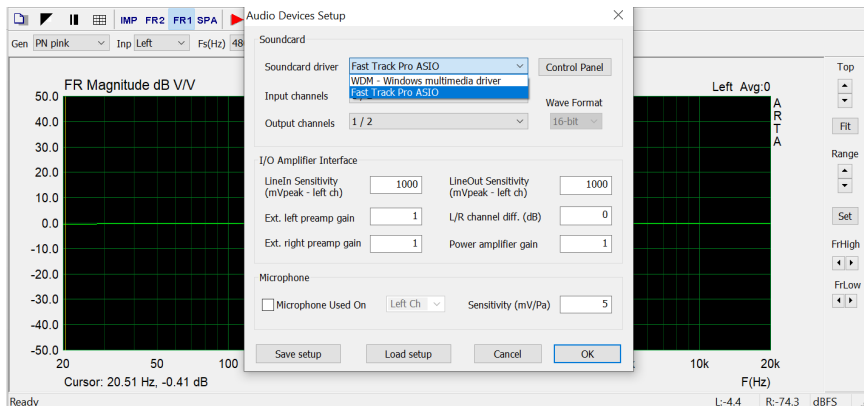


Figura 14. Selección de los drivers en ARTA.

Se regula el nivel de salida hasta poner el espectro (con los cursores de la tarjeta Gain y OUTPUT, el MIXER queda en la posición PB) que se muestra en el display frecuencial a 0 dB como mostramos a continuación en la figura 15.

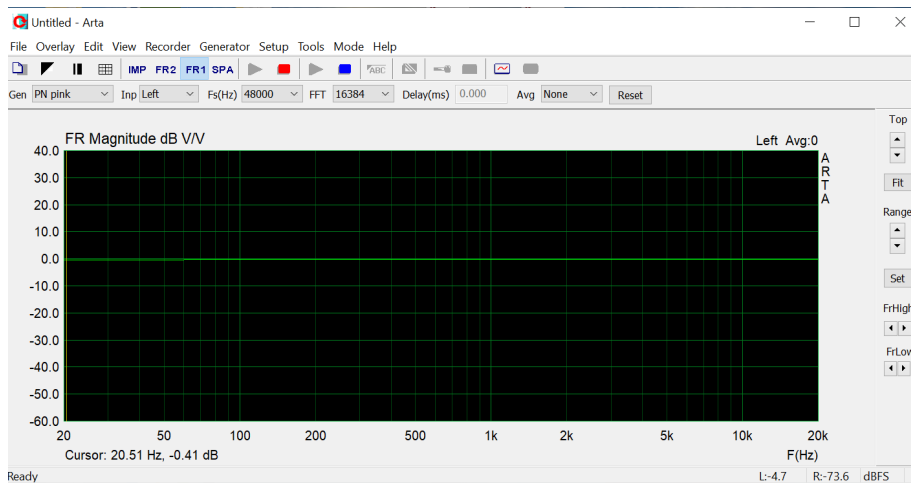


Figura 15. Espectro de salida a 0 dB.

Una vez calibrada la tarjeta de audio, el siguiente paso es calibrar el micro de B&K 4189 con el calibrador de Bruel&Kjaer teniendo en cuenta la sensibilidad del micro (nº serie 1836589 de 47.2 mV/Pa) conectamos la entrada el micro de 47.2 mV/Pa y colocamos el calibrador. En ARTA pulsamos FR1, setup y calibration devices.

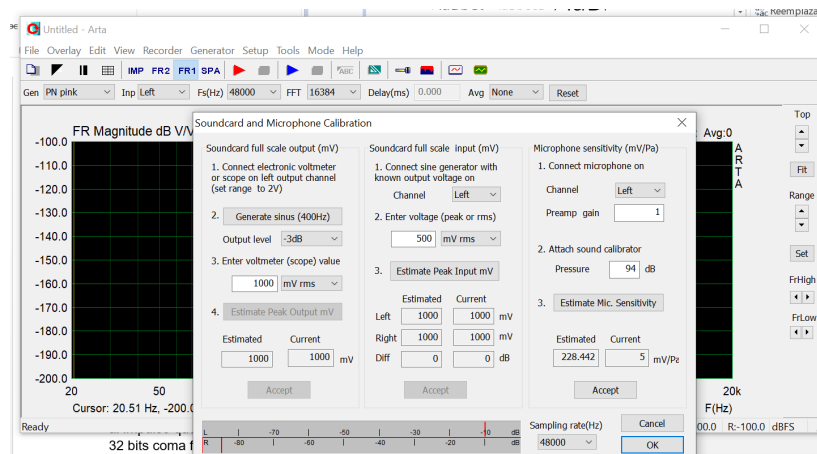


Figura 16. Calibración del micro en ARTA.

Se pulsa Estimated Mic sensitivity y se regula el botón de GAIN del canal 1 de la tarjeta hasta tener -10 dB en left channel. Después ajustar el botón Pream Gain (tarjeta) hasta que la sensibilidad estimada del micro coincida con la del micro 47.2 mV/Pa.

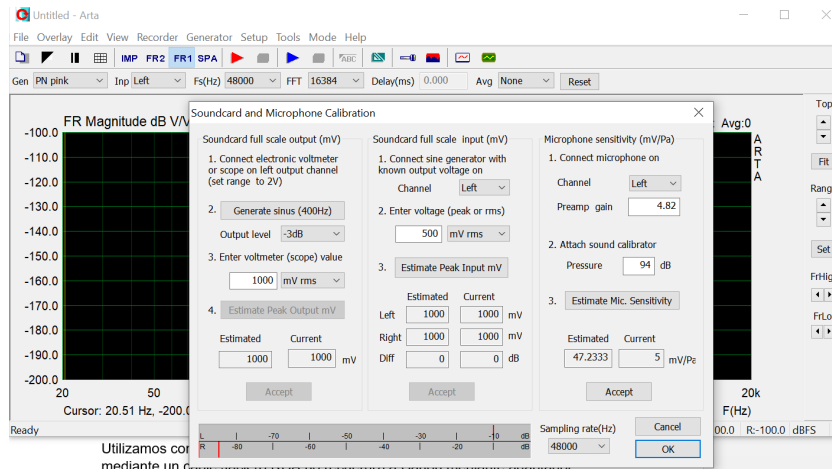


Figura 17. Calibración del micro en ARTA. Parte 2.

Se llega casi con el valor 47.2333 mV/Pa y se pulsa Accept y después OK y coincidirán los valores estimated U y current. Así ya tendríamos la calibración finalizada.

3.4 - Montaje

Una vez tenemos ya calibrado tanto el micro como la tarjeta de sonido, empezamos con el montaje del recinto.

Primero vamos a configurar el sonómetro, donde elegiremos la configuración del TR por el método del ruido interrumpido y se registrarán los tiempos de reverberación de la sala. Como hemos dicho anteriormente, utilizaremos la fuente omnidireccional OMNIPOWER B&K.

Una vez realizada las medidas con el sonómetro, volcaremos los resultados a un ordenador con el software correspondiente.

Una vez realizadas las medidas con el sonómetro, donde luego mostraremos los resultados, vamos a pasar con el montaje para poder realizar la respuesta al impulso.

A partir de la respuesta al impulso en diferentes puntos de la sala ya se pueden obtener los parámetros acústicos fundamentales. Utilizamos en primer lugar la fuente y se conecta la salida 1 RCA y después mediante un adaptador Canon (macho a hembra) que va a la fuente (altavoz). El micro se conecta mediante un cable BNC al input de la alimentación Phantom de B&K. La salida del Phantom (BNC se adapta a RCA) va a la entrada de la card Jack mediante un adaptador a RCA.

Ahora empezamos a realizar las medidas con el propio sonómetro. Se enciende el Phantom a unos 11 V (automático BIAS)

Utilizando el programa ARTA en el pc, pulsamos la pestaña Impulse Response IMP y seleccionamos 64k o 128k y el valor de 44300 de frecuencia de muestreo. Promediamos

5 veces. Existe la posibilidad de emitir o bien una MLS o un sine sweep lineal/exponencial. Se obtendrá la respuesta al impulso de la sala y que ya se puede exportar como texto o bien como wav PCM o wav 32 bits coma flotante. En nuestro caso, para después obtener los resultados, lo exportaremos en wav. Lo repetimos tantas veces como sean necesarias para poder tener un resultado más ajustado al que nosotros queremos. La siguiente ilustración nos muestra los puntos receptores donde hemos realizado las medidas.

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

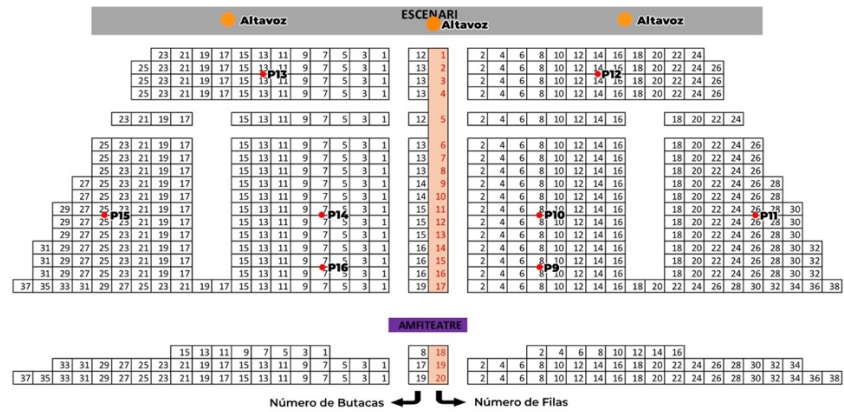


Ilustración 2. Medidas realizadas desde el portátil.



Ilustración 3. Disposición del equipo para las medidas del TR las primeras filas en el Museu Faller



Ilustración 4. Medidas del TR (sonómetro) en las últimas filas del Museu Faller 2.

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

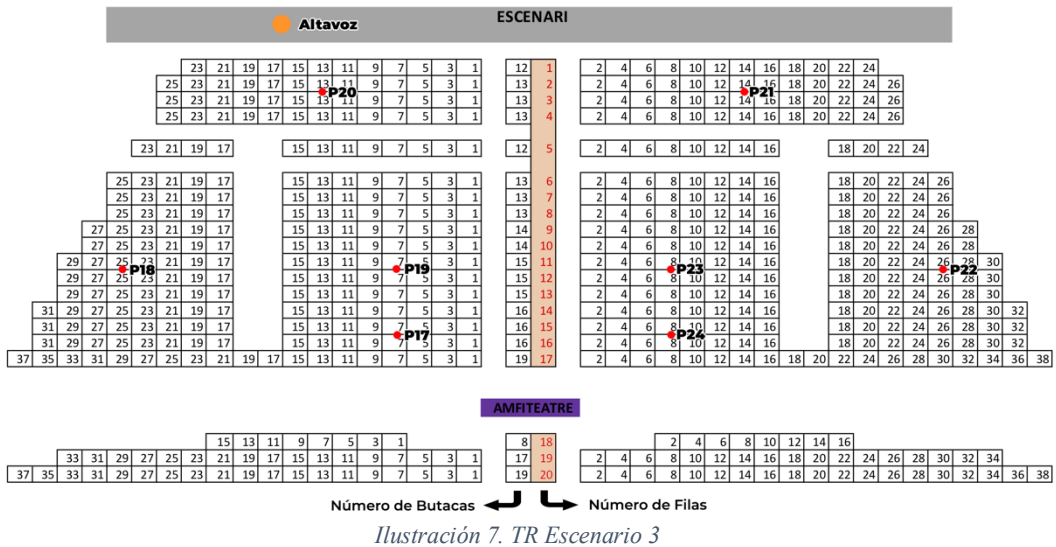
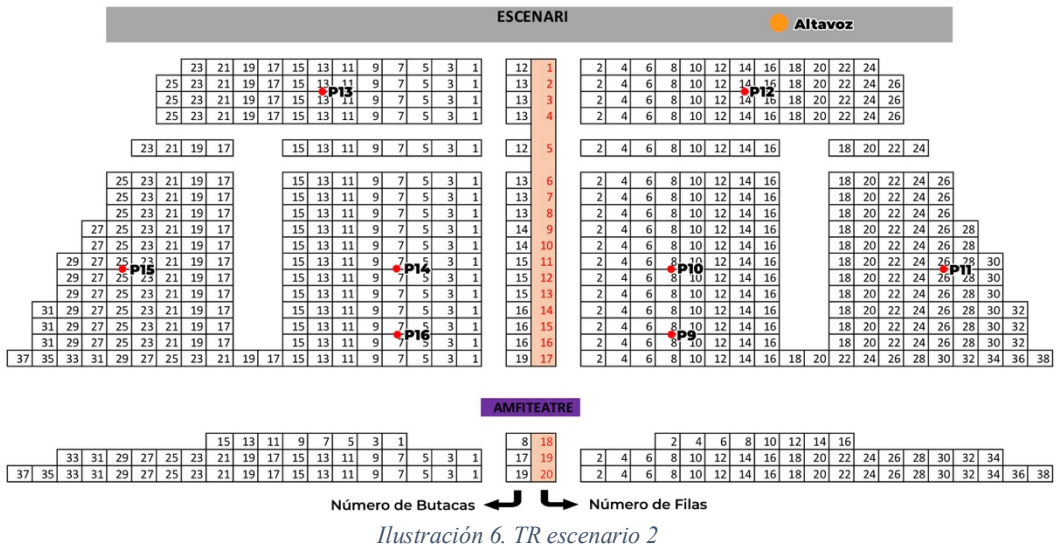
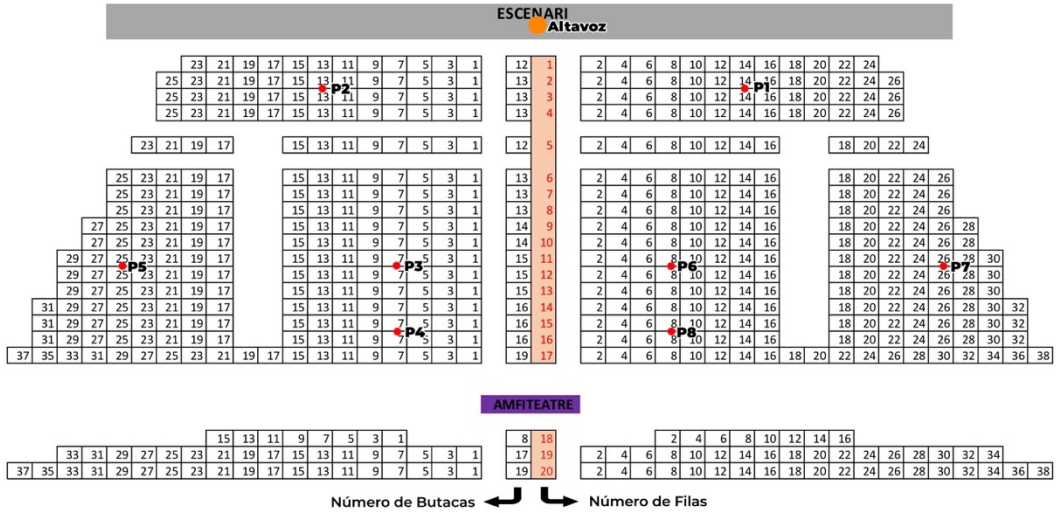




Ilustración 8. Configuración del equipo para las medidas de la respuesta al impulso.



Ilustración 9. Medidas in-situ en el Museu Faller 4.

Una vez realizada todas las medidas, mediremos también el ruido de fondo.

3.5 – Resultados

3.5.1.-Resultados en el sonómetro.

Así que, ya realizadas todas las medidas, primero, con el sonómetro, vamos a enseñar los resultados, ya que el objetivo es conocer el tiempo de reverberación del teatro para ver

como actúa. Cuando se trata de salas destinadas al habla, es conveniente que los valores de TR sean bajos, con objeto de conseguir una buena inteligibilidad. Mientras que, en el caso de salas de conciertos, son recomendables unos valores más elevados para que la audición musical resulte óptima. En la tabla se dan los márgenes de valores recomendados de TR medio (TR_{mid} media del TR para las frecuencias de 500 y 1000Hz), para diferentes tipos de salas en el supuesto de que estén ocupadas.

TIPO DE SALA	RT_{mid} , SALA OCUPADA (EN s)
Sala de conferencias	0,7 – 1,0
Cine	1,0 – 1,2
Sala polivalente	1,2 – 1,5
Teatro de ópera	1,2 – 1,5
Sala de conciertos (música de cámara)	1,3 – 1,7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1,8 – 2,0
Iglesia/catedral (órgano y canto coral)	2,0 – 3,0
Locutorio de radio	0,2 – 0,4

Figura 18. TR medio para diferentes tipos de salas.

En nuestro caso, el teatro es de uso multiusos, ya que se realizan conferencias como conciertos musicales, por lo que lo ideal sería una sala polivalente, es decir entre 1,2 y 1,5.

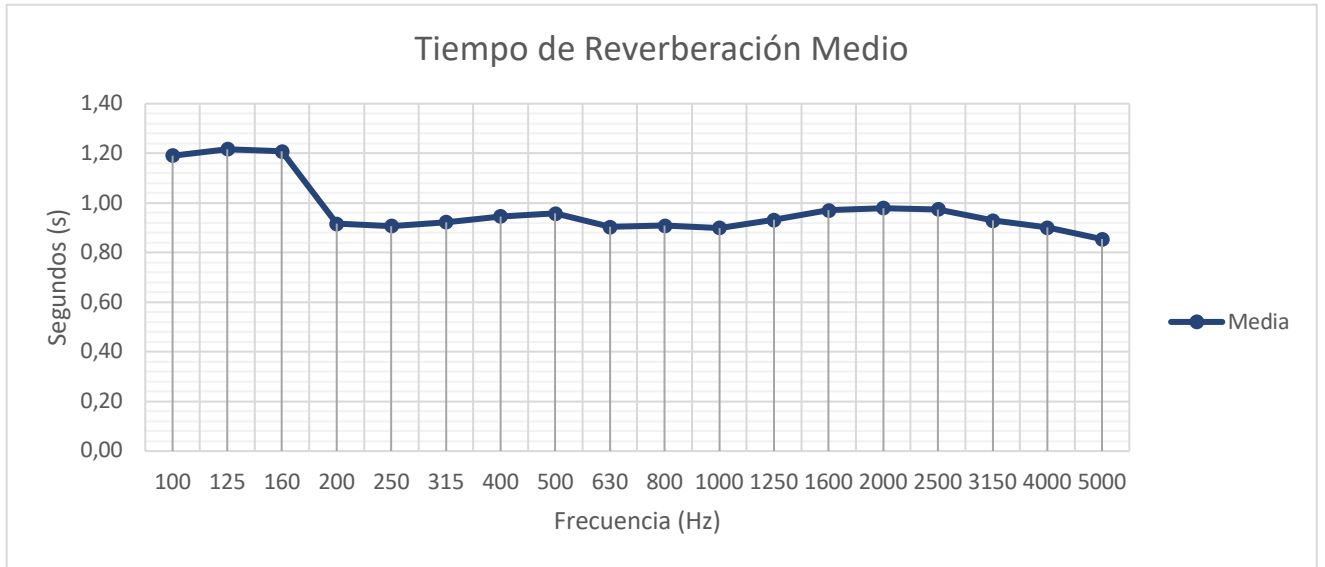
Además, con las medidas nos podrá determinar también distintos parámetros tales como la claridad $C50$ y el EDT, entre otros.

Para llevar a cabo la medición se han considerado ciertos aspectos contenidos en la norma UNE-EN ISO 3382-1 “Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte1: Salas de espectáculos”, en la parte de medición del tiempo de reverberación por el método interrumpido.

Como hemos explicado anteriormente en el apartado anterior, donde hemos explicado los materiales utilizados, vamos a exponer los resultados, que fueron estudiados uno por uno.

TR(s) Frec(Hz)	TR1	TR2	TR3	TR Medio	Desviación estándar (s)
125	1,19	1,26	1,16	1,20	0,20
250	0,90	0,93	0,91	0,92	0,10
500	0,95	0,94	0,90	0,94	0,08
1000	0,93	0,91	0,90	0,91	0,06
2000	0,99	0,97	0,96	0,97	0,07
4000	0,92	0,90	0,87	0,89	0,06

Tabla 3. Resultados TR.



Si se observan los resultados se aprecia que en bajas frecuencias existe una mayor desviación de los resultados de las medidas realizadas en cada punto. Por otro lado, en bajas frecuencias se obtienen también valores altos de tiempo de reverberación, hasta los 200 Hz; a partir de ahí los valores empiezan a descender hasta obtener un valor más o menos estable que se sitúa bajo de un segundo. Este comportamiento es muy deseable para que se generen buenas condiciones de audición.

Los tiempos de reverberación obtenidos en cada posición tienen cierta similitud, con lo cual se puede deducir que, en ese rango de frecuencias, el teatro posee un comportamiento uniforme.

3.5.2 – Resultados con la respuesta al impulso

Primero mostraremos un ejemplo de la respuesta al impulso.

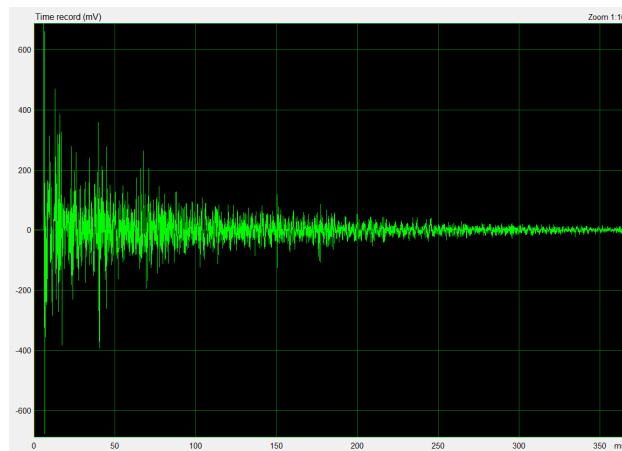


Ilustración 10. Respuesta al impulso con una señal sine sweep.

Pulsando en la pestaña Analysis y a continuación seleccionamos ISO3382-acoustical parameters y en la nueva ventana que se abre, elegimos Table presentation for 1/1 octave bands y obtenemos los valores de los parámetros acústicos.

F (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 (s)	0.849	1.016	0.838	0.927	0.872	0.953	0.861	0.664
rT30	-0.981	-0.997	-0.996	-0.997	-0.999	-0.999	-0.999	-0.999
T20 (s)	1.051	0.918	0.877	0.870	0.852	0.936	0.832	0.652
rT20	-0.991	-0.998	-0.989	-0.995	-0.998	-0.998	-0.999	-0.998
T10 (s)	0.999	0.939	1.111	0.768	0.874	1.019	0.883	0.685
rT10	-0.982	-0.994	-0.991	-0.995	-0.995	-0.992	-0.993	-0.994
EDT (s)	0.746	0.802	0.827	0.761	0.806	0.914	0.873	0.552
C80 (dB)	6.78	6.04	8.27	4.58	6.59	6.71	6.06	10.49
C50 (dB)	3.16	3.83	5.46	1.60	2.90	3.56	3.29	6.87
D50 (%)	67.42	70.74	77.87	59.13	66.09	69.40	68.07	82.94
Ts (ms)	70.535	50.611	40.708	55.694	46.791	46.807	48.405	25.419
BR	1.043							

Figura 19. Tabla de resultados.

Ahora vamos a mostrar una tabla con la media de todas las posiciones y mostraremos el T₃₀ obtenido a partir de dichos parámetros.

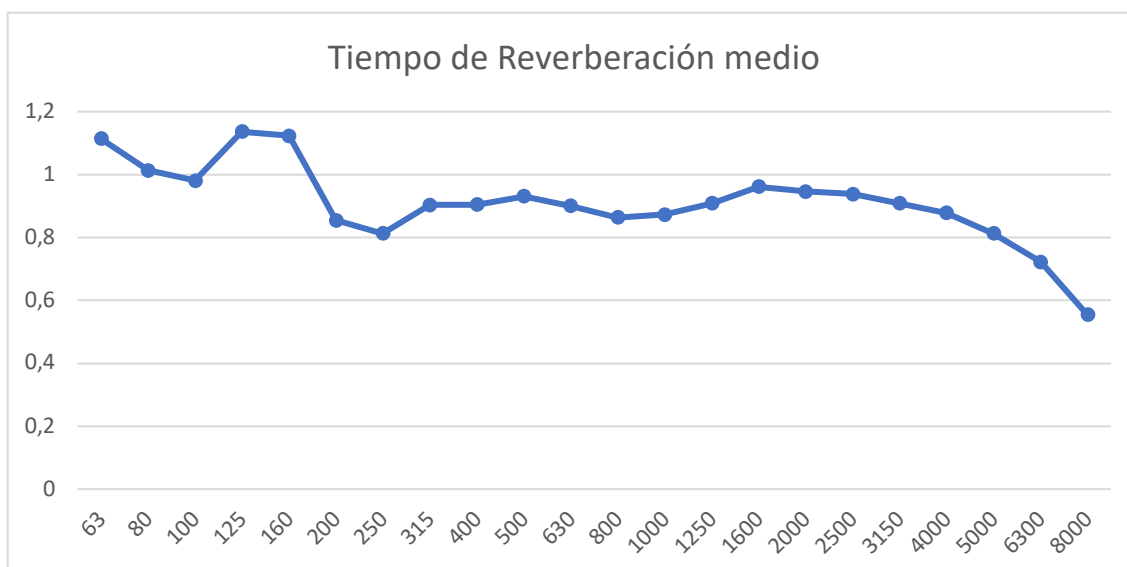


Figura 20. Tiempo de reverberación medio a través de la respuesta al impulso.

Anteriormente, hemos definido la claridad de la voz C₅₀, y gracias a las medidas realizadas, obtenemos el parámetro C₅₀.

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

<i>Frec (Hz)</i>	<i>C50(dB)</i>									
100	5,230	4,330	2,820	2,420	1,860	0,630	0,220	2,370		
125	3,310	0,720	2,830	2,800	5,850	5,530	4,300	2,090	2,28	
160	1,520	0,700	2,920	1,560	3,400	3,140	4,710	1,510		
200	8,170	5,670	6,760	4,910	4,280	6,440	4,450	3,460		
250	7,840	5,650	6,520	3,240	7,190	7,910	3,890	4,300	5,86	
315	8,170	8,150	2,570	4,570	6,480	2,090	5,260	3,520		
400	7,350	6,140	0,060	4,800	3,150	2,280	3,350	1,720		
500	4,470	5,350	4,270	5,420	3,450	4,110	3,200	5,370	4,17	
630	3,240	4,660	0,950	5,010	5,820	0,650	3,930	4,600		
800	4,180	4,280	2,720	5,220	7,700	2,810	3,650	4,400		
1000	3,760	5,150	3,140	3,250	3,350	3,660	4,540	3,840	4,12	
1250	4,770	4,450	2,340	2,810	4,710	1,660	5,200	2,730		
1600	2,210	1,180	4,910	3,830	4,060	1,530	6,560	4,060		
2000	4,400	1,150	3,190	2,920	4,230	1,780	4,990	5,270	3,95	
2500	4,750	3,310	2,050	2,800	5,810	4,740	4,090	5,200		
3150	4,170	2,130	2,320	2,890	6,580	3,040	3,500	4,390		
4000	5,810	2,330	3,810	3,420	5,640	3,050	5,100	2,640	3,04	

Tabla 4. Resultados C₅₀

Como podemos observar, y utilizando la siguiente fórmula:

$C_{50} = 0,15 C_{50}(500\text{Hz}) + 0,25 C_{50}(1000\text{Hz}) + 0,35 C_{50}(2000\text{Hz}) + 0,25 C_{50}(4000\text{Hz})$ (en dB)

Obtenemos un valor de $C_{50} = 3,8$.

Por lo que podemos deducir que la inteligibilidad de nuestra sala es Buena.

Como hemos dicho anteriormente, en nuestra sala también hemos medido el ruido de fondo para poder calcular nuestra curva NC.

Noise Criteria (NC)

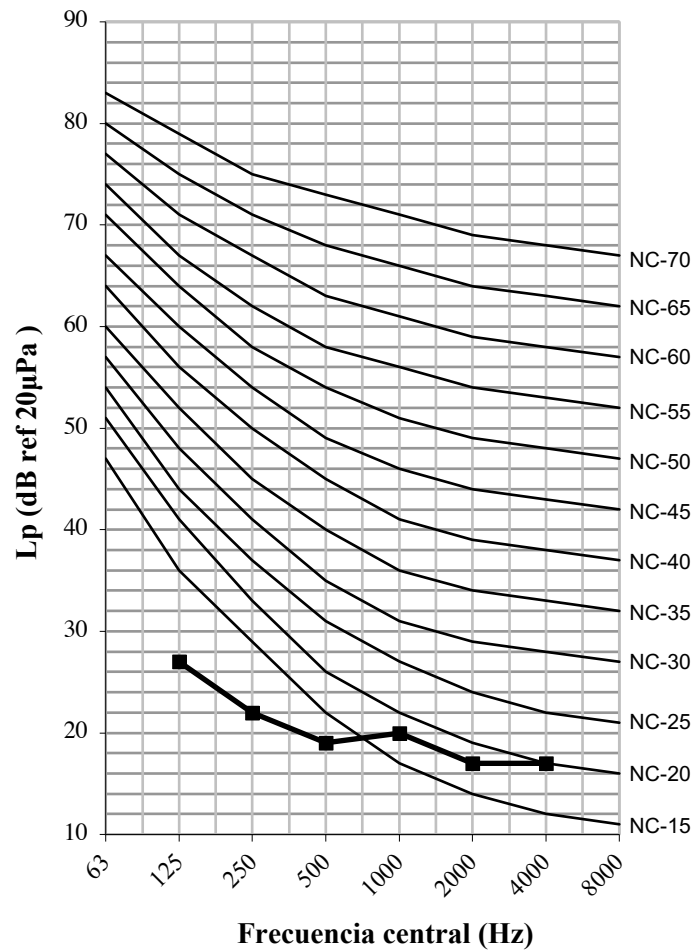


Figura 21. Curva NC.

Como podemos comprobar en nuestra curva, nuestra curva es la NC-20. Como hemos dicho anteriormente, nuestra curva recomendada era la dicha, por lo que la sala cumple con este requisito.

Vamos a ver la calidez de la sala (BR). Como hemos dicho anteriormente, para poder calcularla se refiere a la respuesta relativa de la sala en frecuencias graves respecto a la ofrecida en respuesta media.

$$BR = \frac{RT(125 \text{ Hz}) + RT(250 \text{ Hz})}{RT(500 \text{ Hz}) + RT(1 \text{ KHz})}$$

Sustituyendo nuestros datos en la fórmula anterior, el resultado es el siguiente:

$$BR = \frac{1,20+0,92}{0,94+0,91} = 1,14$$

En teatros se admite también cierta calidez, con un valor de 1,1 recomendado. Como podemos comprobar, estamos dentro de ese rango, así que el teatro obtiene una buena calidez.

Por último, vamos a definir el brillo de la sala, siendo el mismo planteamiento que la calidez pero representa la relación entre las altas frecuencias y las medias.

$$BR = \frac{RT(4k\text{ Hz}) + RT(2k\text{ Hz})}{RT(500\text{ Hz}) + RT(1KHz)} = \frac{0,89 + 0,97}{0,94 + 0,91} = 1,01$$

Como podemos comprobar, el teatro es rico en armónicos, además, obtenemos un valor mayor que 1, difícil de conseguir por la absorción del aire y los materiales que afectan más a altas frecuencias.

3.6 – Comparación de tiempo de reverberación.

Como hemos explicado en los apartados anteriores, vamos a comparar los resultados, tanto los realizados con el sonómetro, como los realizados con la respuesta al impulso.

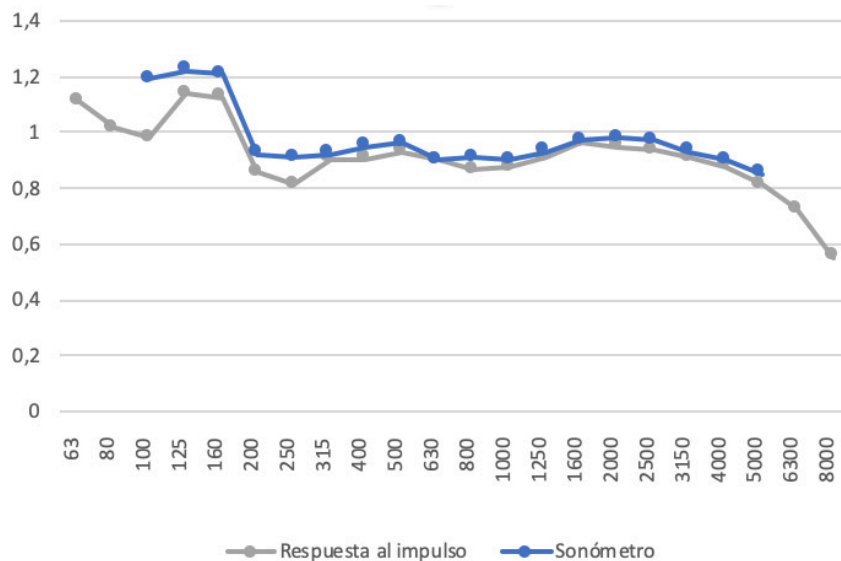


Figura 22. Comparativa

Como podemos comprobar, los dos resultados son muy parejos, por lo que el RT estimado con la respuesta al impulso de la sala ha sido correcto.

4 – Simulación en Catt- Acoustic

La simulación se realiza mediante un software de diseño del acondicionamiento acústico llamado Catt-Acoustic, el cual resulta ser una herramienta útil para el estudio del comportamiento acústico de un recinto. Estudia la geometría de la sala y la distribución de los materiales absorbentes en la sala, así como las posiciones de la fuente sonora y el receptor, todo ello teniendo en cuenta cual es la zona de audiencia. La geometría de la

Estudio del acondicionamiento acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía

sala bajo estudio se representa de forma tridimensional mediante mismo programa. De esta forma, se puede representar la propagación del sonido en todas las direcciones mediante trazado de rayos, desde la posición de la fuente que indiquemos y mediante reflexiones, hasta que la energía va reduciéndose.

Los resultados obtenidos mediante esta simulación son los parámetros necesarios para poder determinar las condiciones acústicas de una sala.

A continuación, mostraremos el proceso de diseño del modelo acústico del Teatro del Museu Faller de Gandía.

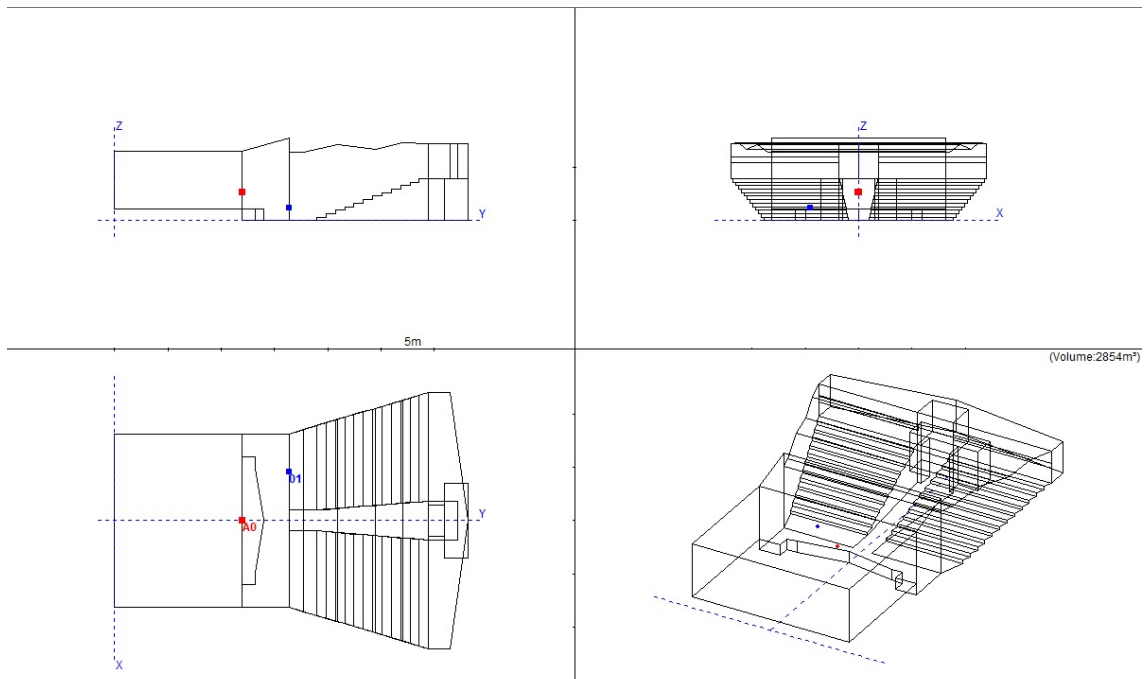


Figura 23. Modelo Catt-Acoustic.

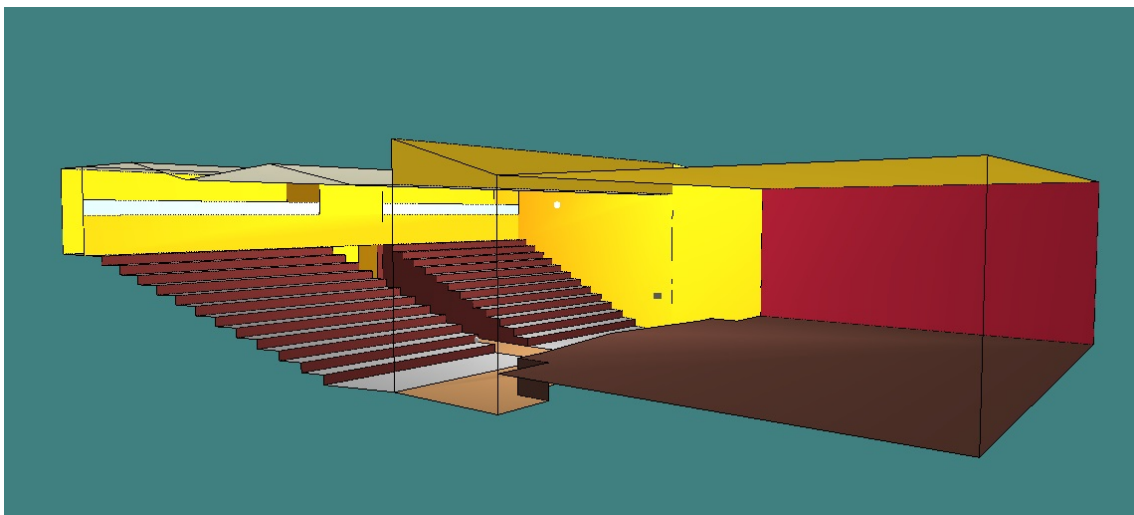


Figura 24. Modelo Catt-Acoustic.

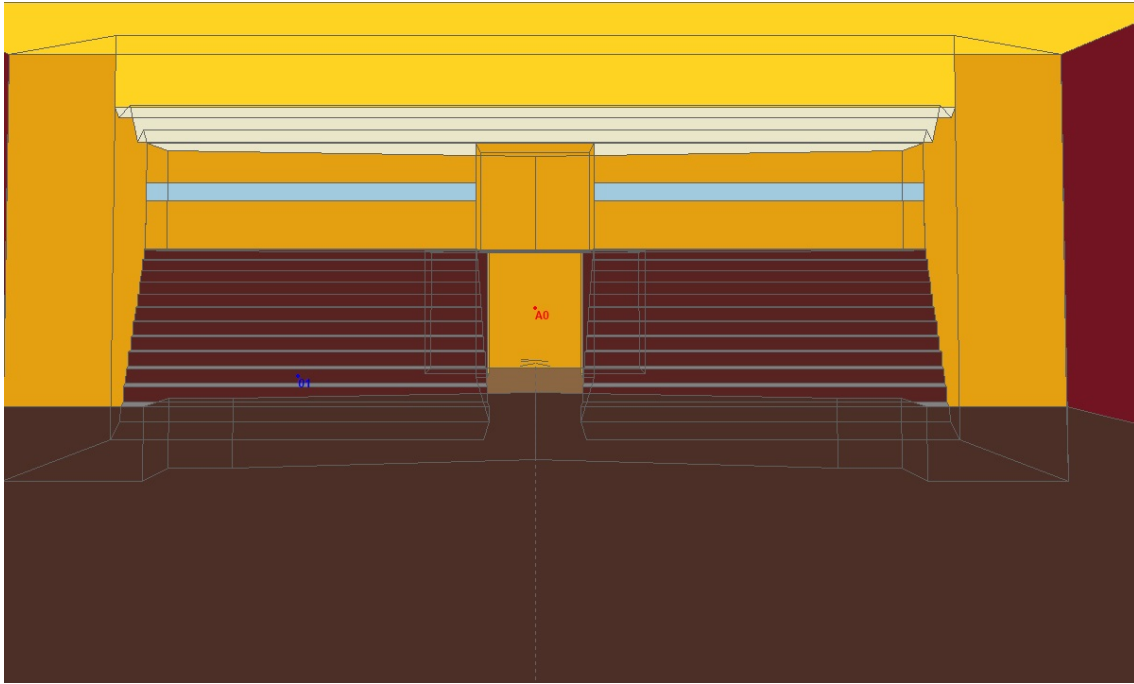


Figura 25. Modelo Catt-Acoustic.

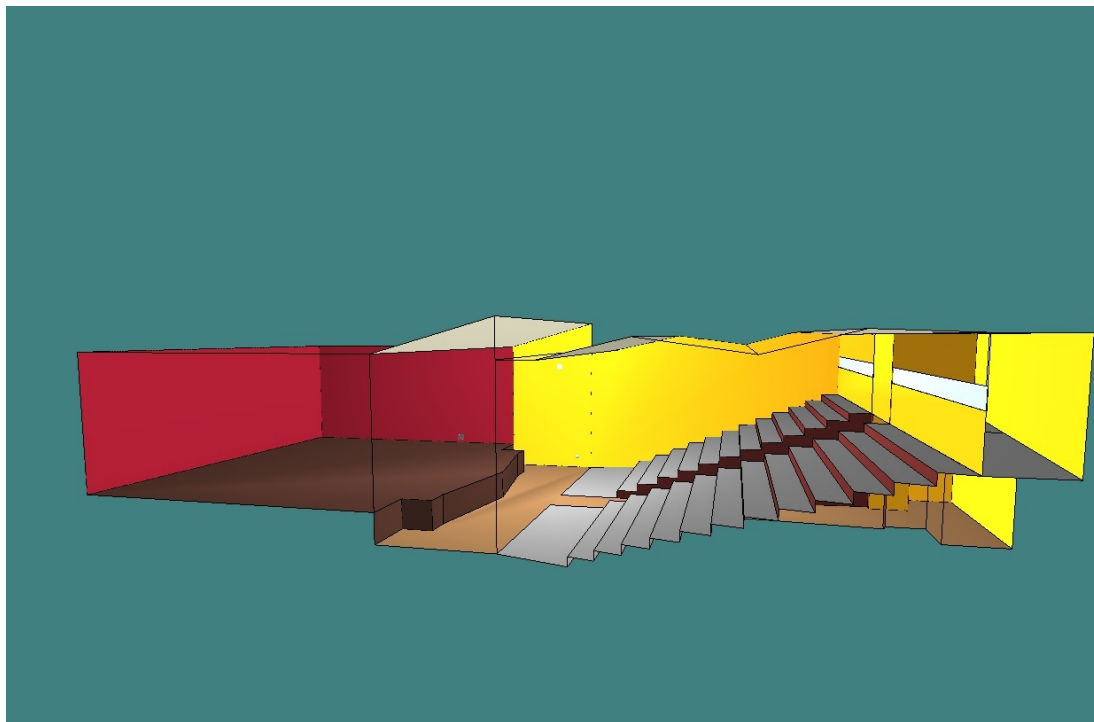


Figura 26. Modelo Catt-Acoustic.

A parte de la geometría de la sala, es importante tener en cuenta los materiales que recubren el interior, ya que determinará también el comportamiento acústico. Por lo tanto, se deben asignar en el programa Catt-Acoustic los valores de los coeficientes de absorción acústica de cada material, para la banda de frecuencias desde 125 Hz a 4 kHz.

Los valores de absorción acústica de cada material están acordes a sus propiedades y comportamiento frente al sonido, por eso, cada material es diferente y tiene unos valores

en concreto. Además, los materiales no han sido medidos directamente, sino que han sido escogidos por sus coeficientes de absorción mostrado en las fichas técnicas comerciales, y que se han elegido para obtener unos valores de tiempo de reverberación similares a los medidos en la sala del teatro.

Los materiales que hemos elegido son los siguientes:

- Tarima de madera: Tarima de madera del escenario.
- Butacas: Butacas con una superficie tapizada
- Parquet: Suelo del escenario.
- Yeso: Tanto en paredes como techo.
- Vidrio: Cristal situado en la 1ª planta del teatro.
- Grada: Paredes de las gradas de madera
- Cortinas: cortinas en el escenario

También hemos utilizado materiales muy absorbentes para el techo del escenario del teatro, ya que había mucho hueco hacia arriba y a la hora de simular, una de las soluciones ensayadas era simular ese hueco con un techo muy absorbente.

A continuación, mostraremos los coeficientes de absorción utilizados (en tanto por cien y que es así como se introducen en el programa CATT-Acoustic):

<i>Coefficiente de absorción</i>	<i>125 Hz</i>	<i>250 Hz</i>	<i>500 Hz</i>	<i>1000 Hz</i>	<i>2000 Hz</i>	<i>4000 Hz</i>
<i>Tarima</i>	9	9	8	9	10	7
<i>Audiencia</i>	56	64	70	72	68	62
<i>Parquet</i>	90	80	12	10	10	7
<i>Yeso Paredes</i>	8	6	5	4	4	4
<i>Yeso techo</i>	5	5	5	3	2	2
<i>Vidrio</i>	10	7	5	3	2	2
<i>Grada</i>	90	45	25	15	10	10
<i>Cortinas</i>	14	35	55	72	70	65
<i>Absorbente</i>	20	42	83	78	82	96

Para poder realizar la simulación al completo de los parámetros acústicos, se definen las áreas de audiencia que se distribuyen en las gradas y en la 1ª planta del teatro.

En el anexo 1 mostraremos el diseño del teatro realizado con el Catt-acoustic en el fichero master.geo. Una vez se obtiene un modelo de simulación de la sala en 3D ya libre de errores, elegiremos las posiciones del emisor y el receptor, para comprobar el ecograma y que nos dé un resultado similar a nuestro cálculo. Y es así como empezamos la simulación.

4.1 – Resultados obtenidos.

Tras la simulación obtenemos, valores de los tiempos de reverberación, niveles de presión sonora y claridad. Compararemos con nuestras medidas experimentales para validar el modelo.

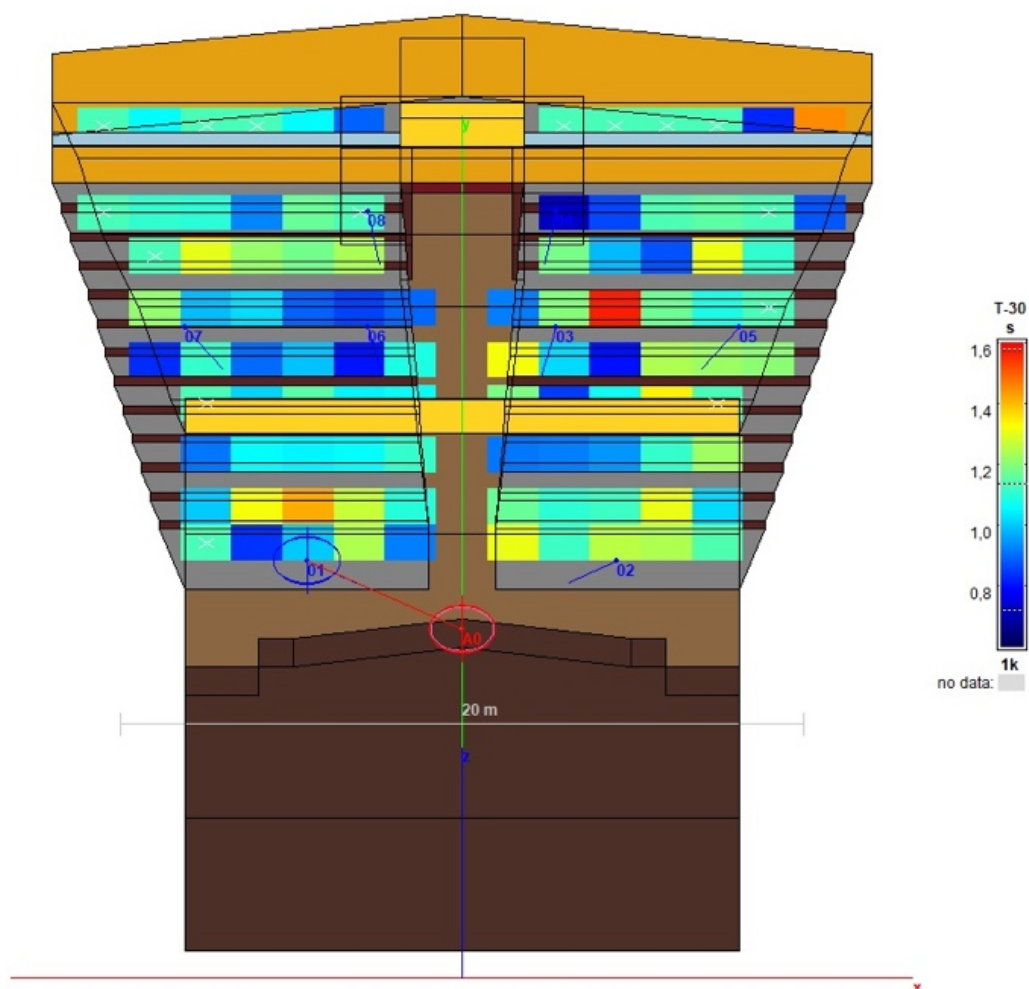


Figura 27. Tiempo de reverberación simulado a 1k Hz.

Como podemos ver en este mapa global del teatro simulado, tenemos unos valores de entre 0,8 y 1,3, a excepción de un pico que llega hasta 1,6. Comparándolo con los valores obtenidos son un poco mayores, pero adecuados para la sala que tenemos, así que podemos decir que es un teatro para uso multiusos, donde los valores están entre los valores recomendados.

Para comparar el global anterior, que estaba a 1 kHz, mostraremos también a diferentes frecuencias como 2 kHz y a 250 Hz.

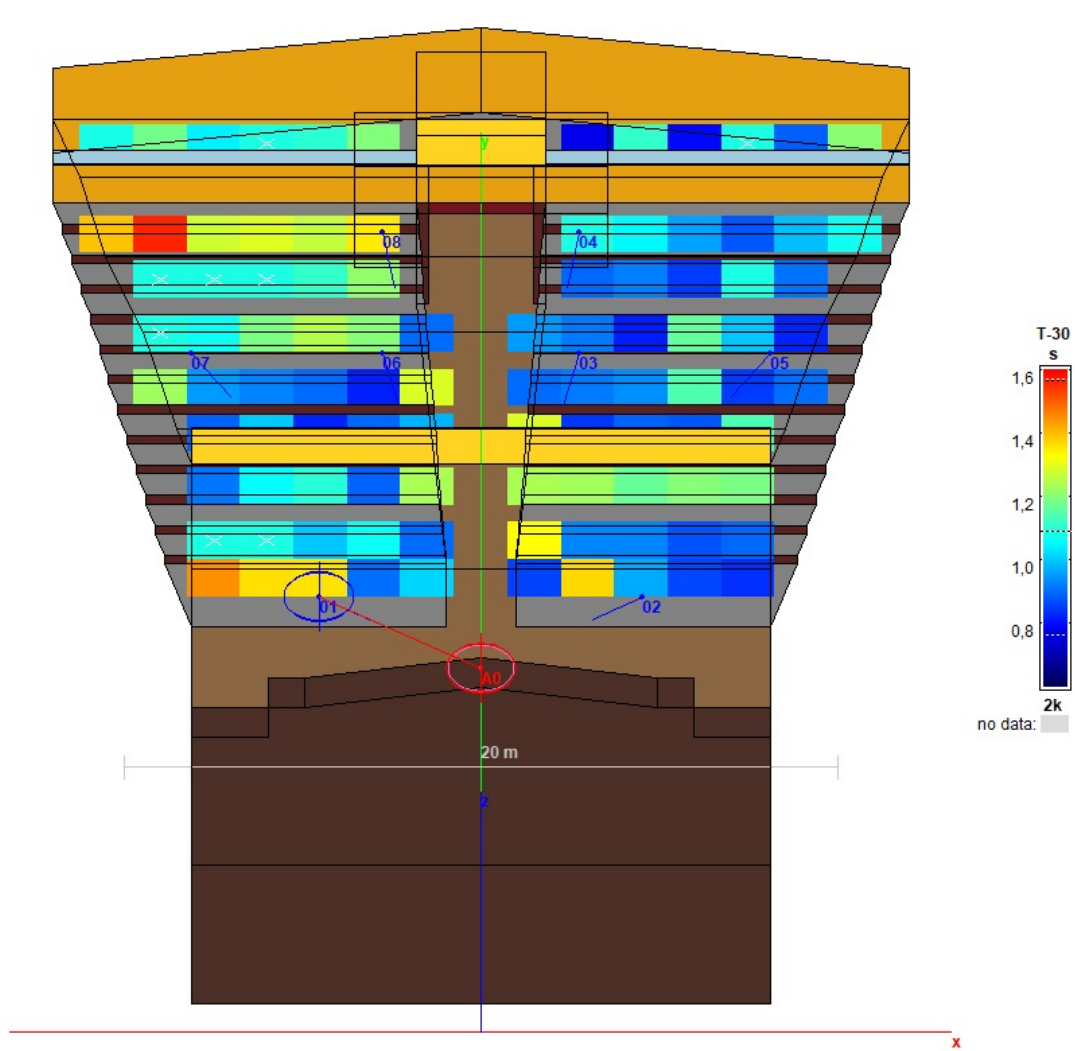


Figura 28. Tiempo de reverberación simulado a 2k Hz

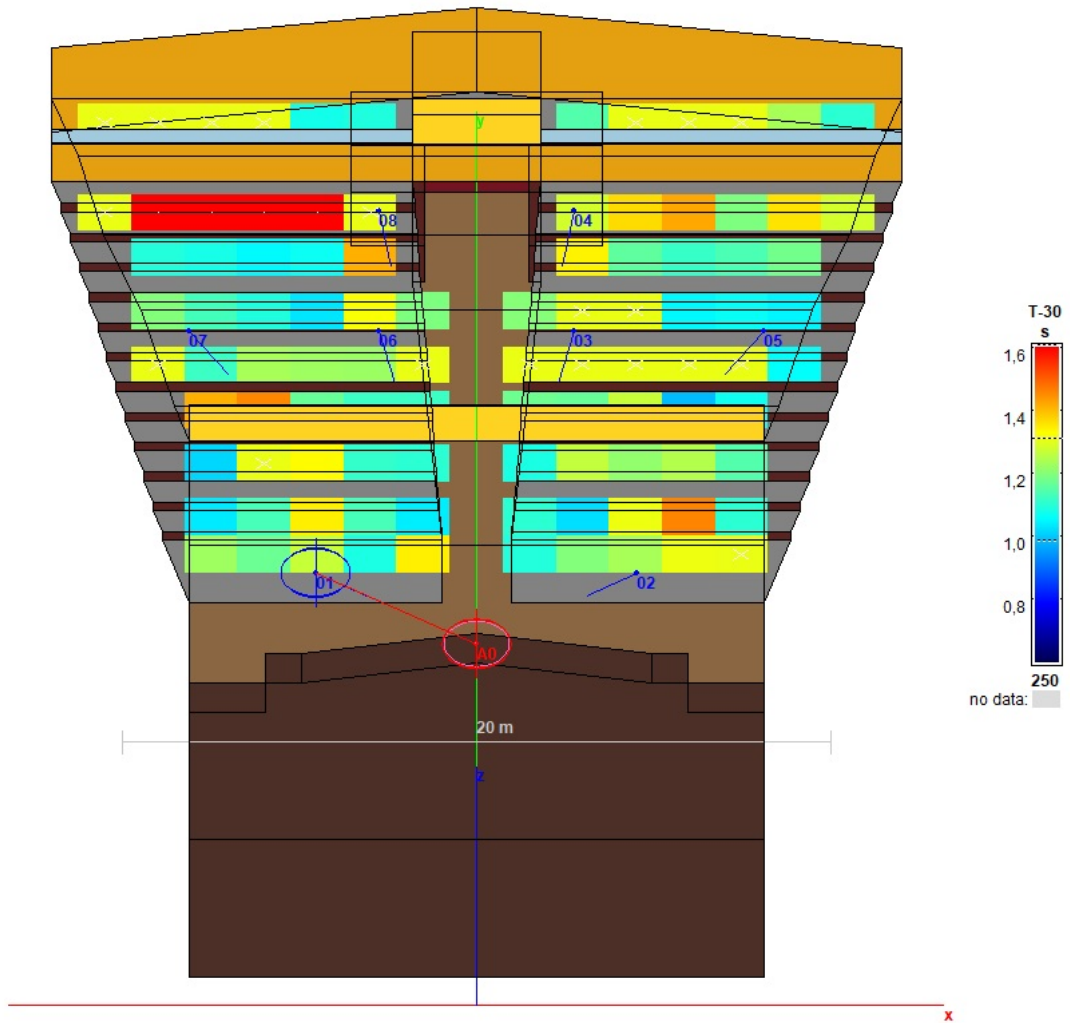


Figura 29. Tiempo de reverberación simulado a 250 Hz

Mostramos una gráfica en la figura 30 con los resultados de T-30 de la sala.

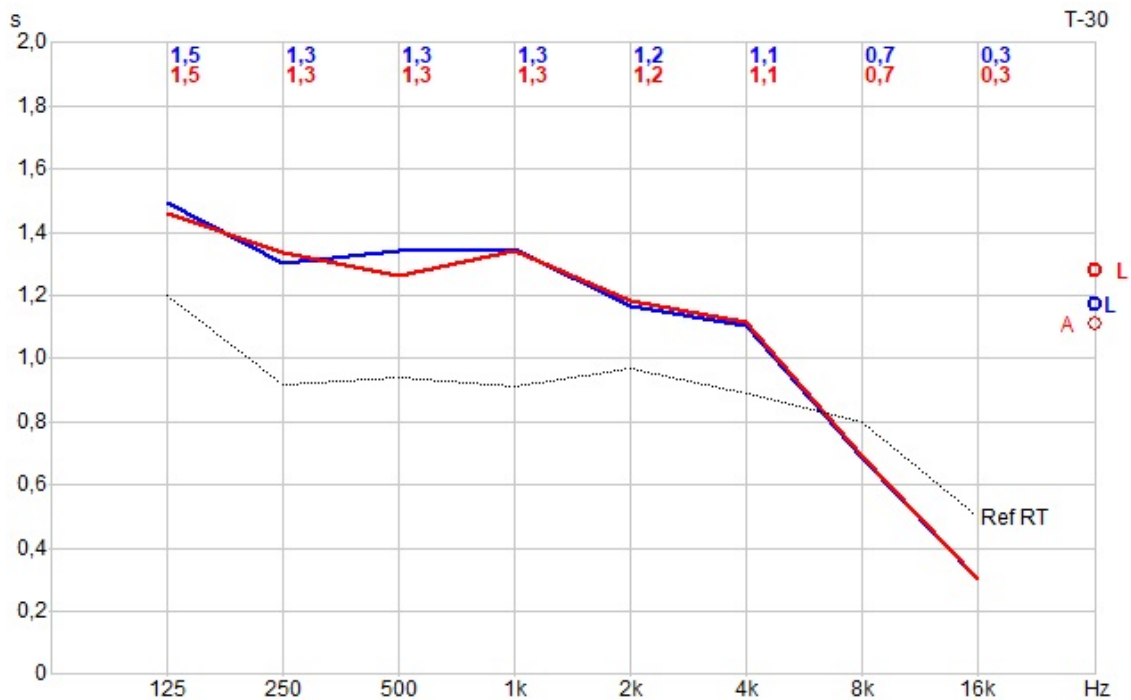


Figura 30. Tiempo de reverberación simulado general

Como referencia RT hemos escogido los resultados obtenidos de las mediciones in-situ realizadas en el teatro. Podemos observar que los resultados simulados están un poco por encima de los realizados en la sala. Esto puede ser consecuencia de las absorciones escogidas. Al final, sí que obtenemos un resultado parejo.

También vemos que a bajas frecuencias el tiempo de reverberación suben un poco, igual que los obtenidos en el apartado 3.5.

Otro parámetro que vamos a estudiar es la claridad la voz y la inteligibilidad de la sala, ya que es muy importante en nuestra sala la claridad de la voz.

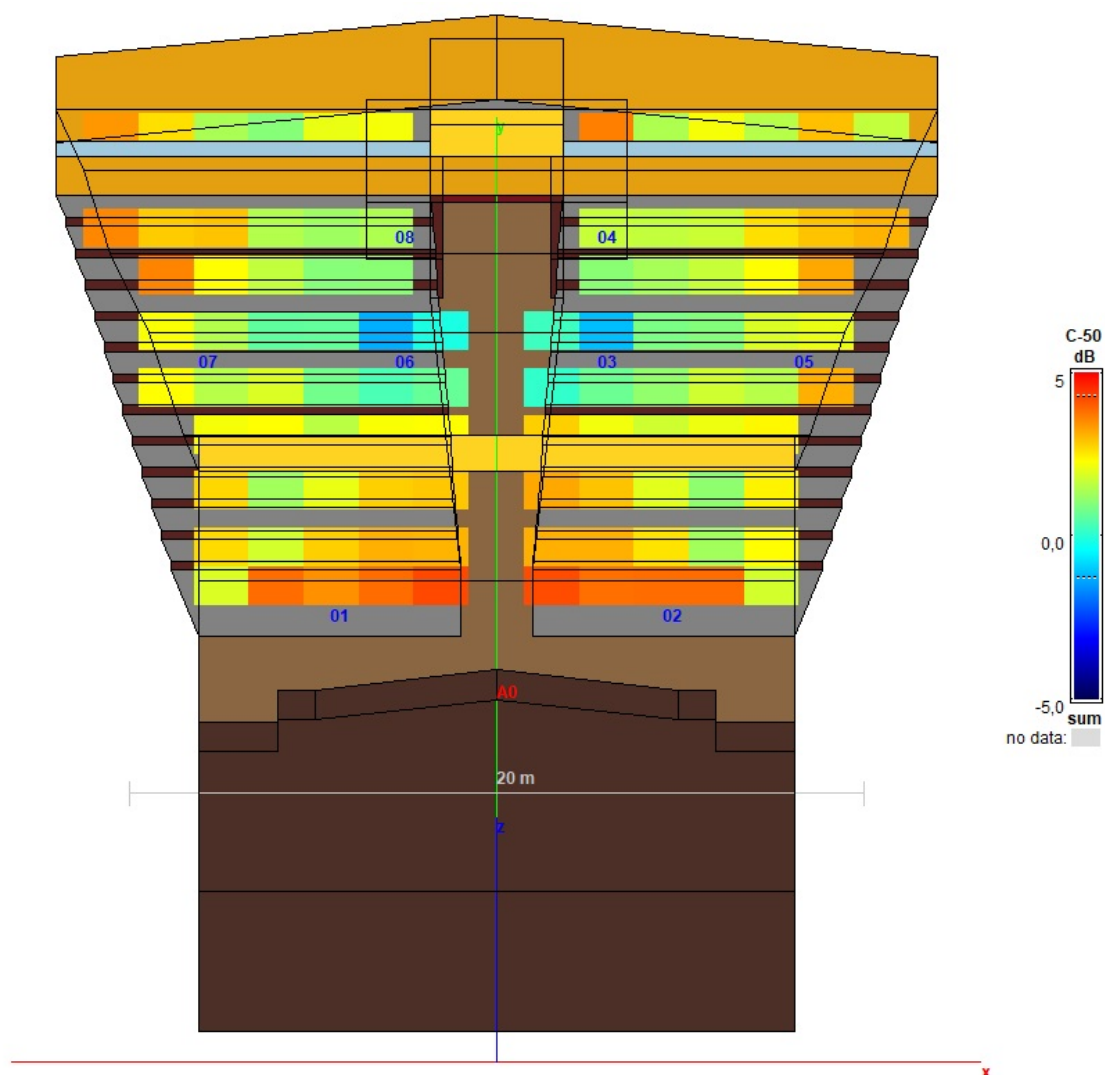


Figura 31. Claridad C_{50} simulado.

Como vemos, la claridad es buena según la tabla que hemos mostrado en el apartado 2.2.11, aunque cabe destacar que, obviamente, en las primeas filas es donde mejor se escucha.

5 – Conclusiones

El presente proyecto ha sido realizado para realizar un estudio acústico de la sala del Museu Faller de Gandía.

En dicho proyecto se han realizado 2 partes. La primera fue las medidas realizadas in-situ en el propio recinto, y la siguiente simulada a través del programa catt-acoustic. Anteriormente, también hicimos un estudio previo para saber como actuaría la sala, para ello estudiamos los tiempos de reverberación, entre otras cosas, vimos que se trataba de una sala multiusos donde el tiempo debería estar entre 1,2 y 1,6 segundos.

Se ha confirmado que las medidas experimentales con el sonómetro coinciden con las medidas llevadas a cabo con la respuesta al impulso. Además las medidas con la respuesta

al impulso no dependen de la señal usada ya sea una señal MLS o una señal sine sweep ya que los resultados son similares.

Al realizar las medidas, nos dimos cuenta de que era una sala donde principalmente esta pensada para el habla, ya que el tiempo que obteníamos era por debajo de un segundo.

Cuando realizamos la simulación a través de CATT-Acoustic, tuvimos varios problemas para poder adaptar nuestra sala a los resultados que obtuvimos, por lo que nuestro principal fallo puede que haya sido la elección de los coeficientes de absorción.

A lo largo de este estudio he comprobado que el software CATT-Acoustic es una potente herramienta para realizar diseños de recintos acústicos y me ha servido de ayuda a la hora de probar diferentes materiales.

Al fin y al cabo, los resultados estaban un poco por encima de lo que buscábamos, pero no diferían mucho. Además, gracias a la inteligibilidad del habla, nos dimos cuenta de que era una sala para uso de conferencias.

En resumen, todo este trabajo me ha servido para profundizar en el uso tanto del sonómetro como con el programa CATT-Acoustic, además del programa ARTA. Además, se ha aprendido a estudiar varios parámetros acústicos que caracterizan la sala polivalente y a interpretar sus resultados.

6 – Bibliografía

Manual de acústica ambiental y arquitectónica. Rodrigo Avilés López y Rocío Perera Martín. Paraninfo. 2017

Acondicionamiento acústico. Manuel Recuero López. Paraninfo.

Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antonio Carrión Isbert. UPC.

Acústica. Leo L. Beranek. Editorial Hispano

Ingeniería Acústica. Manuel Recuero López. Paraninfo.

Manual de usuario del programa Catt-acoustic.

Manual de usuario Fast Track Pro

Manual de usuario de ARTA

Prácticas y apuntes realizados en la asignatura Acústica Arquitectónica de la EPSG Curso 2018-19. Universidad Politécnica de Valencia.

Norma UNE EN ISO 3382 – 1 Medición de parámetros acústicos. Parte 1: Sala de espectáculos.

Agradecimientos

A mis padres, a mi hermana y mi pareja por apoyarme todo este tiempo.

A mi tutor D. Juan Antonio Martínez Mora, por adentrarme en este campo y por hacerme que me interese tanto por la acústica.

Y a mis compañeros del Museu Faller de Gandia.