

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

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



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio del aislamiento y
 acondicionamiento de un local de
 ensayos de la banda de Pego.
 Propuestas de mejora.”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Carmen Bondia Tamarit

Tutor/a:

Juan Antonio Martínez Mora

GANDIA, 2017

Resumen

Cualquier sala que su uso esté destinado a música se debe caracterizar llevando a cabo medidas acústicas para comprobar que estas son las adecuadas para tal fin. En la sala de ensayo de la Agrupación musical de Pego, se han caracterizado sus propiedades de aislamiento acústico según las normas UNE. A continuación se han caracterizado sus propiedades de acondicionamiento acústico. Después del análisis de los resultados obtenidos, se ha propuesto una serie de mejoras en el acondicionamiento acústico inicial. Por el contrario la sala presenta un buen aislamiento acústico en su estado inicial por lo que no se van a plantear actuaciones para su mejora.

Palabras clave: Acondicionamiento acústico, Aislamiento acústico, Normas UNE, Tiempo de reverberación

Abstract

Any room that its use is intended for music, it must have adequate acoustic measurements for its correct use. In the rehearsal room of the Musical Association in Pego has characterized its acoustic insulation properties according to UNE norms. Their acoustic conditioning properties have been characterized below. After the analysis of the results obtained, a series of improvements in the initial acoustic conditioning has been proposed. The room has a good acoustic isolation. After the analysis of the results obtained, a series of improvements in the initial acoustic conditioning have been proposed. On the contrary, the room presents a good acoustic insulation in its initial state so it is not going to propose actions for its improvement.

Keywords: Acoustic conditioning, Acoustic insulation, UNE norms, Reverberation time.

Índice

Resumen	2
Abstract	2
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Objetivo del proyecto.....	5
1.2 Situación y entorno	6
1.3 Descripción general.....	8
1.3.1 Características generales.....	8
1.3.2 Características particulares de los cerramientos del edificio.....	10
1.3.3 Fotografías del recinto de ensayo	10
2. CONCEPTOS ACÚSTICOS	12
2.1 Conceptos de Acústica y Normas UNE	13
3. MEDIDAS <i>IN SITU</i>	16
3.1 Instrumentos utilizados.....	17
3.2 Medidas de aislamiento acústico.....	19
3.3 Medidas de los tiempos de reverberación.....	21
4. ANÁLISIS DE MEDICIONES Y	24
PARÁMETROS DE CALIDAD	24
4.1 Estudio del aislamiento	25
4.2 Parámetros de calidad.....	29
4.2.1 Tiempo de reverberación TR30.....	29
4.2.2 Brillo y calidez.....	31
5. SIMULACIÓN ACÚSTICA	32
DEL ESTADO ACTUAL	32
5.1 Simulación acústica mediante el software Catt-Acoustics.....	33
5.2 Interpretación de los resultados obtenidos	34
6. PROPUESTAS DE MEJORA	36
6.2 Materiales propuestos para el acondicionamiento	37
6.3 Simulación mediante software después del acondicionamiento	40
7. ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO	41
8. CONCLUSIONES	43
9. AGRADECIMIENTOS	45
10. BIBLIOGRAFÍA	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo del proyecto

El objeto del presente proyecto consiste en introducir mejoras en el acondicionamiento acústico y en aislamiento acústico de la sala de ensayo de la Agrupación Musical de Pego.

El edificio lo adquirió la Agrupación en el año 1987 siendo un edificio de una sola altura y con pocas viviendas alrededor. La acústica del recinto no era la adecuada para los fines inherentes a los usos básicos de la Agrupación Musical.

El objetivo secundario del TFG es aprender a utilizar el equipamiento necesario para realizar las medidas acústicas en una situación real así como el uso del programa de simulación CAT-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.

Con este estudio se conseguirán un conjunto de valores y parámetros, que se interpretarán para definir el comportamiento acústico de la sala.

Finalmente se elaborará una propuesta de mejora de las instalaciones incluyendo en la misma una estimación del presupuesto económico-material lo más ajustado posible para que la Agrupación pueda llevar a cabo las actuaciones necesarias para mejorar el acondicionamiento y en el aislamiento acústico de la sala. Todo esto nos permite aumentar la calidad del recinto y repercute tanto en los ensayos como para las futuras actuaciones de la banda de música.

1.2 Situación y entorno

La población de Pego está situada al sur de la Comunidad Valenciana en la provincia de Alicante en la comarca de la Marina Alta. Cuenta con 10158 habitantes (fuente [INE 2016](#))

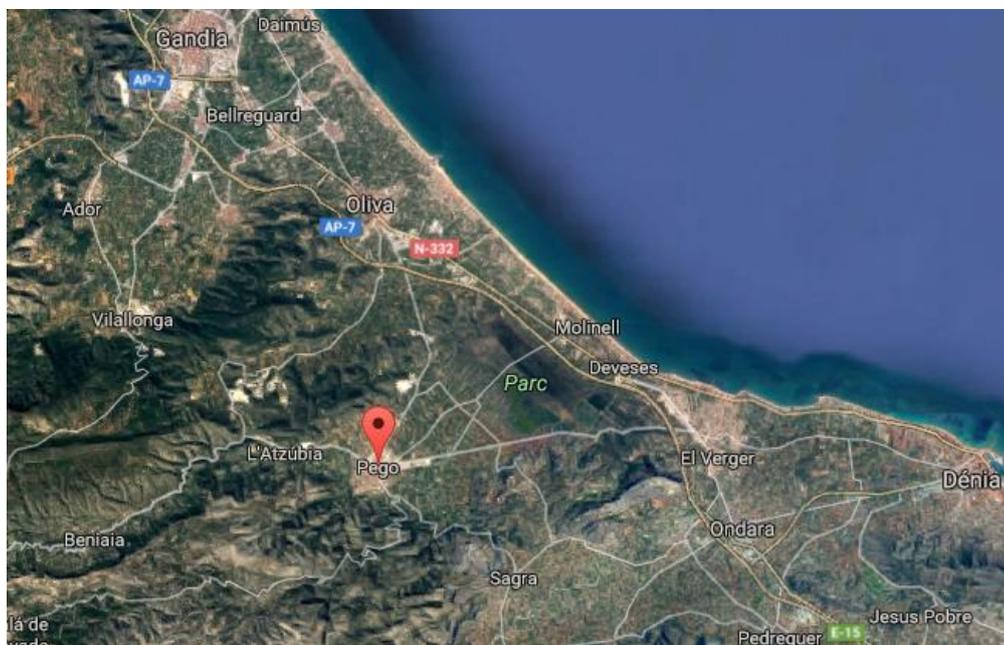


Figura 1. Situación General de la población de Pego. Fuente Google maps

El edificio se encuentra ubicado en la calle Ràfol d'Almúnia nº 6, en núcleo urbano, teniendo en la parte posterior, compartiendo medianera un edificio de 2 plantas y enfrente viviendas residenciales; a la parte izquierda un local de oficinas de una compañía telefónica y a su derecha un parking descubierto.

Al estar en el núcleo urbano resulta muy accesible para las personas del pueblo que van a estudiar música al edificio.



Figura 2. Vista que muestra la ubicación del edificio de música. Google maps



Figura 3. Fachada principal



Figura 4. Fachada lateral

Según los datos obtenidos de la ficha catastral, el local fue construido en el año 1980 y el mismo está destinado a uso de espectáculos teniendo una superficie total 798 m² correspondientes a la superficie total construida. De los cuales 230 m² pertenecen a la sala de ensayos de la Agrupación y el resto son aulas y almacén de la misma Agrupación.

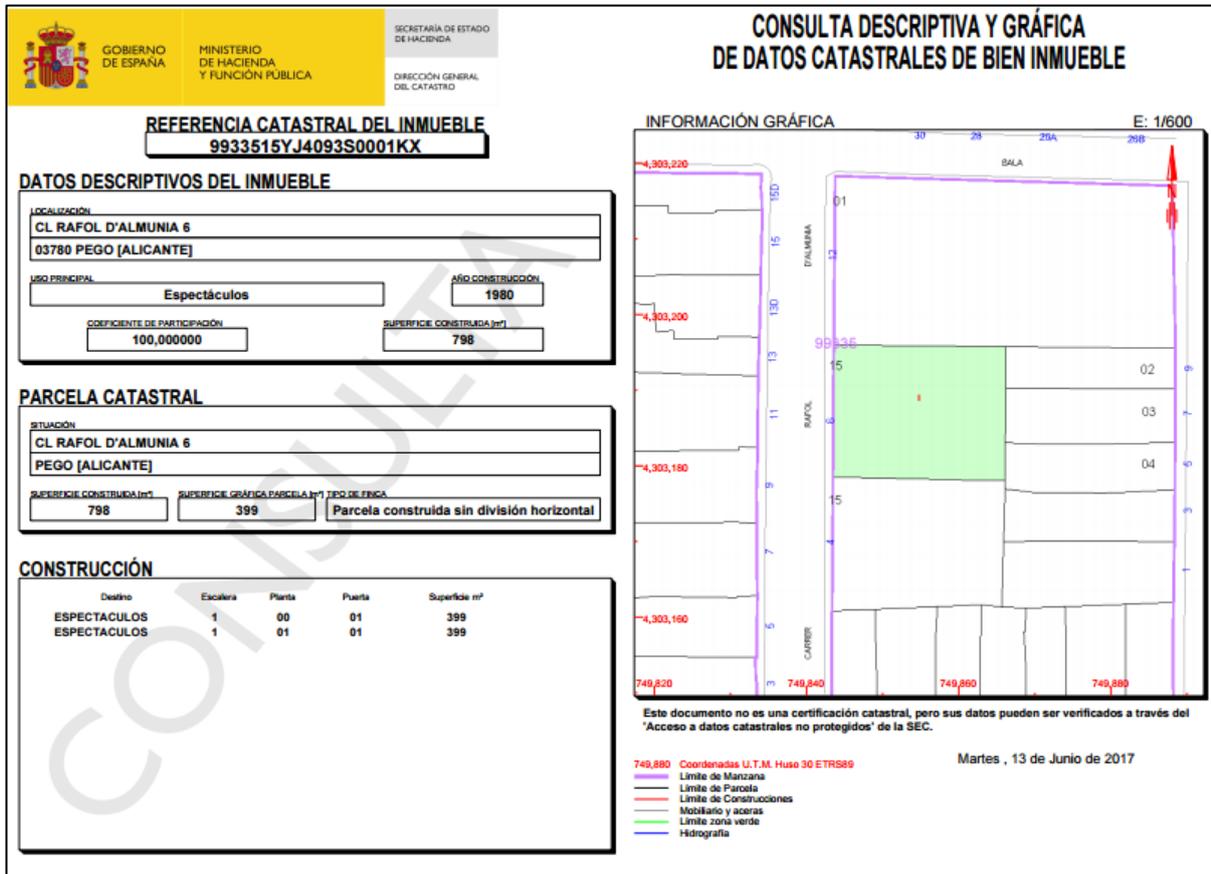


Figura 5. Ficha catastro del edificio de la Agrupación Musical

1.3 Descripción general

1.3.1 Características generales

El edificio está formado por cuatro plantas, planta baja, primera planta, segunda planta y tercera planta. En la planta baja es donde se imparten las clases de solfeo y las clases de instrumento musical durante el curso académico; en la planta primera la banda de música realiza sus ensayos; en la segunda planta sirve de almacén y por último la última planta se utiliza como almacén y terraza.

El local tiene dos puertas de acceso, la puerta principal está situada en la calle Ràfol d'Almúnia y solo se utiliza en caso de concierto en la sala principal y una segunda puerta que es la que se utiliza normalmente para acceder al recinto, y está ubicada en el parking.

En la planta baja, al entrar al edificio por la puerta principal, nos encontramos con un salón grande donde a mano derecha se puede subir a la sala de ensayo de la banda. Al final del salón hay una puerta que da a un recibidor y éste a la puerta secundaria del local con otras escaleras para poder acceder a la sala de ensayos también. En el recibidor hay un pasillo a mano izquierda y otro a mano derecha, con dos aulas cada uno para uso de solfeo y/o instrumento que imparte la escuela de música por las tardes, un baño y dos pequeños almacenes.

Las escaleras secundarias comunican ambas alturas y acaban en la primera planta con un pequeño rellano, mientras que las escaleras principales también acaban en la primera planta abriendo espacio a un pequeño distribuidor que acomoda al frente un almacén pequeño y a la derecha se accede con dos puertas dobles a una sala diáfana donde están todos los instrumentos acomodados y las sillas, es aquí donde la banda ensaya semanalmente durante todo el año. Dentro de esta sala hay dos puertas, con una se accede a las plantas superiores (lo que ocurre en contadas ocasiones a lo largo del año) y otra puerta con una pequeña estancia que accede a un pequeño despacho y al baño de la planta primera.

A continuación en la figura 6 se presenta la distribución de la primera planta.

c/ Ràfol d'Almúnia

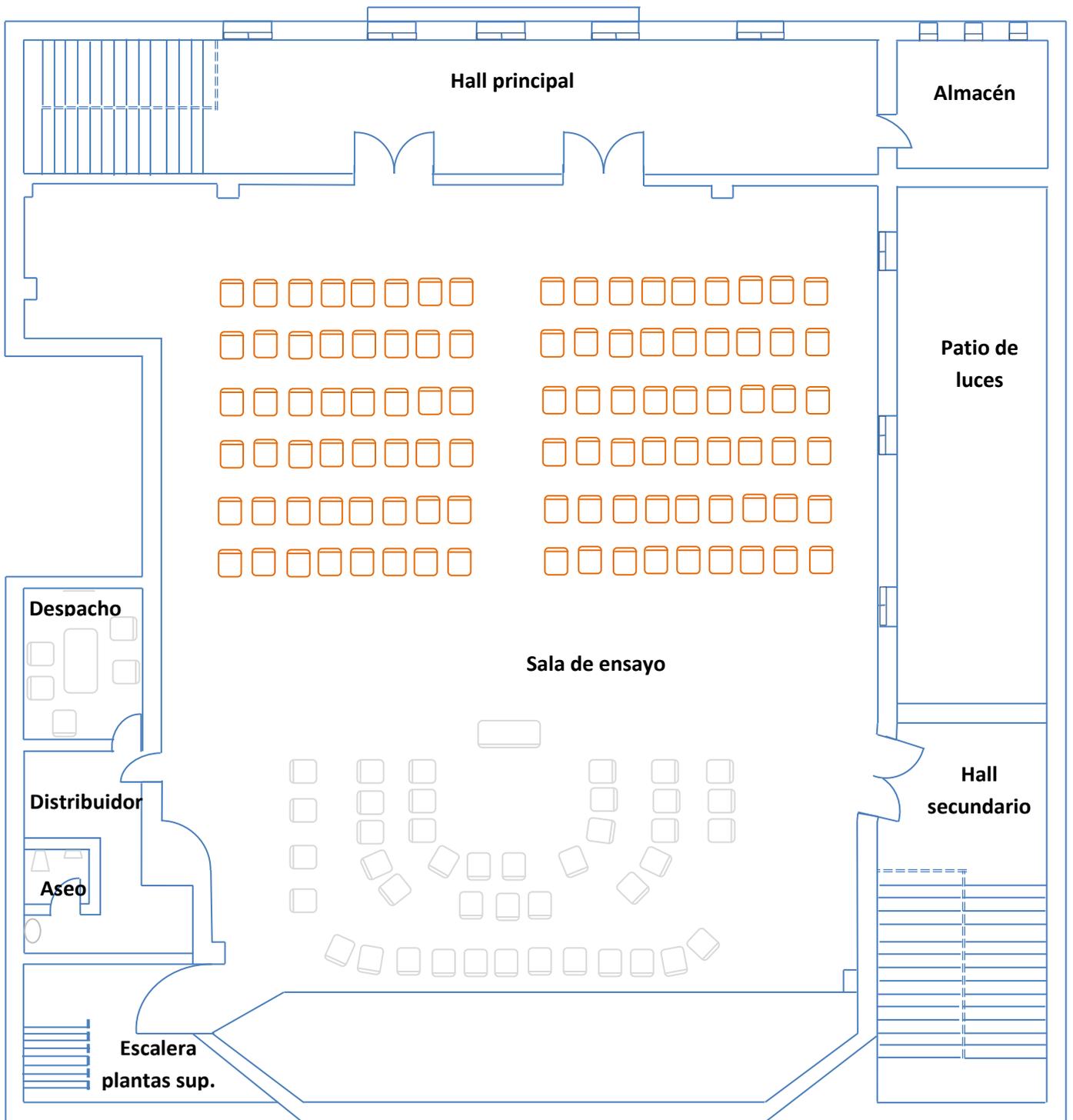


Figura 6. Distribución planta primera

1.3.2 Características particulares de los cerramientos del edificio

A continuación se describe de forma resumida las características de los cerramientos (techos, fachadas, suelo,..) del edificio:

- **Pared exterior fachadas**

Formadas por ladrillo hueco doble de 33x16x7 cm³ rejuntado con mortero de cemento, junta aproximada de 1 cm e interior de enlucido de yeso acabado liso y pintado.

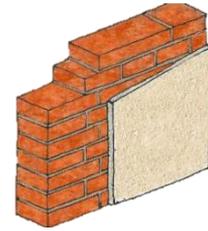


Figura 7. Pared fachada

- **Techo flotante de la sala de ensayo**

El techo con cámara de aire, está realizado con placas de yeso laminado suspendido mediante tirantes.

- **Suelo flotante de la sala de ensayo**

El pavimento está realizado con panelado de madera sobre una lámina de impacto y éste colocado sobre el antiguo pavimento.

1.3.3 Fotografías del recinto de ensayo



Figura 8. Espacio destinado para la banda. Vista frontal



Figura 9. Espacio destinado para la banda. Vista lateral



Figura 10. Zona de audiencia. Espacio destinado al público

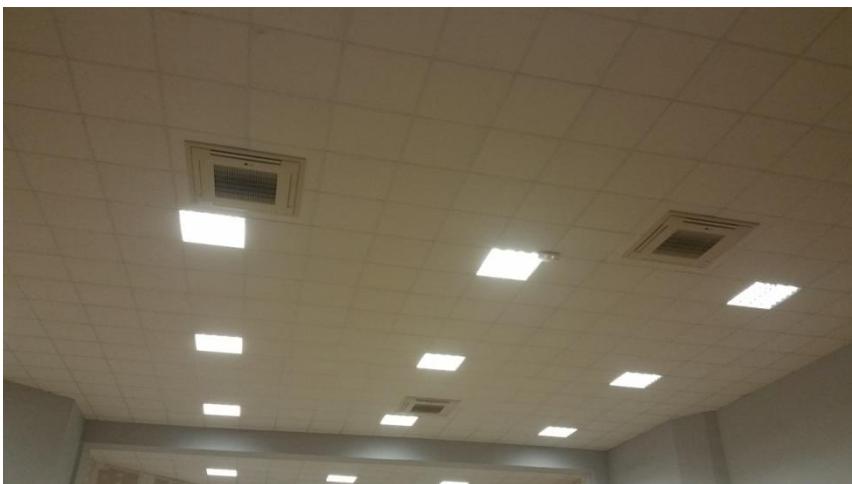


Figura 11. Techo de la sala donde se muestra la iluminación y el aire acondicionado

2. CONCEPTOS ACÚSTICOS

2.1 Conceptos de Acústica y Normas UNE

A continuación, se definirán algunos conceptos y parámetros clave utilizados para la realización del estudio.

Frecuencia (f)

Es el número de pulsaciones que una onda acústica sinusoidal experimenta en un segundo. Su unidad es el hercio (Hz).

Definición del sonido

Un sonido desde el punto de vista perceptivo es una sensación que se genera en el oído a partir de las vibraciones de los objetos. Estas vibraciones se transmiten por el aire u otro medio elástico.

Para la física, el sonido implica un fenómeno vinculado a la difusión de una onda de características elásticas que produce una vibración en un cuerpo, aun cuando estas ondas no se escuchen (por ejemplo los ultrasonidos). Al propagarse, el sonido transporta energía pero no materia. Las vibraciones se generan en el mismo sentido en el que se difunde el sonido, es decir son ondas longitudinales.

El sonido audible para los seres humanos está formado por las variaciones que se producen en la presión del aire, que el oído convierte primero en ondas mecánicas y luego en impulsos eléctricos que viajan por el nervio auditivo al cerebro para que puedan percibirlos y procesarlos.

Definición de ruido

Cuando el sonido es desagradable y molesto, se llama ruido, y puede producir por su intensidad o prolongación temporal, contaminación acústica o sonora. No posee armonía ni cadencia, no es una manifestación artística sino indeseable.

Acondicionamiento acústico

Técnicas, sistemas y tratamientos dirigidos al control y mejora de las condiciones de propagación de las ondas sonoras en el interior de un recinto, con el fin de obtener un ambiente acústico apropiado a la actividad que se desarrolla en él; en definitiva, las actuaciones que permiten mejorar la calidad acústica en el interior del recinto, en nuestro caso destinado a actuaciones musicales.

Aislamiento acústico

Es el conjunto de técnicas, sistemas y tratamientos encaminados a reducir y/o evitar la transmisión de las ondas sonoras (y las vibraciones), por vía aérea o vía estructural, entre un recinto emisor y un recinto receptor. Éste ruido procedente de salas contiguas, puede ser debido a la maquinaria de climatización, al conjunto de instalaciones eléctricas y/o hidráulicas, o bien, puede provenir del exterior del recinto (tráfico rodado, tráfico aéreo, ruido de la

lluvia...). Las soluciones de aislamiento acústico planteadas tienen que garantizar el cumplimiento del Documento Básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación (CTE), en aquellos casos que sea de aplicación.

Absorción acústica

La absorción acústica ($A = \alpha \cdot S$) se mide utilizando el coeficiente de absorción acústica alfa (α) que tiene un valor entre 0 y 1. El cero significa ausencia de absorción (reflexión total), y 1 significa absorción total del sonido incidente. Además, para un mismo material, el coeficiente de absorción acústica varía en función de la frecuencia del sonido incidente. Los materiales de obra típicos poseen valores de absorción bajos, y los materiales porosos valores de absorción elevados que se incrementan con la frecuencia y los hacen muy útiles para el acondicionamiento de una sala muy reverberante haciendo disminuir el tiempo de reverberación y adecuarlo al uso al que está destinado la sala.

Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación en un recinto se define como el tiempo que tarda en decaer la intensidad sonora en un factor de 10^{-6} a partir de un nivel estacionario, es decir, es el tiempo que el nivel de presión sonora tarda en disminuir 60 dB. Puede calcularse mediante la fórmula de Sabine:

$$TR = 0.161 \cdot V/A$$

dónde:

V = Volumen de la sala en m^3

A = área de absorción de la sala (Sabine); $A = S \cdot \bar{\alpha}$, donde:

S = es la superficie de la sala en m^2 .

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorción medio.

UNE-EN ISO 16283-3:2016

Esta norma en todas sus partes describe los procedimientos para las mediciones *in situ* del aislamiento acústico en los edificios. En la parte 3 se especifican los procedimientos para determinar el aislamiento acústico al ruido aéreo de fachadas haciendo uso de las mediciones de la presión acústica.

El método global por altavoz se utiliza cuando no se puede utilizar la fuente real y proporciona la verdadera reducción de una fachada en un lugar determinado con respecto a una posición 2 m delante de la fachada, con el micrófono en el centro de la superficie exterior de la misma a una distancia de 2 m de dicho plano. La altura del micrófono debe ser de 1.5 m por encima del suelo del recinto receptor.

UNE-EN ISO 16283-1:2014

Esta norma en todas sus partes describe los procedimientos para las mediciones *in situ* del aislamiento acústico en los edificios. En la parte 1 se especifican los procedimientos para determinar el aislamiento acústico al ruido aéreo entre dos recintos usando las mediciones de la presión acústica.

La determinación del aislamiento a ruido aéreo requiere escoger el recinto más grande como el recinto emisor y el recinto pequeño como el recinto receptor.

El sonido se debe generar en el recinto emisor haciendo uso de un altavoz situado al menos dos posiciones y la potencia acústica debe ser lo suficientemente alta para que el nivel de presión acústica en el recinto receptor esté por encima del nivel del ruido de fondo. La distancia entre las posiciones debe ser de al menos 1.4 m la una de la otra y de 0.5 m de los límites del recinto.

En el procedimiento por defecto se utiliza un micrófono fijo o un micrófono sujeto manualmente que se desplaza de una posición a otra. Estas mediciones se realizan en una posición alejada de los límites del recinto. El número de posiciones del micrófono ha de ser de cinco por cada posición del altavoz.

UNE-EN ISO 717-1:2013

El objetivo de esta norma es normalizar un método por el cual la dependencia frecuencial del aislamiento a ruido aéreo pueda convertirse en un solo número que caracterice las propiedades acústicas.

Los valores obtenidos experimentalmente se comparan con valores de referencia a las frecuencias de medición.

UNE-EN ISO 3382-1:2010

Esta parte de la norma especifica los métodos de medición del tiempo de reverberación en salas de espectáculos.

La fuente ha de ser lo más omnidireccional posible para poder generar curvas de decaimiento con el rango dinámico mínimo requerido sin contaminación por ruido de fondo. No se debe admitir ninguna sobresaturación en ninguna fase del equipo de medición.

Se deben de utilizar al menos dos posiciones de fuente. Las posiciones de micrófono se deberían colocar en posiciones representativas de las posiciones donde se encuentran habitualmente los oyentes. Es conveniente colocar los micrófonos a una altura de 1.2 m por encima del suelo, lo que corresponde a la altura de los oídos de los oyentes sentados.

3. MEDIDAS *IN SITU*

3.1 Instrumentos utilizados

- **Sonómetro**

El sonómetro utilizado es el modelo 2250 de la casa comercial Brüel&Kjaer. Se trata de un sonómetro de clase 1, lo cual nos indica que la medición tendrá una precisión 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 12. Sonómetro utilizado en las mediciones 2250 Bruel Kjaer

- **Micrófono de condensador**

El micrófono utilizado para las mediciones con el sonómetro es un micrófono de campo libre pre polarizado modelo 4189 de $\frac{1}{2}$ 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. Omnidireccional y de incidencia aleatoria.



Figura 13. Micrófono

- **Calibrador**

El calibrador es aparato que genera un sonido estable a una determinada frecuencia y asegura que los valores de medición del sonómetro sean exactos y cumplan con las leyes internacionales. El calibrador sonoro utilizado es de Brüel& Kjaer, modelo 4231 con nº de serie: 2343089



Figura 14. Calibrador modelo 4231

- **Fuente sonora**

La fuente sonora utilizada para las medidas de aislamiento es el modelo “*Sound Source Type 4224*” de la marca Brüel&Kjaer y número de serie 2736640.

Es una fuente sonora capaz de producir altos niveles de ruido. Es utilizada para mediciones acústicas *in situ* tales como aislamiento acústico y la determinación del tiempo de reverberación en bandas de octavas. Es capaz de emitir una potencia sonora de hasta 118 dB. En su modo de banda ancha, la fuente emite un espectro de sonido conocido como ruido rosa en el ancho de banda de 100 Hz a 4 kHz.



Figura 15. Fuente sonora utilizada 2240

- **Anemómetro TESTO 410-2**

Dispositivo de bolsillo para medir la velocidad del viento, la temperatura y la humedad relativa. Dispone de una paleta de 40 mm integrada, calcula el valor medio temporal y el factor de la sensación térmica.



Figura 16. Anemómetro TESTO 410-2

- **Portátil con el software “CATT-ACOUSTICS”**

Se trata de un portátil con la instalación del software CattAcoustics V8.0; 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.

- **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, para poder así trabajar con ellos.

3.2 Medidas de aislamiento acústico

El objetivo de la medición del aislamiento “in situ” es conocer el aislamiento de algunas de los cerramientos que forman el edificio, para posteriormente comprobar si cumplen con las exigencias fijadas por el CTE.

Antes de realizar la medición, sobre el plano se marcaron los puntos en los cuales iba a realizar las mediciones:

- En la parte delantera de la fachada (C/ Ràfol d’Almunia)
- Entre la planta baja y el primer piso

Los aparatos utilizados para realizar la medición fueron:

La fuente sonora modelo “Sound Source Type 4224”, el sonómetro integrador, el micrófono de incidencia aleatoria del tipo 4189 (descritos anteriormente) y un alargador de cable para poder conectar la fuente sonora a la corriente eléctrica.

Las mediciones se llevan a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN ISO 16283-3:2016. “*Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción*”, en concreto utilizando el método global con altavoz que se describe en el apartado 3 de dicha norma. Y la norma 16283-1:2014. “*Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción*”, utilizando el procedimiento por defecto que recoge esta norma.

A continuación se detallan dichas mediciones:

- **En la parte delantera de la fachada principal**

Antes de realizar la medición, sobre el plano se marcan los puntos en los cuales se realizan las mediciones. Según la UNE-EN ISO 16283-3:2016, la fuente debe estar al menos a una distancia

de 7 m de la fachada y centrada; entonces se sitúan 5 puntos de micrófono en el interior de la sala de ensayo a una distancia de 2,5 m de la pared (L_{2i}) y un punto situado a 2 m de distancia de la fachada y a 1.5 m del suelo del recinto receptor, en la parte exterior (L_1).

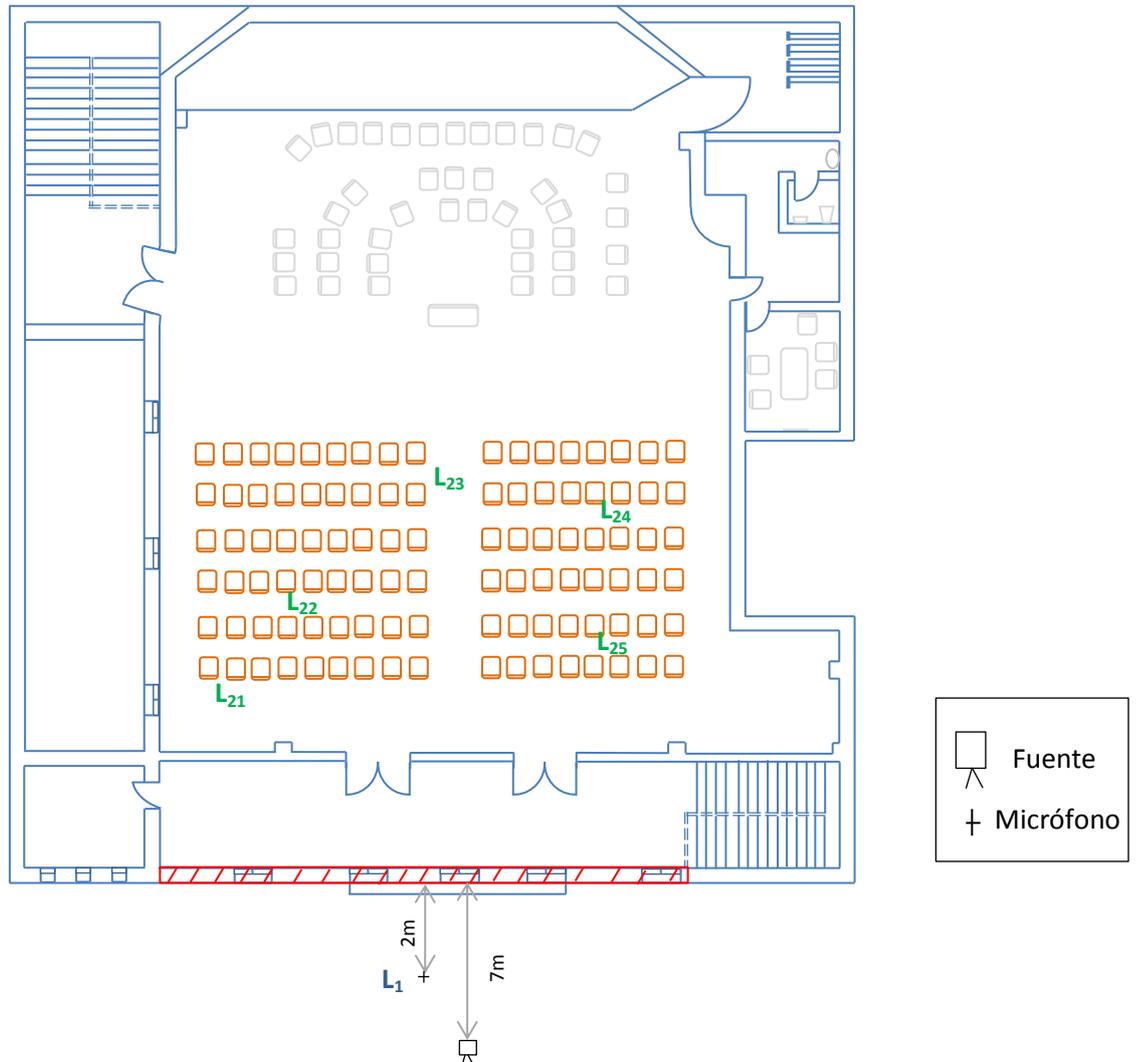


Figura 17. Plano de mediciones L_1 y L_2

Una vez situada la fuente y realizada una primera medición de prueba, con la fuente en marcha se mide en los puntos, que se muestran en la figura 17, para determinar los valores de los niveles sonoros en los puntos L_{2i} .

Después se midió el punto situado en la calle, también con la fuente en marcha, que se muestran en la figura 17, con el fin de determinar el valor del nivel sonoro L_1 en el punto exterior.

Finalizadas las mediciones de aislamiento acústico, se vuelcan los datos en el ordenador utilizando el software BK 5503. Posteriormente se procesan los datos obtenidos en el

ordenador, para calcular el aislamiento determinando la diferencia de nivel D_{2m} , de la fachada en planta primera, los cuales se detallaran más adelante.

- **Entre la planta baja y el primer piso**

En este caso lo que se estudia es el forjado que hay entre la planta primera y la planta baja, estando situados en la sala de ensayo de la banda en el piso de arriba y en la sala grande de la planta baja. Según la norma UNE-EN ISO 16283-1:2014 la fuente se coloca en la sala más grande, en este caso la sala de arriba, situando dos posiciones de fuente a una distancia mínima de 1.4 m entre ellas y a 1 m del suelo y 5 puntos de micrófono para cada posición de fuente; con una separación entre ellos de mínimo 0.7 m.

Además según la norma, en este caso se debe calcular el tiempo de reverberación y el ruido de fondo en el recinto receptor.

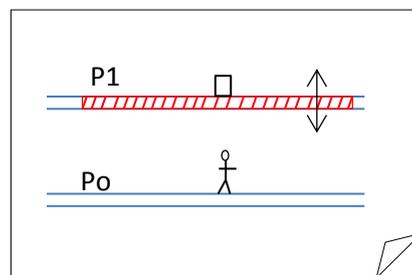


Figura 18. Croquis del forjado

3.3 Medidas de los tiempos de reverberación

El objeto de esta medición es conocer el tiempo de reverberación de la sala de ensayo principal, que es el problema en cuestión para el que se intenta buscar una propuesta de solución adecuada. Para ello deberemos optimizar el valor del tiempo de reverberación para la sala de ensayo que en nuestro caso será para uso musical de entre 0.7 s y 0.9 s. [11]

Además la medición nos permitirá determinar los distintos parámetros de calidad como son claridad $C80$ y el EDT, los cuales van a ser estudiados más adelante.

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.

El equipo necesario para realizar la medición fueron: la fuente sonora modelo "Sound Source Type 4224" de la marca Brüel&Kjaer y el sonómetro de la misma marca Brüel&Kjaer con un micrófono de incidencia aleatoria Brüel&Kjaer del tipo 4189 H-41.

Para marcar los puntos distribuidos a lo largo de la sala y en la zona de audiencia, se tuvieron en cuenta ciertos criterios para la posición tanto del micrófono como de la fuente especificados por la Norma, la cual indica que debe haber un mínimo de 6 posiciones y un máximo de 10 repartidas entre el público y a una distancia mínima de 1.2 m del suelo. En este caso están a 1.5 m del suelo. Y un mínimo de 3 puntos de fuente en la escena.

Por tanto, el número de puntos marcados para el micrófono fue de 6, por cada posición de la fuente. Por tanto había siete posiciones diferentes de la fuente, con lo cual se tenían 42 puntos. Todos los puntos coinciden, lo único que cambia es la posición de la fuente.

A continuación se muestra la distribución de dichos puntos y sus cotas respecto a puntos fijos:

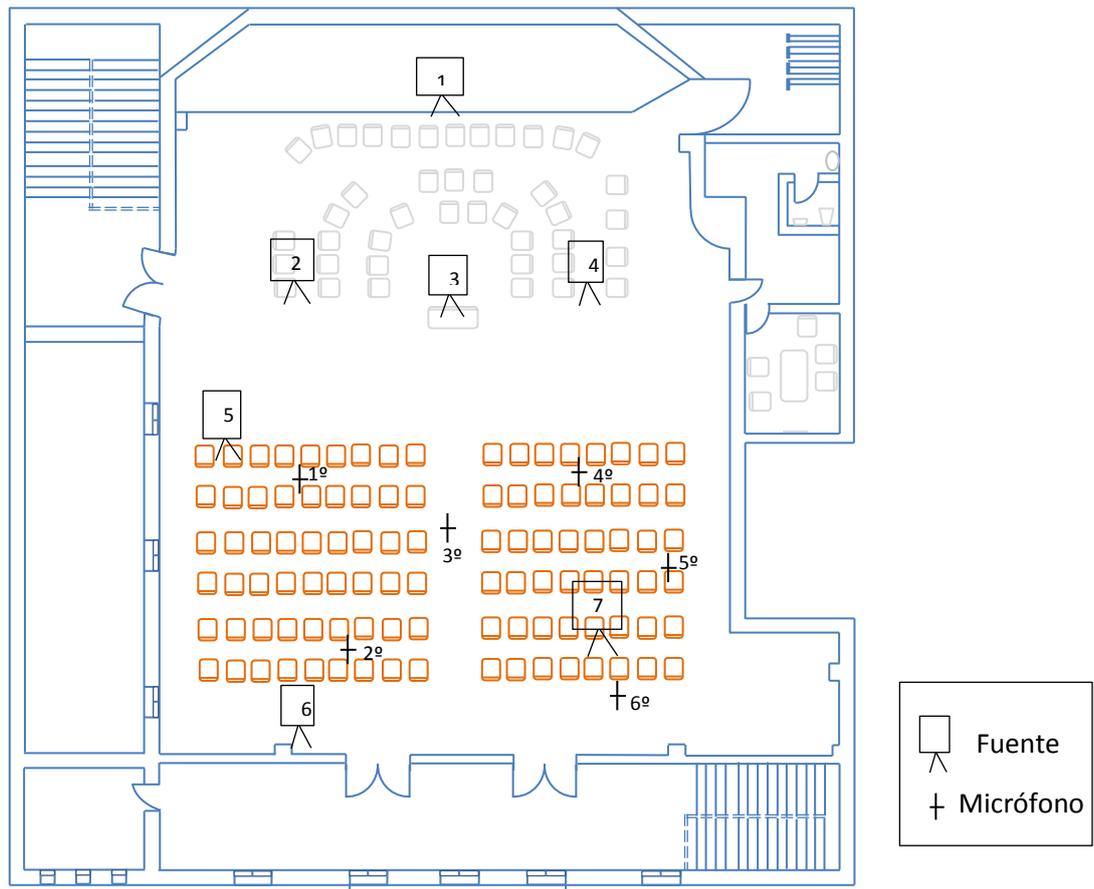


Figura 19. Plano medición TR. Sala de ensayo donde se muestran las posiciones de la fuente y del micrófono.

Una vez posicionado el micro en las posiciones elegidas y habiendo configurado el sonómetro en el modo correcto, se comprueba mediante la opción test, que con el nivel del amplificador,

el micrófono no produzca saturación en la muestra puesto que esto sería poco beneficioso para la misma. Se miden las condiciones atmosféricas, siendo la temperatura de 20,2 °C, la humedad relativa del 57% y 0 m/s lógicamente la velocidad del viento.

A continuación presionamos “Start” en el sonómetro, produciéndose después de una rápida subida un nivel de sonido estacionario, o lo que la norma menciona excitación del recinto, con la cual la fuente debe ser capaz de producir un nivel de presión acústica de pico suficiente para garantizar una curva de decaimiento empezando al menos 35 dB por encima del ruido de fondo.

Una vez recopiladas todas las mediciones de la sala, fueron examinadas una por una. El proceso de estudio de este parámetro mediante el programa Excel 2010 se muestra a continuación los resultados resumidos en la tabla 1:

TR(s) Frec. (Hz)	TR1(s)	TR2(s)	TR3(s)	TR4(s)	TR5(s)	TR6(s)	TR7(s)	TR(s) Promedio	Desviación estándar (s)
125	1.93	1.86	1.90	1.78	1.87	1.80	1.93	1.87	0.06
250	1.78	1.61	1.80	1.66	1.71	1.66	1.70	1.70	0.07
500	1.09	0.96	1.00	1.03	0.97	0.98	0.92	0.99	0.05
1000	1.37	1.41	1.40	1.35	1.43	1.38	1.40	1.39	0.03
2000	1.68	1.59	1.60	1.66	1.76	1.62	1.65	1.65	0.06
4000	1.50	1.51	1.40	1.48	1.54	1.35	1.33	1.44	0.08

Tabla 1. Tiempos de Reverberación en bandas de frecuencia de octava

La desviación estándar máxima es 0.08 (s) es la incertidumbre (cota superior) que tiene cada medida, y vemos que no hay apenas desviación por lo que no es necesario hacer más medidas.

A continuación, se presenta de manera gráfica los resultados del TR30 en la Figura 20.

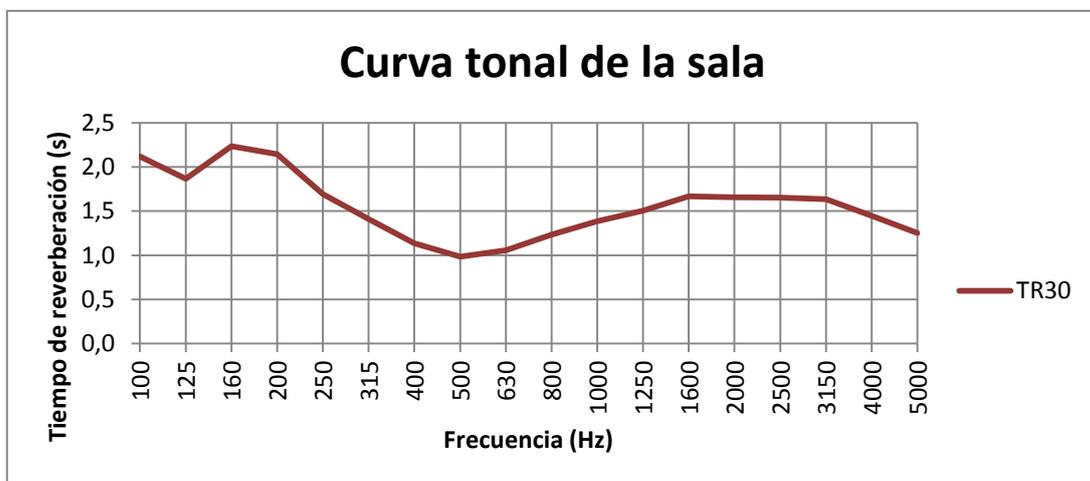


Figura 20. Gráfico TR30 promediado

4. ANÁLISIS DE MEDICIONES Y PARÁMETROS DE CALIDAD

4.1 Estudio del aislamiento

Datos previos

Determinación de L_d (valor máximo que se pueden emitir en el exterior).

El volumen del recinto es mayor que 350 m^3 por tanto no es obligatorio aplicar el código técnico de la edificación que está pensado más para vivienda residencial. De todas formas veamos que nos exigiría el CTE.

Las exigencias de aislamiento acústico a ruido exterior se fijan en el documento básico DB-HR de protección frente al ruido del CTE en función del ruido de la zona donde se ubica el edificio, es decir, en función del nivel de ruido de día (L_d) que es el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo día y definido como el nivel sonoro medio a largo plazo, ponderado A, determinado a lo largo de todos los periodos día de un año.

El valor del índice de ruido día, L_d , puede obtenerse mediante consulta en las administraciones competentes, que son las que han elaborado los mapas estratégicos de ruido. Sin embargo, en Pego, el municipio del edificio de estudio no se ha elaborado ningún mapa de ruido y por tanto realizaremos una estimación de éste.

L_d (dBA)	Uso del edificio			
	Residencial y sanitario		Cultural, docente, administrativo y religioso	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	30	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

Tabla 2. Valores de aislamiento acústico según el uso del edificio y el nivel exterior por el CT

Esta tabla del Código Técnico explica los diferentes valores de aislamiento acústico según el nivel exterior. Ya que no tenemos un mapa acústico del edificio, el CTE recomienda en esta situación elegir un nivel L_d de 60 dBA. Teniendo en cuenta que la calle que da a la fachada principal de nuestro edificio es poco transitada y que la población cuenta con unos 10.000 habitantes y una zona geográfica muy amplia, es decir, no se trata de una ciudad en la cual haya mucha contaminación acústica y además en la ubicación del centro musical el tráfico es escaso, elegiremos el L_d de 60 dBA, y por lo tanto escogeremos un valor de aislamiento acústico para nuestra fachada de 30 dBA.

Cálculo del aislamiento acústico

El objetivo de este apartado del proyecto consiste en el estudio del aislamiento acústico de los cerramientos más significativos del edificio para asegurar que cumplen los requerimientos

exigidos en el CTE o, en caso contrario, detectar posibles carencias y proponer las medidas correctoras oportunas.

A continuación se procede a calcular la diferencia de nivel (D), acorde a la norma UNE-EN ISO 717-1:2013 y se compararan los valores obtenidos con las exigencias del CTE.

Según la norma UNE-EN ISO 16283-3:2016, se deben hacer correcciones en el ruido de fondo cuando la diferencia entre el nivel de ruido en el exterior y el ruido de fondo sea menor de 10 dB, en concreto:

- Si la diferencia entre ambas es inferior a 10, pero mayor a 6 se aplicara la siguiente fórmula:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right)$$

- Si la diferencia es menor o igual a 6 dB se utilizara la corrección de 1,3 dB.

- Si la diferencia es mayor a 10 dB se hará ninguna corrección.

Para el cálculo del aislamiento, primero se calcula la diferencia de nivel D, haciendo la media de los puntos que se han obtenido en esa medianera y las correcciones de ruido de fondo, a continuación se calcula por tercios de octava la diferencia de nivel estandarizada D_{nT} obteniéndose unos valores que luego se aproximarán a la curva de referencia para poder calcular una magnitud que caracterice el aislamiento global: la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ acorde a la norma UNE-EN ISO 717-1.

- **Aislamiento fachada principal**

Como se ha descrito con anterioridad, el nivel sonoro existente en el punto situado a 2 m en la parte exterior enfrente de la fachada principal (L_1), y el receptor es el promedio de los puntos situados en el interior de la sala (L_{2i}). El término LB2 es el ruido de fondo medio de la sala y como describe la norma UNE-EN ISO 16283-3:2016 se han tenido que hacer correcciones para poder calcular la diferencia de niveles (D) y con ello la diferencia de niveles estandarizada (D_{nT}) de la fachada. Ver tabla 3.

	FRECUENCIA (Hz)																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
L1 (dB) medio	64,7	66,3	64,6	71,3	71,6	65,2	67,2	67,5	69,3	71,5	71,0	68,0	69,9	75,8	74,0	69,1	69,1	64,6
L2 (dB) medio	34,6	32,5	34,4	32,4	30,2	26,9	25,1	24,7	23,1	21,1	16,9	13,3	12,7	14,1	11,8	8,8	10,2	8,2
LB2 (dB) medio	17,9	7,8	10,0	18,0	8,8	10,8	10,8	9,9	10,8	9,6	8,9	7,8	7,6	6,7	7,2	8,7	8,3	7,8
L2 (dB) corregido	34,6	32,5	34,4	32,4	30,2	26,9	25,1	24,7	23,1	21,1	16,9	13,3	12,7	14,1	11,8	8,2	10,2	7,5
TR2 medio	2,1	1,9	2,2	2,1	1,7	1,4	1,1	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3
D (dB)	30,1	33,8	30,2	38,9	41,5	38,3	42,4	44,6	48,2	50,4	54,1	54,7	57,3	61,7	62,3	60,9	58,9	57,1
DnT (dB)	36,4	39,5	36,7	45,2	46,8	42,8	46,0	47,6	51,4	54,3	58,6	59,5	62,5	66,9	67,5	66,1	63,5	61,1

Tabla 3. Diferencia de niveles de la fachada principal

	FRECUENCIA (Hz)																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
DnT (dB)	36.4	39.5	36.7	45.2	46.8	42.8	45.95	47.6	51.4	54.3	58.6	59.5	62.5	66.9	67.5	66.1	63.5	61.1
Ref. 1/3 oct (dB)	33	36	39	42	45	47	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	56	56
Ref. desplazada (dB)	35	38	41	44	47	49	53	54	55	56	57	58	58	58	58	58	58	58
Desv. desfavorable	0.0	0.0	4.31	0.0	0.21	6.19	7.05	6.45	3.58	1.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 4. Valores de las curvas de referencia de la fachada principal

Este proceso se calcula desplazando la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida, hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero sin superar los 32 dB.

Se sabe que se produce una desviación desfavorable en una determinada frecuencia cuando el resultado de las mediciones es inferior al valor de referencia. Por tanto, una vez finalizado el desplazamiento, el valor en decibelios de la curva de referencia a 500 Hz, es la diferencia de nivel estandarizada ponderada $D_{nT,w}$ el cual es igual a 54 dB.

Según el CTE DB-HR para el aislamiento acústico a ruido exterior, con un nivel de ruido exterior de 60 dB, se establece como mínimo un aislamiento acústico de 30 dB. En la medición realizada *in situ* obtenemos un $D_{nT,w}$ de 54 dB, por tanto **SÍ CUMPLIRÍA** con los requisitos mínimos de la norma.

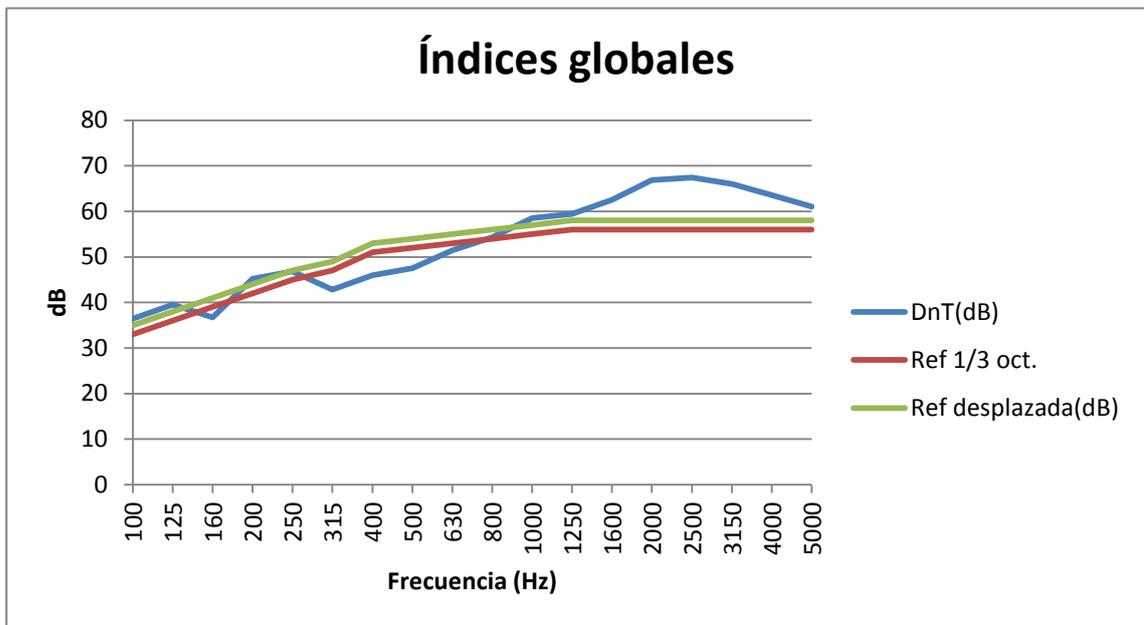


Figura 21. Índices globales del aislamiento de la fachada principal del local de ensayo

• **Aislamiento entre la planta baja y la primera planta**

El aislamiento entre ambas plantas se calcula siendo el recinto emisor (L_1) la sala de la planta baja, mientras que el recinto receptor (L_2) es el recinto de la sala de ensayo, situada en la primera planta. Según la norma 16283-1:2014 en general el recinto emisor es la sala más grande y el recinto receptor la sala pequeña, pero en este caso lo que interesa es el aislamiento en la sala de la planta superior por lo que se ha escogido la excepción de la norma.

Cabe destacar que se han puesto dos posiciones de fuente diferentes con cinco puntos de micrófono en cada posición, acatando/respetando las recomendaciones de la norma:

- 0.7 m entre posiciones del micrófono
- 0.5 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto
- 1 m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora.
- 1.4 m entre las dos posiciones de altavoces

A continuación en la tabla 5 se ve un resumen de los valores, siendo LB2 el nivel medio de ruido de fondo en la sala de ensayo de la primera planta y el TR30 medio, para calcular la diferencia de niveles estandarizada.

	FRECUENCIA (Hz)																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
L1 (dB) medio	65.6	73.6	78.6	79.1	79.9	79.2	80.9	82.3	82.6	82.0	79.8	76.8	76.1	79.8	76.7	72.2	71.8	65.6
L2 (dB) medio	36.8	41.9	43.7	73.7	43.5	41.8	40.5	39.1	37.6	37.7	36.4	32.6	31.2	36.2	34.5	30.4	30.8	23.5
LB2 (dB) medio	17.9	7.8	10.0	18.0	8.8	10.75	10.8	9.9	10.8	9.58	8.9	7.8	7.6	6.7	7.2	8.7	8.3	7.8
L2 (dB) corregido	36.8	41.9	43.7	43.7	43.5	41.8	40.5	39.1	37.6	37.7	36.7	32.6	31.2	36.2	34.5	30.4	30.8	23.5
TR2 medio	2.1	1.87	2.2	2.1	1.7	1.4	1.13	1.0	1.1	1.23	1.38	1.5	1.7	1.7	1.7	1.6	1.45	1.3
D (dB)	28.8	31.7	34.9	35.4	36.3	37.4	40.3	43.2	45.1	44.4	44.38	44.2	44.9	43.5	42.2	41.8	41.0	42.1
DnT (dB)	35.1	37.4	41.4	41.7	41.6	41.88	43.9	46.1	48.3	48.3	47.8	49.0	50.2	48.75	47.4	47.0	45.6	46.1

Tabla 5. Diferencia de niveles entre ambas alturas

	FRECUENCIA (Hz)																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
DnT (dB)	35.0	37.4	41.4	41.7	41.6	41.9	43.9	46.1	48.3	48.3	47.8	49.0	50.2	48.8	47.4	47.00	45.6	46.1
Ref. 1/3 oct (dB)	33	36	39	42	45	47	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	56	56
Ref. desplazada (dB)	31	34	37	40	43	45	49	50	51	52	53	54	54	54	54	54	54	54
Desv. desfavorable	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	0.9	0.0	0.7	2.2	2.0	0.8	2.3	3.6	4.0	5.4	4.9

Tabla 6. Valores de las curvas de referencia entre ambas plantas

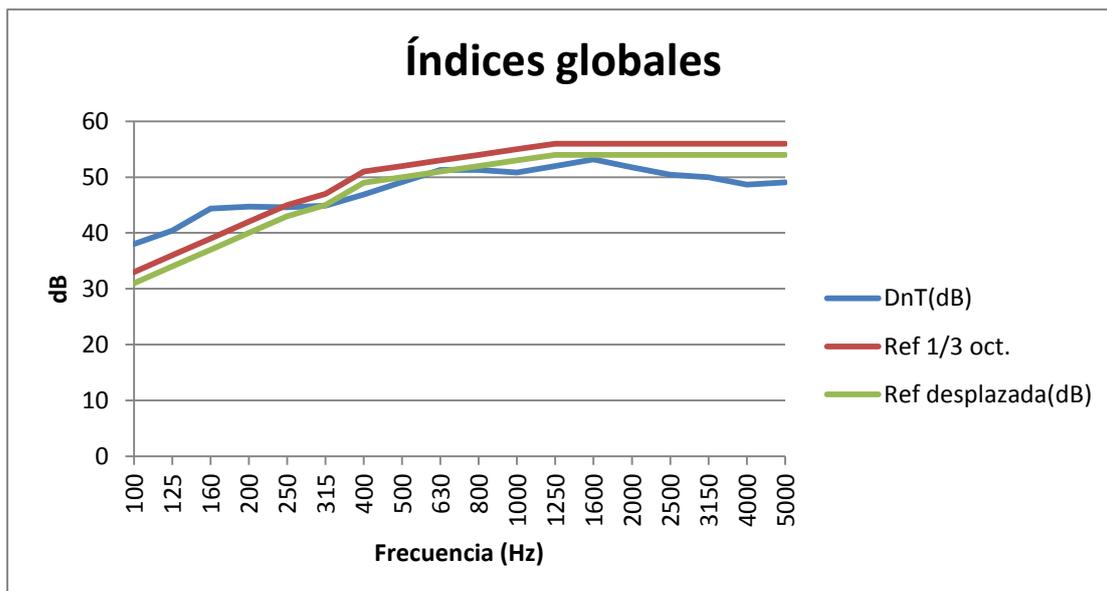


Figura 22. Índices globales de aislamiento entre la planta baja y la planta primera

Según el CTE para el aislamiento entre recintos protegidos establece un DnT superior a 50 dBA. En la medición realizada *in situ* se obtiene un DnT,w de 50 dB, por tanto **SÍ CUMPLIRIA** con los requisitos mínimos de la norma.

4.2 Parámetros de calidad

4.2.1 Tiempo de reverberación TR30

El parámetro estudiado en cuanto a reverberación se refiere es el tiempo de reverberación TR30, que es el tiempo que transcurre desde que deja de emitir un sonido la fuente hasta que el nivel desciende en 30 dB multiplicado por 2.

A continuación se indican los valores obtenidos:

TR (s) \ Frec.(Hz)	TR1 (s)	TR2 (s)	TR3 (s)	TR4 (s)	TR5 (s)	TR6 (s)	TR7 (s)
100	2.74	1.89	2.6	1.71	1.93	1.70	2.23
125	1.93	1.86	1.9	1.78	1.87	1.80	1.93
160	2.74	1.97	2.3	2.24	2.08	2.21	2.16
200	2.33	1.93	2.2	2.18	2.23	2.18	1.95
250	1.78	1.61	1.8	1.66	1.71	1.66	1.70
315	1.50	1.35	1.3	1.47	1.44	1.45	1.32
400	1.20	1.12	1.1	1.18	1.12	1.17	1.06
500	1.09	0.96	1.0	1.03	0.97	0.98	0.92
630	1.08	1.03	1.0	1.12	1.05	1.06	1.07
800	1.22	1.21	1.2	1.28	1.27	1.19	1.24
1000	1.37	1.41	1.4	1.35	1.43	1.38	1.40
1250	1.57	1.51	1.4	1.52	1.56	1.48	1.47
1600	1.66	1.62	1.7	1.72	1.76	1.61	1.63
2000	1.68	1.59	1.6	1.66	1.76	1.62	1.65
2500	1.66	1.60	1.6	1.65	1.74	1.71	1.59
3150	1.68	1.63	1.6	1.68	1.75	1.59	1.53
4000	1.50	1.51	1.4	1.48	1.54	1.35	1.33

Tabla 7. TR promediado en cada posición de fuente

En este caso, tras analizar las 7 posiciones de los tiempos de reverberación, observamos que a frecuencias bajas hay un pico muy pronunciado; en frecuencias altas también hay un pequeño pico mientras que a frecuencias medias tiene un tiempo de reverberación correcto. Lo podemos observar mejor en la siguiente gráfica

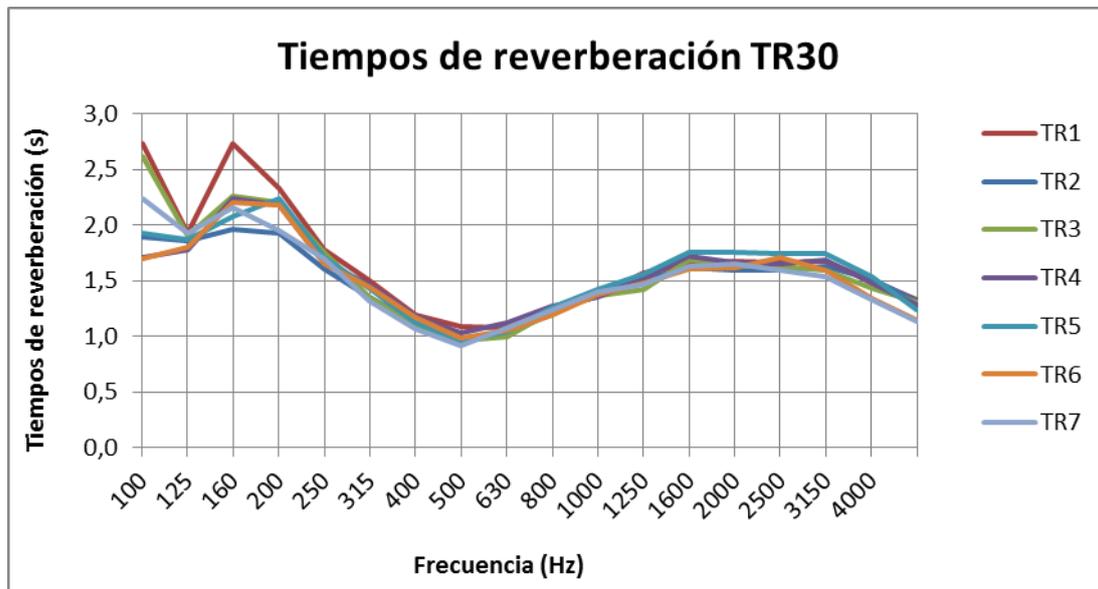


Figura 23. Gráfico TR30

Por tanto a frecuencias bajas deberemos poner resonadores, mientras que a frecuencias altas se deberán poner absorbentes para conseguir un tiempo de reverberación óptimo.

4.2.2 Brillo y calidez

Estos dos parámetros se van a obtener de los valores medios calculados del TR30, el brillo mide la riqueza en altas frecuencias, es decir los sonidos agudos de la sala, mientras que la calidez representa la riqueza en bajas frecuencias (sonidos graves).

El brillo se calcula haciendo el cociente del tiempo de reverberación correspondiente a las frecuencias de 2000 más 4000 Hz entre las frecuencias de 500 y 1000Hz.

$$Br = \frac{TR(2000)+TR(4000)}{TR(500)+TR(1000)}$$

La calidez se calcula haciendo el cociente del tiempo de reverberación correspondiente a bajas frecuencias (125 y 250Hz) entre frecuencias medias (500 y 1000Hz).

$$BR = \frac{TR(125)+TR(250)}{TR(500)+TR(1000)}$$

El brillo calculado es 1.30 segundos y la calidez es 1.50 segundos, el brillo según Beranek debe ser superior a 0.87 aunque un brillo que supere la unidad, como es el caso lo que provoca es un sonido artificial. Y en cuanto al brillo debe estar entre 1.10 y 1.50 segundos, por tanto la sala tiene una claridad idónea.

5. SIMULACIÓN ACÚSTICA

DEL ESTADO ACTUAL

5.1 Simulación acústica mediante el software Catt-Acoustics

Para realizar la simulación de la sala de ensayo de la banda, se ha utilizado el programa llamado "CATT-Acoustics" en su versión demo proporcionada por la Escuela Politécnica Superior de Gandía.

Para poder realizar esta simulación lo primero que se hizo fue realizar un modelo geométrico en 3D de la sala en su estado actual, todo ello, realizado mediante planos, punto a punto. Cada material con los que está construida la sala va asignado a su plano correspondiente y con un color distinto para que sea más visual y a cada material se le atribuyen sus coeficientes de absorción y dispersión, para aproximar el modelo lo máximo a la realidad.

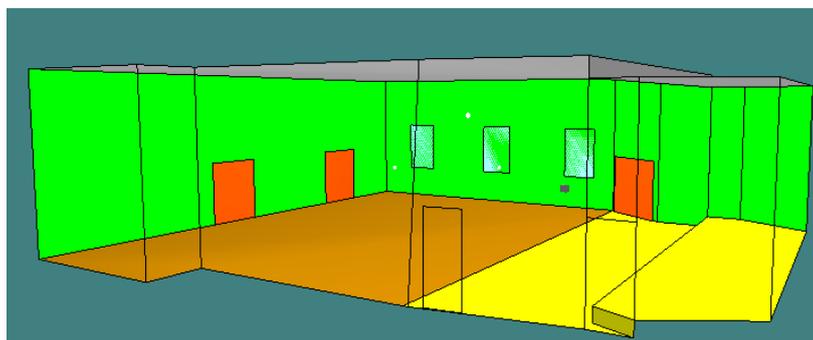


Figura 24. Modelo de la Sala ensayo. Vista lateral

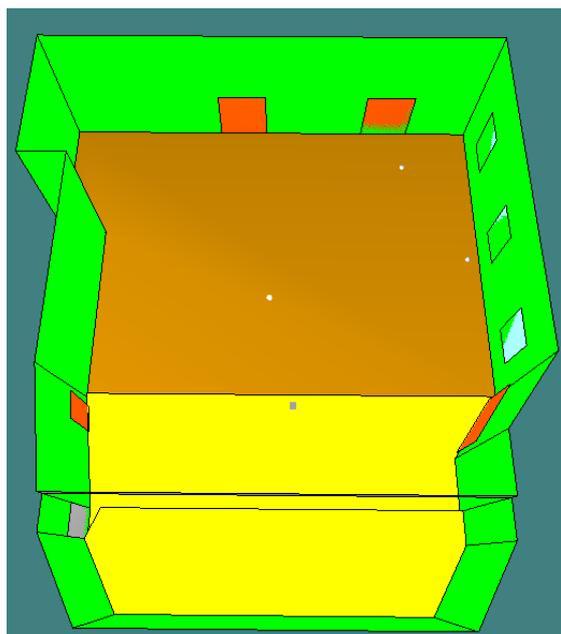


Figura 26. Modelo Sala ensayo. Vista en planta

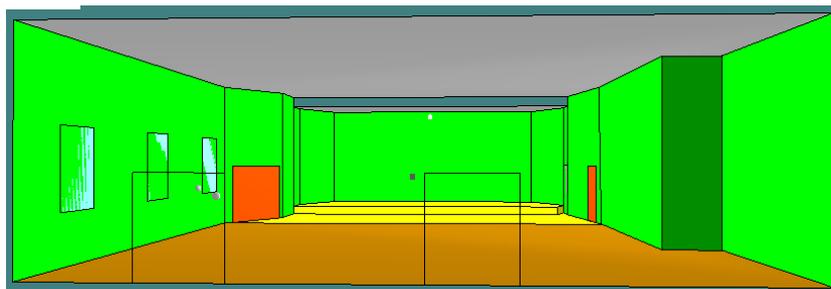


Figura 25. Modelo Sala ensayo. Vista en alzado

Cada color es una superficie diferente, pero hay superficies que son revestidas con el mismo material. La distribución de materiales es la siguiente:

- Verde: Revestimiento enlucido de yeso.
- Gris: Falso techo de placa de escayola.
- Azul claro: Vidrio.
- Marrón: Revestimiento suelo parqué.
- Amarillo: Tarima de madera
- Anaranjado: Puertas de madera sin burlete.

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 analítico.

Y se inicia así la simulación.

5.2 Interpretación de los resultados obtenidos

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

➤ Nivel de presión sonora

El primer parámetro que se ha obtenido es el nivel de presión sonora, se ha calculado para una frecuencia de 1 kHz, porque apenas varía en las distintas frecuencias.

A continuación vemos los mapas de niveles, en los que el programa diferencia niveles con una escala de alto contraste y unos niveles comprendidos entre los 80 y los 86 dB. Recordar que la fuente se sitúa en el mismo lugar que para realizar las mediciones.

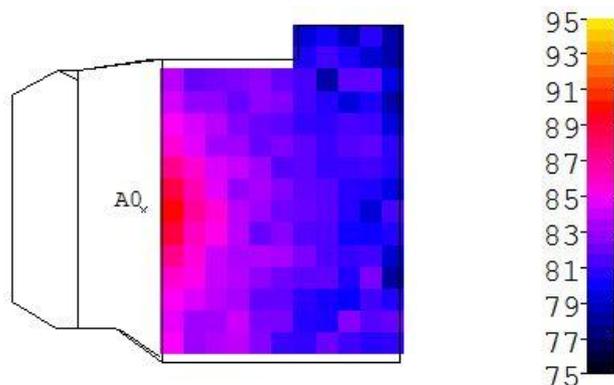


Figura 27. Mapa de niveles. SPL

Como se observa en la figura la distribución del nivel de presión sonora es bastante uniforme en toda la sala, siendo los mayores niveles los que están próximos a la fuente debido a la influencia del campo directo de la fuente.

➤ **Tiempo de reverberación**

Dentro del tiempo de reverberación, los parámetros que se han obtenido del programa de Simulación Acústica son el EDT, TR15 y el TR30.

En este caso no se han obtenido con la escala de contrastes, sino que el programa ha calculado el valor para la frecuencia de 1000 Hz, que es la más representativa para el oído humano, y los resultados son los siguientes:

EDT	0,63 s
T-15	0,95 s
T-30	1,22 s

Sabiendo que el EDT se define como seis veces el tiempo que transcurre desde que desconectamos la fuente hasta que el nivel de presión sonora ha decaído 10 dB, para una sala perfecta la curva de decaimiento EDT debería ser la misma que la del TR, pero como no es así, en este caso el EDT decae más rápido que el TR, podemos decir que es una sala más apagada.

➤ **Claridad, C80**

Debemos recordar que el parámetro claridad C_{80} indica la idoneidad que presenta una sala frente al sonido que es emitido por la música. Conceptualmente indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrante de una composición musical.

Se define como el cociente entre la energía sonora recibida durante los primeros 80 ms después de recibir el sonido directo y la energía que llega después de esos 80 ms, expresado en dB.

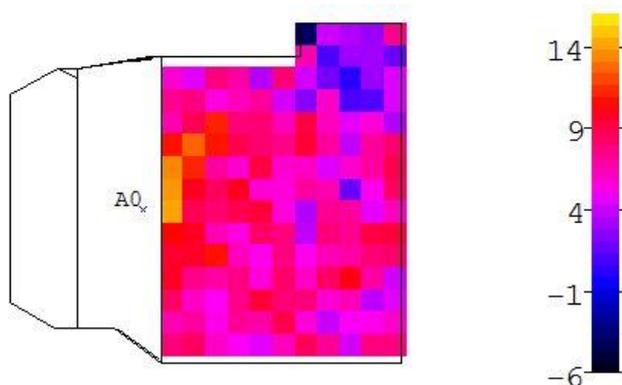


Figura 28. Mapa de niveles. C80

Según L.L. Beranek el valor óptimo de la claridad en una sala vacía está comprendido entre los -4 dB y 0 dB. Por tanto, en esta sala de ensayo se puede observar mediante la escala de contrastes que por lo general sobrepasa los 0 dB, por tanto sería una mala sala según este criterio.

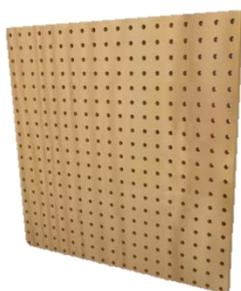
6. PROPUESTAS DE MEJORA

6.2 Materiales propuestos para el acondicionamiento

Tras analizar los parámetros obtenidos y comprobar que no cumplen con los valores normativos, procedemos a proponer algunas mejoras que ayuden a corregir los defectos acústicos que tiene la sala de ensayos.

Como se ha visto en el apartado anterior, a bajas y a altas frecuencias se debe de corregir el tiempo de reverberación.

- En primer lugar, se propone instalar resonadores para modificar las frecuencias bajas. Se pondrán paneles multiresonadores en las paredes con un plenum de 20 mm. Este tipo de resonadores están hechos de madera de arce con perforaciones de 8 mm con 40 mm de espesor y con unas medidas de 1200x600 mm para la pared de las ventanas y de 2430x600 mm para el resto. Véase figura 32.



Coeficiente de absorción α						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
8 mm	0.3831	0.4396	0.4650	0.3012	0.2193	0.1921

Tabla 8. Coeficientes de absorción del multiresonador

Figura 29. Multiresonador

- En segundo lugar, se propone instalar absorbentes para modificar las altas frecuencias. En este caso se pondrían en el techo paneles acústicos de lana de roca provistos de un velo de color blanco en la parte exterior y de 40 mm de espesor y con un plenum de 20 mm.



Figura 30. Paneles de lana de roca para techo

Coeficiente de absorción α						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Espesor 40 mm.	0.55	0.8	0.85	0.9	0.9	0.9

Tabla 9. Coeficientes de absorción de los paneles de lana de roca

Una vez se tienen los coeficientes de absorción de los materiales del acondicionamiento que se van a instalar en la sala para optimizar el TR con el fin de mejorar las condiciones acústicas de la sala, se realizan los cálculos siguientes para saber la cantidad óptima de cada material que se necesita, sabiendo las dimensiones del recinto se calcula las superficies interiores de la sala. Ver tabla 10.

- Dimensiones totales del recinto:

Suelo = 229.5 m ²	}	Superficie total (S): 721.3 m ²
Techo = 229.5 m ²		Volumen total (V): 986.85 m ³
Paredes = 262.3 m ²		

		FRECUENCIA (Hz)																	
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
TR(s) antes		2.12	1.87	2.24	2.14	1.69	1.41	1.13	0.99	1.06	1.23	1.38	1.51	1.67	1.66	1.65	1.64	1.45	1.25
TR(s) acondicionado con resonador		0.84	0.90	0.89	0.83	0.68	0.71	0.61	0.55	0.56	0.57	0.60	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	0.58
coef. Abs. Personas		0.35	0.4	0.42	0.45	0.5	0.52	0.58	0.60	0.62	0.65	0.7	0.75	0.76	0.80	0.81	0.79	0.80	0.81
TR después (0 personas)		0.83	0.78	0.79	0.74	0.60	0.61	0.53	0.47	0.48	0.50	0.52	0.55	0.57	0.57	0.57	0.57	0.54	0.51
TR después (85 personas)		0.77	0.72	0.72	0.68	0.56	0.56	0.49	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.48	0.46

Tabla 10. TR(s) antes y después del acondicionamiento de la sala vacía y ocupada (con personas en su interior)

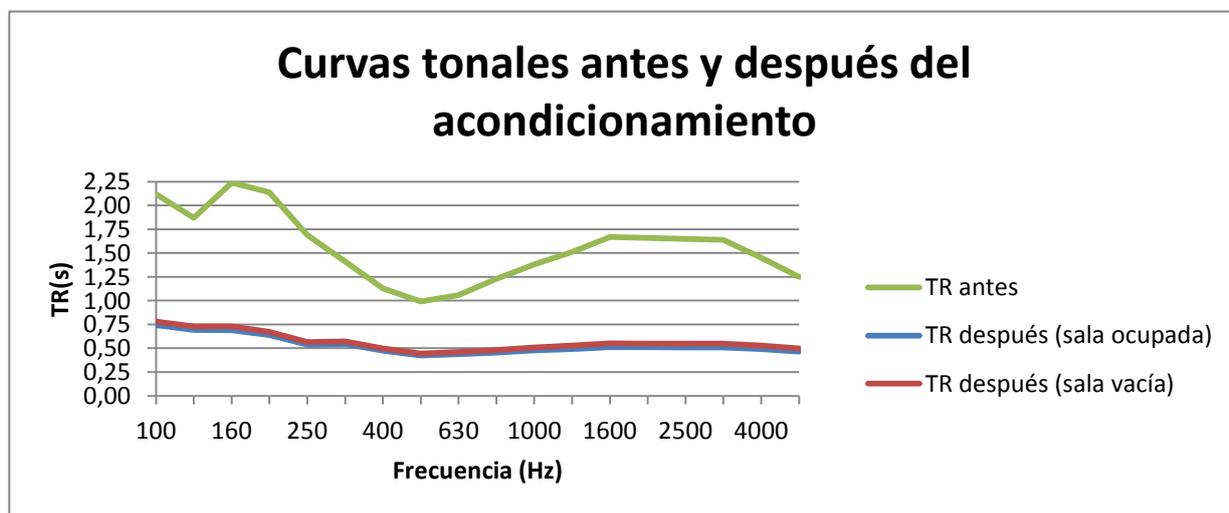


Figura 31. Gráficas de las curvas tonales antes y después del acondicionamiento de la sala.

Como se observa en la gráfica de la figura 31 el TR de la sala está dentro de los valores óptimos del TR de una sala de ensayo de una banda de música (entre 0.7 s – 0.9 s). Para ello se han utilizado 200 m² de paneles de lana de roca de 4 cm de espesor con un plenum de 2 cm y 60m² de paneles multiresonadores.

Por otro lado para calcular el tiempo de reverberación con la sala llena, se han tenido en cuenta una estimación para la banda de música de 45 músicos. Con este acondicionamiento se consigue un TR óptimo con independencia de la cantidad de público que haya, que puede ser de cero hasta 120 personas.

En la figura 32 se muestran en verde las zonas en las que se llevará a cabo el acondicionamiento de los paneles multiresonadores, ya que el resto de acondicionamiento cubriría totalmente el techo.

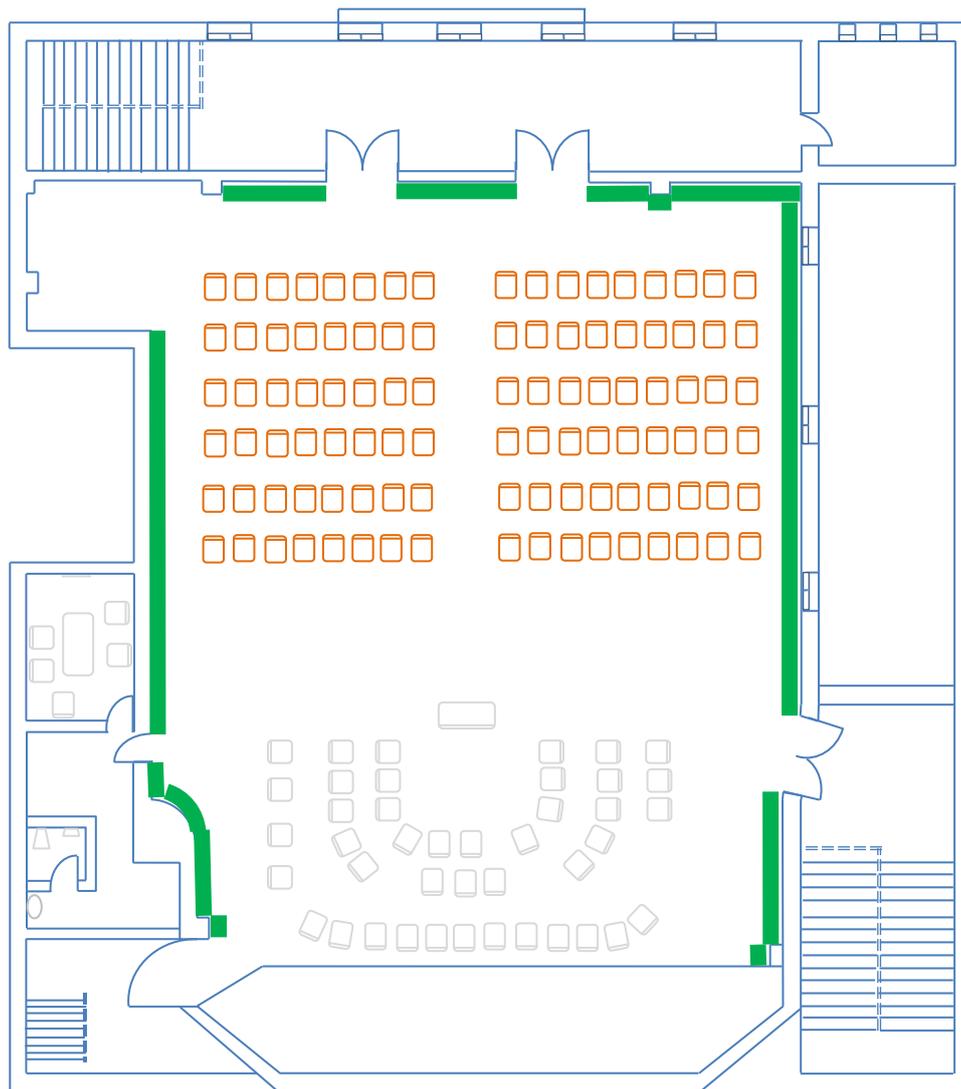


Figura 32. Representación de la distribución de la superficie cubierta por los multiresonadores para acondicionar la sala

6.3 Simulación mediante software después del acondicionamiento

Finalmente se ha llevado a cabo una simulación acústica de la sala vacía antes y después de acondicionar mediante el programa de simulación CATT-ACOUSTICS. Los resultados de la simulación muestran un buen acuerdo de las medidas experimentales. Véase la figura 33.

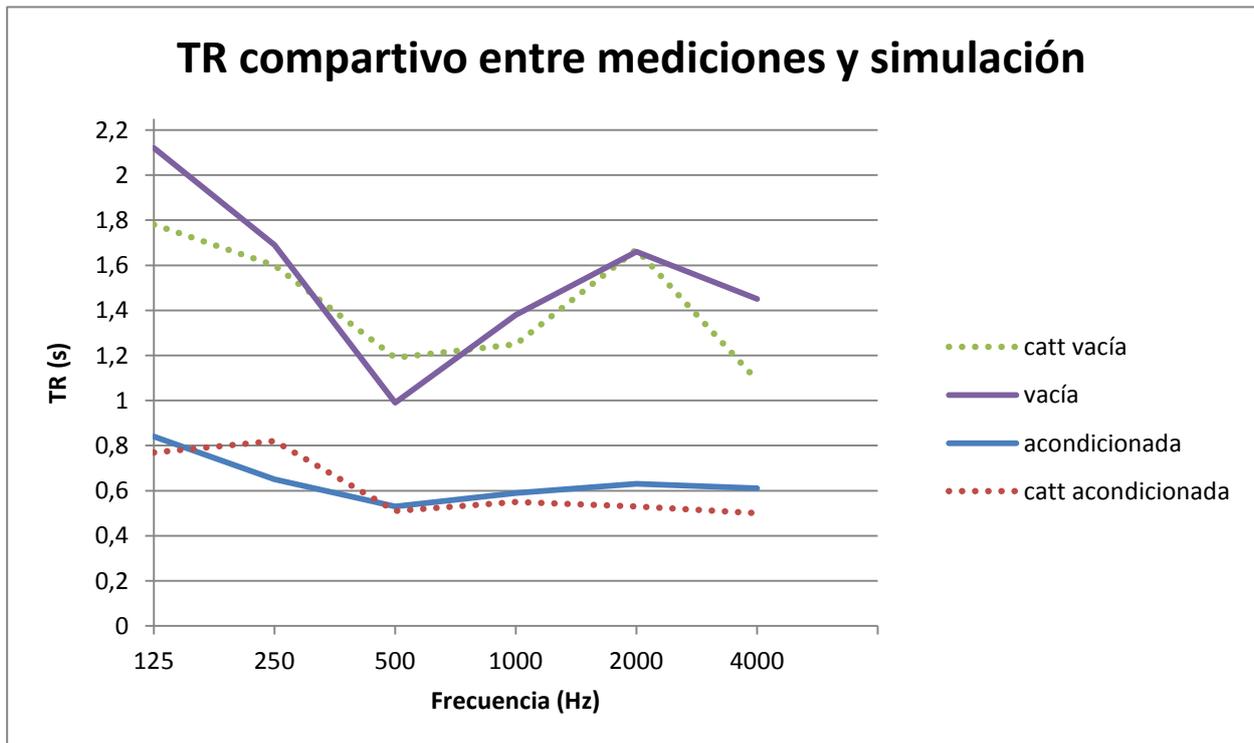


Figura 33. Comparativa entre simulación (líneas discontinuas en rojo) y medidas (línea azul continua) realizadas en la sala de ensayo

7. ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO

En este apartado se muestra una estimación del presupuesto del acondicionamiento y aparecen desglosados los precios de las mejoras.

PRESUPUESTOS Y MEDICIONES

Acondicionamiento acústico sala de ensayos

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1	Paneles resonadores acústicos de Madera de arce con lana de roca. Dimensiones 2430x600 mm ²	79u	89€/u	7031€
2	Paneles resonadores acústicos de Madera de arce con lana de roca. Dimensiones 1200x600 mm ²	22u	78€/u	1716€
3	Paneles acústicos de lana de roca Rockfon Acoustimass de 1200x1000x80 mm ³ con acabado de tela de color blanco. (1 caja = 5 unidades = 3.60 m ²)	56 cajas	174€/c	9744€
SUBTOTAL				18491€
I.V.A. (21%)				incluido
TOTAL				18491€

Condiciones generales:

- En la factura detallada se incluye el precio de suministro y transporte del material.
- Descarga, subida y reparto de los materiales hasta situarlos en zonas marcadas.
- Instalación por el personal especializado Supervisión y dirección técnica.
- Limpieza de escombros.

8. CONCLUSIONES

La temática de este proyecto, el acondicionamiento acústico de recintos, ha cobrado mucha importancia actualmente. Tiempo atrás los constructores y arquitectos diseñaban sus hogares mediante cerramientos de gran espesor, para lograr así un aislamiento tanto térmico como acústico. Sin duda, ahora, el diseño y uso de materiales ha cambiado, ya que se intenta conseguir la misma finalidad pero con materiales más ligeros y más eficaces y que ocupen un reducido espesor para evitar pérdidas de superficie habitable y reducir costes.

Como ya se ha dicho, es importante el aislamiento y acondicionamiento acústico en la edificación, ya que actualmente viene sumido en un marco normativo realmente amplio donde se plasman las directrices para realizar elementos constructivos que satisfagan las necesidades de habitabilidad y lo que es más importante llevar a cabo la protección frente al ruido de las viviendas lo que incrementa la salud y el bienestar de las personas.

En este caso, el edificio cuando se adquirió, la Agrupación Musical no dotaba de un gran presupuesto para acondicionar el edificio y menos para la mejora de la sala de ensayo de la banda. Con el tiempo han ido intentando hacer reformas las cuales no resuelven completamente el problema del excesivo tiempo de reverberación y la duda inicial si existían otros defectos acústicos importantes como el aislamiento acústico.

Esta área de conocimiento de la Ingeniería Acústica ha sido muy interesante y útil en cuanto a aprendizaje del uso de los instrumentos necesarios para la medición de parámetros acústicos, así como las normas UNE que rigen la forma de utilizarlos. Me ha gustado realizar mis propias mediciones sobre un proyecto concreto lo que me ha permitido profundizar en el conocimiento de lo estudiado en el grado.

Las soluciones planteadas se ha intentado que fueran lo más económicas posibles además de que fueran estéticas, pero pienso, que llevar a cabo una solución de las planteadas u otras diferentes a las mismas en estos momentos es muy difícil, debido a los tiempos en que nos encontramos económicamente hablando.

Para mí sería de gran satisfacción que el proyecto elaborado pudiera servir en un futuro para poder mejorar el acondicionamiento del edificio de la Agrupación Musical, ya sea llevando a cabo una de las propuestas de mejora planteadas o partir del estudio realizado para plantear alguna otra posible solución.

Este proyecto me ha motivado mucho, ya que como he explicado al comienzo de éste, he elegido este edificio porque soy usuaria del mismo y soy conocedora de los problemas acústicos que sufren los músicos durante los ensayos y en algún pequeño concierto.

9. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Joan Martínez Mora por aceptar mi propuesta de trabajo de final de grado y bajo su tutela ayudarme a llevarla a cabo y dedicarle tiempo durante estos meses. En segundo lugar a mi madre y a mi hermano por estar en todo momento apoyándome y animándome durante estos años. Y por último un agradecimiento especial a mi padre que está pasando unos momentos muy duros y sé que ha confiado siempre en mí.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Aislamiento acústico y acondicionamiento acústico.** Obtenido el 14/06/2017.
<http://skumacoustics.com/blog/aislamiento-acustico-vs-acondicionamiento-acustico/>
- [2] **Carrión Isbert, Antoni,** (1998), *Diseño Acústico de espacios arquitectónicos.* Edicions UPC
- [3] **Código Técnico de la edificación. Guía DB HR de aplicación de protección frente al ruido.** Obtenido el 10/07/2017.
https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/GUIA_DBHR_201612.pdf
- [4] **Definición de sonido.** Obtenido el 14/06/2017. <http://definicion.de/sonido/>
- [5] **Google maps.** Obtenido el 30/05/2017.
<https://www.google.es/maps/@38.8417411,-0.1059512,13.75z>
- [6] **Ideatec.** Obtenido el 14/07/2017. <http://ideatec.es/es/products/acondicionamiento-acustico-falsos-techos-cielos-rasos-revestimientos-madera-ideacustic>
- [7] **Indicadores de absorción acústica.** Obtenido el 14/06/2017.
<http://www.rockfon.es/prestaciones/ac%C3%BAstica/c%C3%B3mo+comparar+la+ac%C3%BAstica+de+los+techos/indicadores+de+absorci%C3%B3n+ac%C3%BAstica>
- [8] **Rockfon Acoustimass.** Obtenido el 14/07/2017
http://www.rockfon.es/u/website_eu_product/10115/ROCKFON%C2%AE%20Acoustimass%E2%84%A2/
- [9] **Sede Electrónico del Catastro.** Obtenido el 30/05/2017.
<https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=consulta>
- [10] **Tema 3: Acústica de salas.** Acústica para la edificación. Página 81
- [11] **Tiempo de reverberación.** Obtenido el 14/07/2017
<http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/426-tiempo-de-reverberacion>
- [12] **UNE-EN ISO 16283-1:2014.** Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.
- [13] **UNE-EN ISO 16283-3:2016.** Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 3: Aislamiento a ruido de fachada.
- [14] **UNE-EN ISO 3382-1:2010.** Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte1: Salas de espectáculos.
- [15] **UNE-EN ISO 717-1:2013.** Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.