

---

# PROYECTO ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO GREEN ESPAI

07 jul. 14

---

AUTOR:

**ALBERTO QUINTANA GALLARDO**

TUTOR ACADÉMICO:

Vicente Gómez Lozano Departamento Física aplicada

Salvadora Reig Departamento Física aplicada



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
ENGINYERIA  
D'EDIFICACIÓ

---

ETS de Ingeniería de Edificación  
Universitat Politècnica de València



## Resumen

El trabajo desarrollado, se centra en el estudio y propuesta de mejora de las condiciones acústicas de una sala de conciertos y centro social en Sagunto. Debido a las opiniones negativas de los usuarios respecto al sonido de esta, el objetivo principal es desarrollar una propuesta mejora del sonido interior, sin olvidar el cumplimiento de las leyes sobre aislamiento acústico.

## Abstract

The dissertation deals with de study and remodeling proposal about the acoustic conditions of a concert hall and community center in Sagunto Harbor. Owing to the negative feedback from the users about of the sound in there, the purpose is to find a way to improve it, without forgetting the law enforcement about acoustic isolation.

**Palabras clave:** Acondicionamiento acústico, acústica arquitectónica, sala música, aislamiento acústico, cálculo.

## Agradecimientos

Quiero agradecer a mis tutores la inmensurable ayuda que me han prestado para la realización de este proyecto, y a todos los grandes profesores de esta magnífica universidad.

Agradecer a mis padres y a mi hermana por su apoyo, a Esmeralda por haber estado ahí cuando la he necesitado y a mis compañeros, en especial a Pedro.

## Acrónimos utilizados

**C80:** Claridad

**CEC:** Catálogo de elementos constructivos

**CTE:** Código Técnico de la edificación

**DB-HR:** Documento Básico de Protección contra el Ruido

**EDT:** “Early Decay Time”

**STI:** Speech Transmission Index

**T10:** Tiempo de reverberación medido a la caída de 10 dB

**T20:** Tiempo de reverberación medido a la caída de 20 dB

**T20:** Tiempo de reverberación medido a la caída de 20 dB

# Índice

	Pág.
Capítulo 1 .....	5
Introducción.....	5
1. Estudio previo de las condiciones de la sala .....	8
2. Proceso de mediciones y cálculo.....	11
2.1 Medición de la calidad acústica.....	11
2.2 Conclusiones de la medición .....	25
3. Propuestas mejora acústica .....	27
3.1 Propuesta 1 .....	28
3.2 Propuesta 2 .....	40
4. Aislamiento acústico .....	53
4.1 Proceso medición y cálculo aislamiento.....	56
4.2 Propuesta de mejora .....	59
5. Presupuesto .....	64
5.1 Propuesta 1 .....	64
5.2 Propuesta 2 .....	64
Capítulo 2. Conclusiones. ....	65
Capítulo 3. Referencias bibliográficas .....	67
Capítulo 4. Índice de Figuras .....	69
Índice de anexos .....	72

# Capítulo 1.

## Introducción

El “Green Espai” es un centro cultural de propiedad privada, localizado en la calle Fundición número 79 del polígono A, del puerto de Sagunto. Se trata de un local de 488 m<sup>2</sup> ubicado en un complejo comercial rodeado de bares, naves industriales y un cine.



Figura 1. Situación del local



Figura 2. Entrada al local

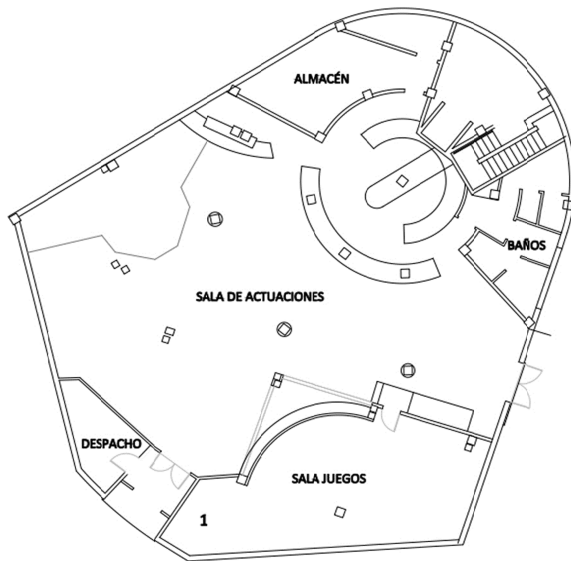


Figura 3. Sección horizontal del local, vista cenital.

Este complejo fue construido en el año 2004 y desde entonces fue ocupado por un bar.

El año 2012 el local queda vacío y Fede (vecino del Puerto de Sagunto) decide iniciar el proyecto del “Green Espai”, con el propósito de crear un espacio donde aunar sus 2 mayores inquietudes: la musical y la social.

El “Green Espai” está pensado como una sala de conciertos para música moderna de estilos que van desde el Jazz hasta Rock pasando por Big Bands, Soul, Hip Hop, etc. La sala además se usa como local de ensayo para la batucada (grupo de percusión) del propietario del local.

En lo que se refiere a la vertiente social, durante los medios días la sala tiene carácter de comedor social, todo aquel que tenga dificultades económicas puede comer gratis, y para el resto los precios son irrisorios.

Habiendo acudido personalmente como músico meses atrás, me quedé muy sorprendido de la enorme dificultad que supone tocar, debido a la baja inteligibilidad del sonido tanto para los músicos como para el público y la excesiva reverberación. Evidenciando la necesidad de realizar un estudio de la acústica del local para mejorar la calidad de la misma.

Debido a las condiciones especiales de este local, es sencillo comprender que no obtiene grandes beneficios económicos, por ello no pueden costear ni un estudio por parte de una empresa, ni una reforma grande que suponga un gran desembolso de económico.

Esto condiciona el proyecto, siendo necesario por tanto la realización y el estudio de 2 propuestas, una pensada para ser la óptima con los materiales más adecuados para las necesidades acústicas de la sala y

otra mucho más sencilla y económica que solucionaría el problema de una manera efectiva, pero sin alardes.

Además de ello, el proyecto comprende el estudio del aislamiento del local respecto al exterior y al resto de locales, para adecuarse a los mínimos exigidos por la ley.

Para llegar a las conclusiones anteriores y desarrollar las mismas, previamente se procedió a la realización de las mediciones sonoras y cálculos que se detallan a continuación.

## 1 Estudio previo de las condiciones de la sala

Al acceder a la sala lo primero que se aprecia es una ausencia total de materiales absorbentes, causa de la excesiva reverberación. La forma de la sala es altamente irregular, lo que no ayuda en absoluto a una distribución uniforme del sonido. La cantidad de pilares es enorme, lo que perjudica las visuales y el paso del sonido.

En todo el techo y mitad de la pared hay un proyectado de fibra de vidrio recubierta de yeso ensanchado en la zona superior de los pilares (como si fuera un ábaco), y pintado imitando el aspecto de un árbol. El propósito de ello es meramente aislante, ya que la cara vista es yeso y no la fibra de vidrio.



Suelo	Gres porcelánico
Paredes y pilares	Zócalo piedra y revestimiento de yeso
Pared tras escenario	Textil moqueta
Techo	Revestimiento de yeso
Puertas interiores	Madera
Puerta fachada	Cristal
Barra	Mármol



*Figura 4. Pilares delante escenario, aspecto árbol*



*Figura 5. Foto vista desde el escenario*

### *Opiniones de los usuarios.*

Habiendo preguntado a muchos usuarios de la sala, todos coinciden en que la sala “no se escucha bien”. Los espectadores no están conformes con el sonido que se recibe y los músicos expresan que no son capaces de oírse claramente porque se genera ruido continuamente.

En palabras de Manolo Cascales, baterista profesional: “El sonido parece rebotar en las paredes y amplifica los agudos”.

Todos coinciden también en afirmar, que cuando la sala se llena de público, el sonido mejora notablemente. Algo que es completamente lógico, puesto que si estamos hablando de un problema con el reverberación y las reflexiones laterales, el público al ser absorbente atenúa algo este problema.

## 2 Proceso de mediciones y cálculo

Para poder proceder a proponer mejoras, hay que traducir la mala percepción sonora que reciben los oyentes y músicos en datos, para ello, se hace uso de los siguientes instrumentos:

- Sonómetro integrador Brüel & Kjaer Mediator 2238
- Fuente sonora Brüel & Kjaer modelo Sound Source Type 4224
- Micrófono de condensador aleatoria Brüel Kjaer 4189 H-41
- Software “Dirac” instalado en un ordenador portátil.

### 2.1 Medición de la calidad acústica de la sala.

Los parámetros que resultan más interesantes para determinar la calidad de la sala son los tiempos de reverberación T10, T20 y T30, el EDT, el STI tanto de voz masculina como femenina y el C80. Para la medición de los distintos parámetros que determinan la calidad de la sala.

Para la medición de estos parámetros se utilizan de los aparatos ya mencionados, la fuente sonora, el software Dirac y el micrófono. El proceso consiste en seleccionar un número de puntos repartidos por la sala acorde al tamaño de la misma (en este caso 21), desde los cuales se medirá un barrido de frecuencias generado por el “Dirac” y emitido por la fuente sonora. El software interpreta el impulso recibido por el micrófono y extrae todos parámetros que son necesarios para la evaluación de la calidad acústica.

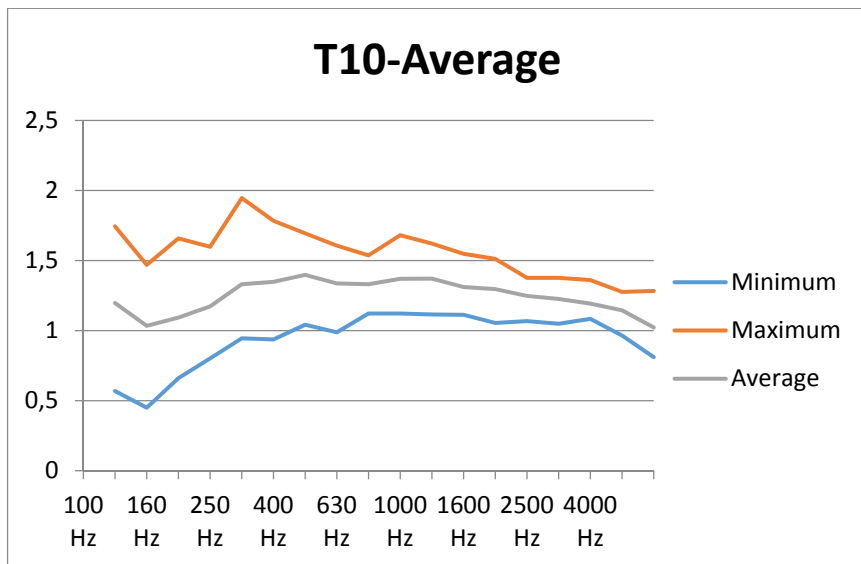


Figura 6. Plano de posiciones para la medición

Con este proceso conseguimos saber la calidad del sonido en cada uno de los puntos de la sala, pudiendo saber así con gran precisión como es la percepción auditiva en cada lugar de la misma. Para los parámetros mencionados anteriormente, los resultados son los siguientes.

*T10*

El T10, mide el tiempo que tarda el nivel sonoro en bajar 10 dB una vez la fuente deja de emitir sonido y lo extrapola al tiempo que demoraría una caída de 60 dB.



*Figura 7. Media, máximos y mínimos T10.*

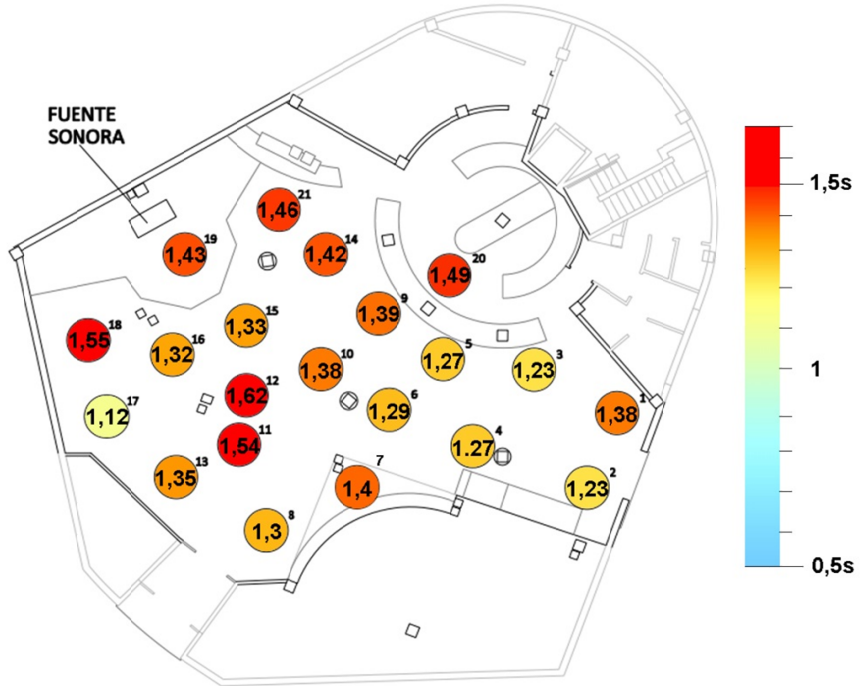


Figura 8. T10 estado actual 1000Hz

T20

El T10, mide el tiempo que tarda el nivel sonoro en bajar 20 dB una vez la fuente deja de emitir sonido y lo extrapola al tiempo que demoraría una caída de 60 dB.

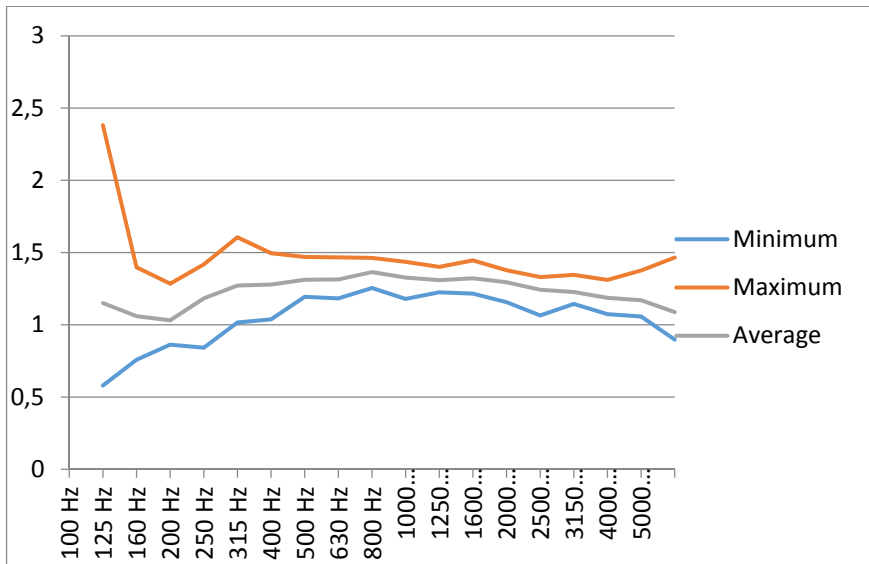


Figura 9. Media, máximos y mínimos T20.

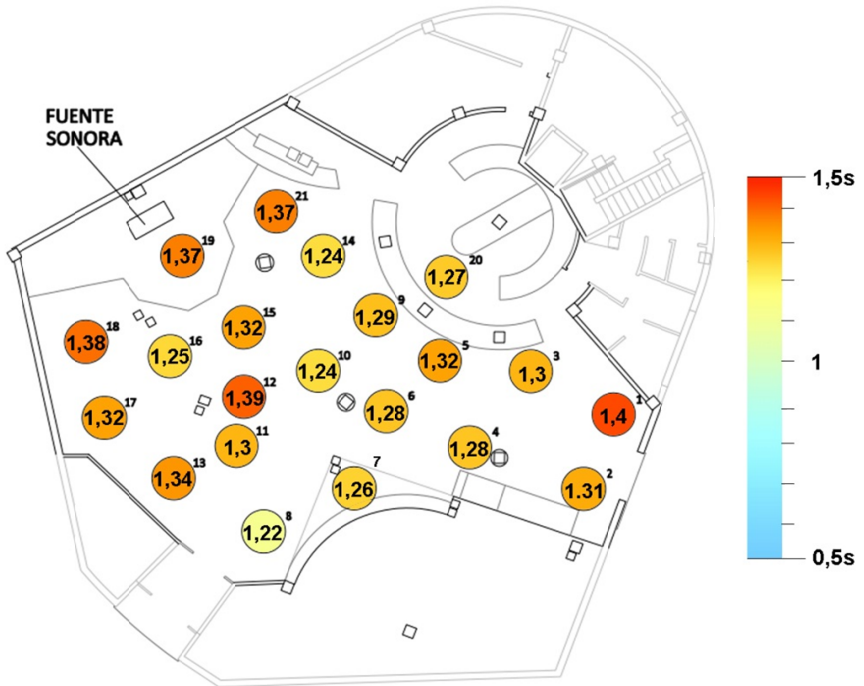


Figura 10. T20 estado actual 1000Hz.



T30

El T30, mide el tiempo que tarda el nivel sonoro en bajar 10 dB una vez la fuente deja de emitir sonido y lo extrapola al tiempo que demoraría una caída de 60 dB.

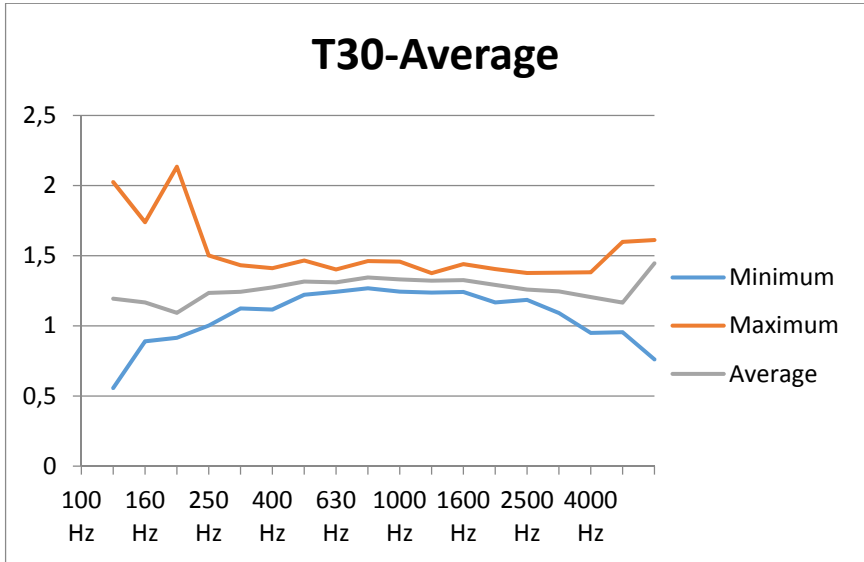


Figura 11. Media, máximos y mínimos T30.

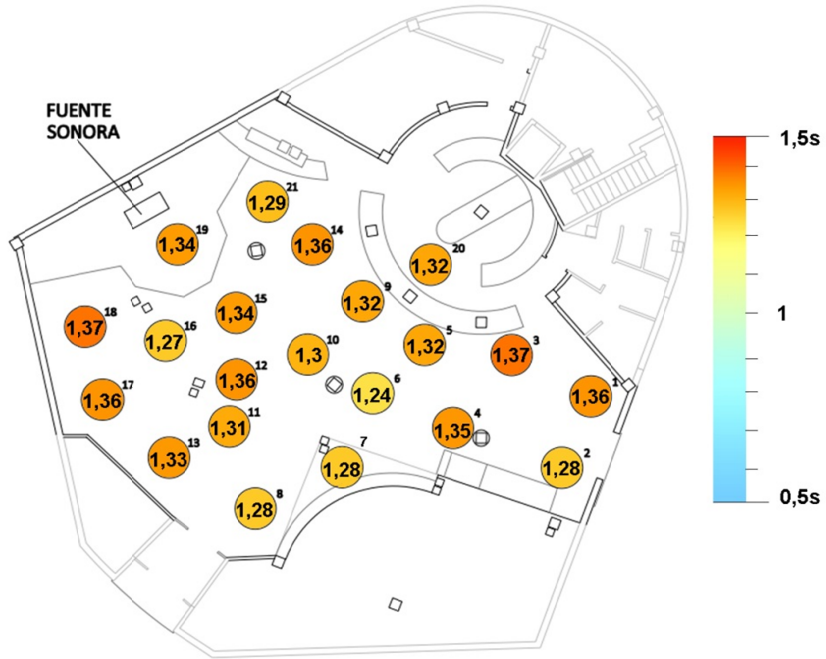


Figura 12. T30 propuesta actual 1000Hz.

*EDT*

El Early Decay time, se considerará como el valor más importante para el estudio de la calidad acústica de una sala, siendo el más representativo de los valores para la percepción auditiva mientras la propia interpretación musical se está realizando. Mide el tiempo de reverberación de los 10 primeros decibelios.

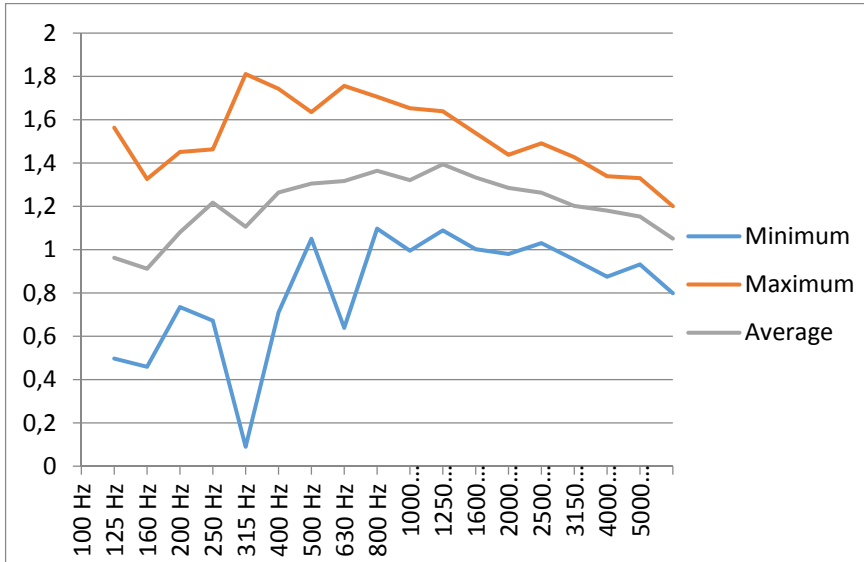


Figura 13. Media, máximos y mínimos EDT.

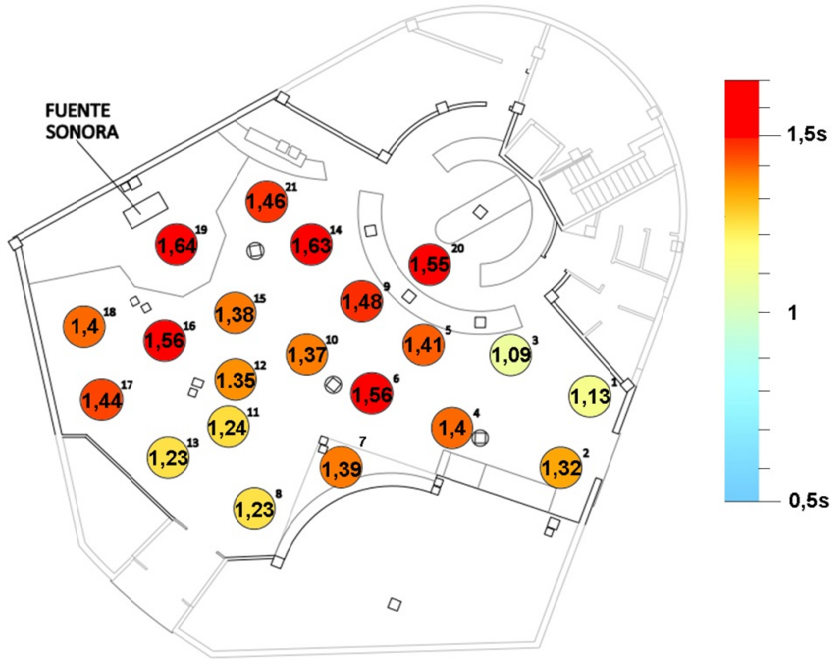


Figura 14. EDT estado actual 1000Hz

C80

Diferencia entre energía recibida en los 80 primeros milisegundos y después de los primeros 80 milisegundos. Mide el brillo de la sala.

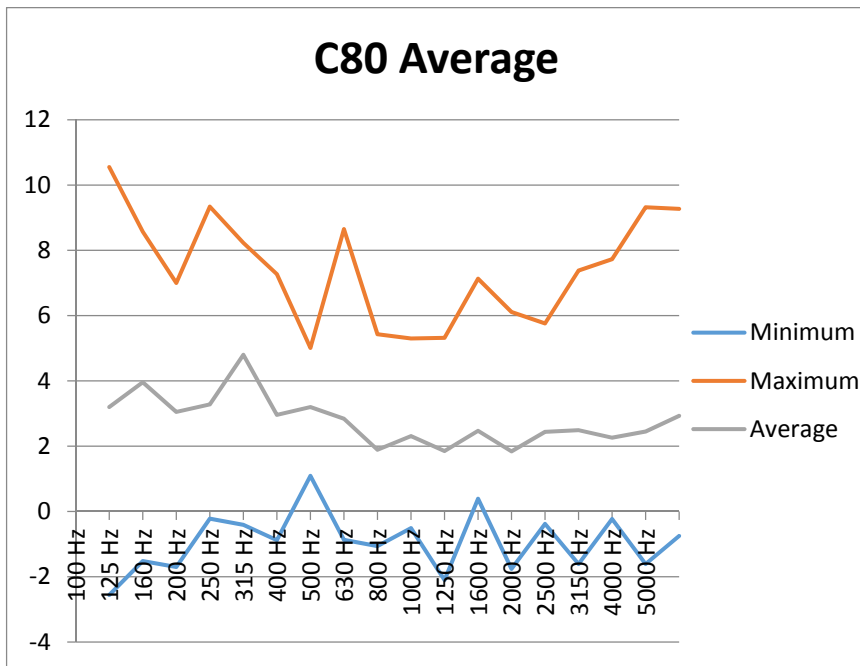


Figura 15. Media, máximos y mínimos C80.

*STI Male*

Mide la inteligibilidad de la voz masculina dentro de la sala. Se expresa con valores comprendidos entre 0 y 1, siendo 0 e menor grado de comprensión en la voz y 1 una claridad total.

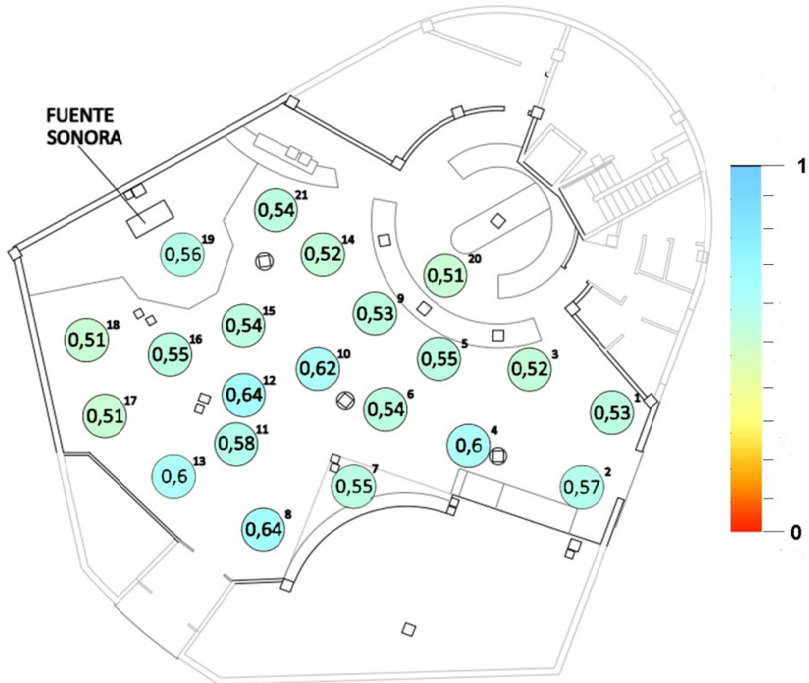


Figura 16. STI Male en cada punto de la sala.

*STI Female*

Mide la inteligibilidad de la voz femenina dentro de la sala. Se expresa con valores comprendidos entre 0 y 1, siendo 0 e menor grado de comprensión en la voz y 1 una claridad total.

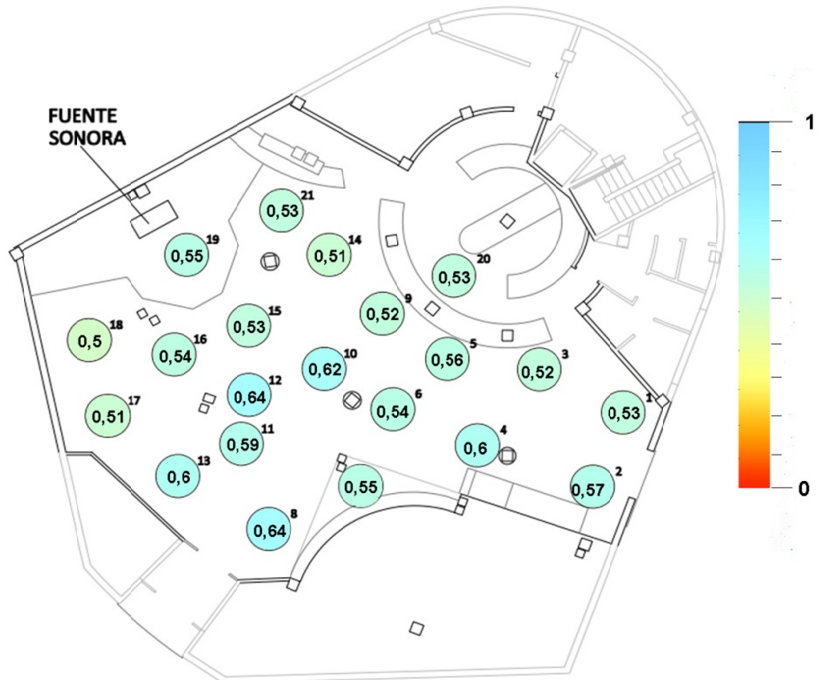


Figura 17. STI Female en cada punto de la sala.

### Curvas NC

Las curvas NC sirven para medir el confort acústico de una sala, evaluando el ruido de fondo. Se expresan en decibelios para cada una de las frecuencias. Encuadrando las mediciones realizadas en el sonómetro, podemos evaluar si el nivel sonoro del ruido de fondo es adecuado para la sala.

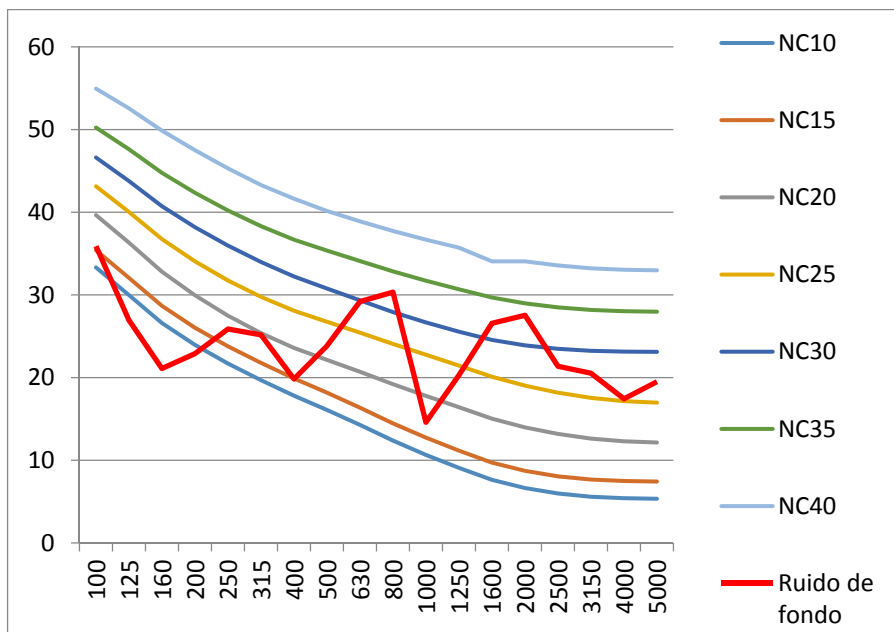


Figura 18. Curvas NC

Podemos observar que la curva del ruido de fondo se adapta dentro de la NC35. Por ser la única cuyo nivel no supera en ninguna frecuencia.



## 2.2 Conclusiones de la medición

Una vez realizadas las mediciones y extraídos los datos utilizando el Dirac, se observa un tiempo de reverberación excesivamente alto en todas las posiciones de la sala (como se puede observar en los ecogramas representados en las imágenes, para cada uno de los distintos parámetros) con valores que rondan los 1,4 segundos llegando incluso a los 1,6 segundos. Considerando el uso al que se destina la sala, este valor resulta elevado, puesto que un tiempo de reverberación adecuado en este caso debería ser aproximadamente de 0,7-0,8 segundos. Esta alta reverberación, influye también en el STI, haciendo muy baja la inteligibilidad de la voz, como también se puede observar en las imágenes anteriores.

La C80 de la sala es buena, ya que la media de la misma se encuentra siempre por encima de 1. Lo cual es normal, considerando el tamaño más bien pequeño de la sala.

En cuanto a las Curvas NC, nos encontramos con un NC35 según las mediciones realizadas. Teniendo en cuenta que la curva recomendada para salas de conciertos está encuadrada entre NC15 y NC25, podríamos decir que el ruido de fondo resulta inadecuado. En el apartado 4 de aislamiento acústico, se analizan las deficiencias en el aislamiento del recinto, que pueden ser la causa de los altos valores registrados por el sonómetro para el ruido de fondo y se analizan también como corregirlos.

Por tanto se considera que la sala no resulta adecuada actualmente para ofrecer una experiencia satisfactoria en representaciones musicales. Sin embargo, la reverberación de la misma, no es tan alta como para producir la sensación de incomodidad que describen tanto músicos como espectadores. Por tanto se plantea la posibilidad que uno

de los problemas de la sala sea por reflexiones laterales, cuyo impacto en el sonido se propone a corregir en los siguientes apartados.

### 3 Propuestas de mejora acústica interior

Una vez analizados los parámetros que identifican los motivos del mal sonido dentro de la sala, se procede a buscar la manera de mejorar la acústica por medio de una reforma. De los distintos parámetros que influyen en la calidad de una sala (geometría, volumen, materiales, etc.), solo resulta viable cambiar los materiales y su influencia en el sonido debido a la absorción de los mismos.

Para el estilo de la sala, para el cual se utilizan equipos de apoyo electroacústico, la sala debe ser más bien “seca” entendiendo esto como baja duración del sonido en el aire al finalizar la emisión del foco. Por tanto la forma de corregir esto, es añadiendo absorbente acústico, considerando el techo como el lugar idóneo donde colocarlo, ya que se trata de una gran superficie, en la cual no sufre deterioro debido al paso y trasiego de público. Existen gran cantidad de soluciones de marcas comerciales que ofrecen materiales de revestimiento con un carácter absorbente, en general de un elevado precio. Siendo este un establecimiento que genera pocos beneficios, se considera pues muy adecuado proponer 2 soluciones distintas: una primera adaptándonos a la realidad económica de la sala, esto quiere decir con un coste menor, y una segunda eligiendo los materiales que se podrían considerar más adecuados tanto estética como acústicamente.

Para conseguir modelizar y obtener los parámetros que definen la calidad de cada una de las propuestas, se utiliza un software de simulación acústica, desarrollado por Vicente Gómez Lozano (profesor de la Universidad Politécnica y uno de los tutores del presente proyecto). El programa funciona a través de los planos en 3D del recinto a estudiar, al cual se le agregarán materiales, un foco de emisión y una zona de público. El programa estudia las reflexiones que se producen en

las superficies que delimitan el espacio de la sala, teniendo en cuenta los coeficientes de absorción de cada material y calculando así tanto el EDT, T20 y T30, como los niveles y el C80.

Mediante este proceso, se puede observar la influencia que tendría cada material en el sonido de la sala una vez colocado.

### 3.1 Propuesta 1

Esta primera propuesta, pretende ser tanto la más asequible económicamente, como la más conservadora en cuanto a la estética y el carácter actual del local.

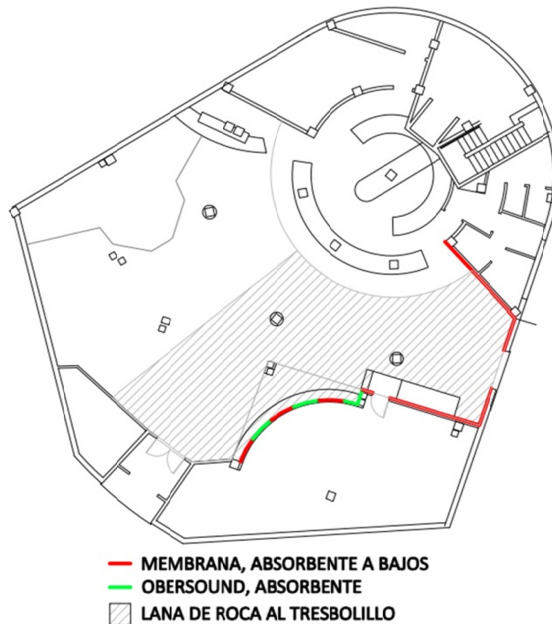
Se pensó como una buena solución colocar una tela anclada a los pilares, detrás de la cual proyectar sobre el techo lana de roca. La lana de roca tiene unas propiedades absorbentes muy altas que no se verían influenciadas por la tela, que taparía el proyectado, dando una apariencia visual más agradable. Se pondría una tela de color verde, que emularía la copa de un árbol y los pilares podrían estar revestidos de madera para dar la sensación de ser un tronco.

En primera estancia, se pensó la posibilidad de que todo el techo al completo estuviera revestido con lana de roca, pero los valores obtenidos con esta configuración daban un EDT de 0,3 segundos en contraste con lo 0,7-0,8 que se pretenden conseguir, lo cual no sería adecuado para la buena calidad de la sala. Tras muchas pruebas, se acaban obteniendo los parámetros deseados en las frecuencias medias y altas colocando la lana de roca al tresbolillo en toda la superficie del techo, excepto en la zona del escenario. Sin embargo, tras un análisis detallado de las posibilidades de materiales, se observó, que a pesar de conseguir en las frecuencias medias y altas los valores que se deseaban,

en 125 Hz la reverberación llegaba a subir hasta los 2 segundos. Esto evidentemente no es deseable.

Por tanto se considera que la mejor opción es colocar una membrana, que absorba a frecuencias bajas en la superficie de la pared que da acceso a la zona de juegos infantil. Combinado con absorbente para evitar las reverberaciones laterales que se comentaban anteriormente, producidas por la forma irregular de la sala.

Una vez modelizados los cálculos usando esta configuración, se obtienen los resultados deseados.



*Figura 19. Esquema propuesta 1*

El hecho de no colocar absorbente en la zona superior al escenario, puede ser beneficioso sobre todo para aquellos músicos que no cuenten con apoyo electro acústico dentro de la sala, como pueden ser bateristas o percusionistas e incluso cualquier instrumento de viento. Esto es debido a que si el techo no es absorbente, el sonido rebota ofreciendo al músico una reflexión temprana de aquello que toca. Para la buena actuación de un músico, poder oír lo que está tocando es un hecho fundamental.

Suelo	Gres porcelánico
Paredes	Revestimiento de yeso pintado, membrana y Patt topacustic.
Pilares	Revestimiento madera
Techo	Lana de roca sobre tela
Puertas interiores	Madera
Puerta fachada	Puerta acústica (véase apartado 4)
Barra	Marmol

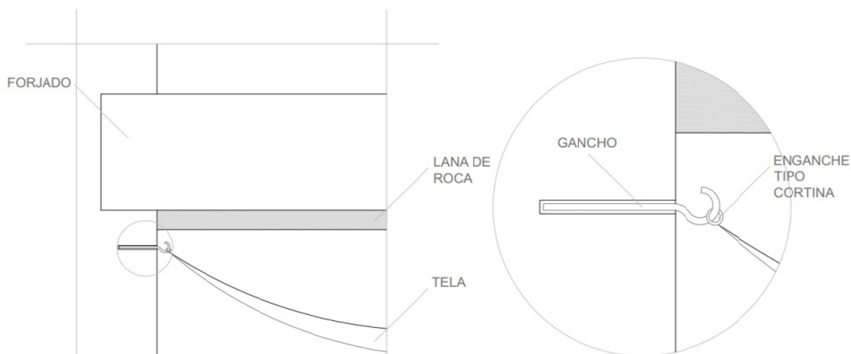
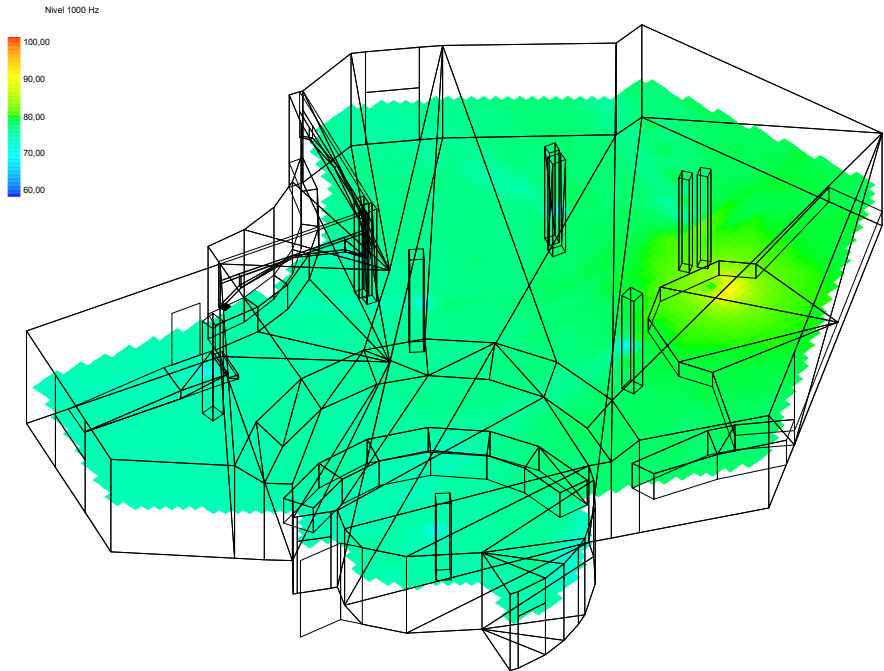


Figura 20. Sujeción cortina

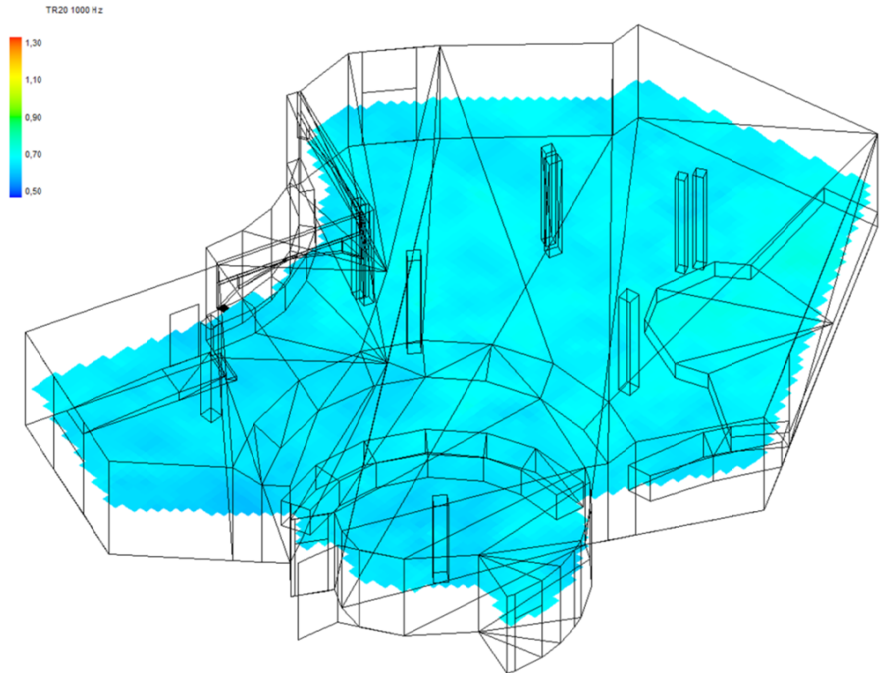
Una vez realizada la simulación acústica con los materiales deseados, los resultados son los siguientes:

*Niveles 1000Hz (dB)*



*Figura 21. Niveles 1000 Hz propuesta 1*

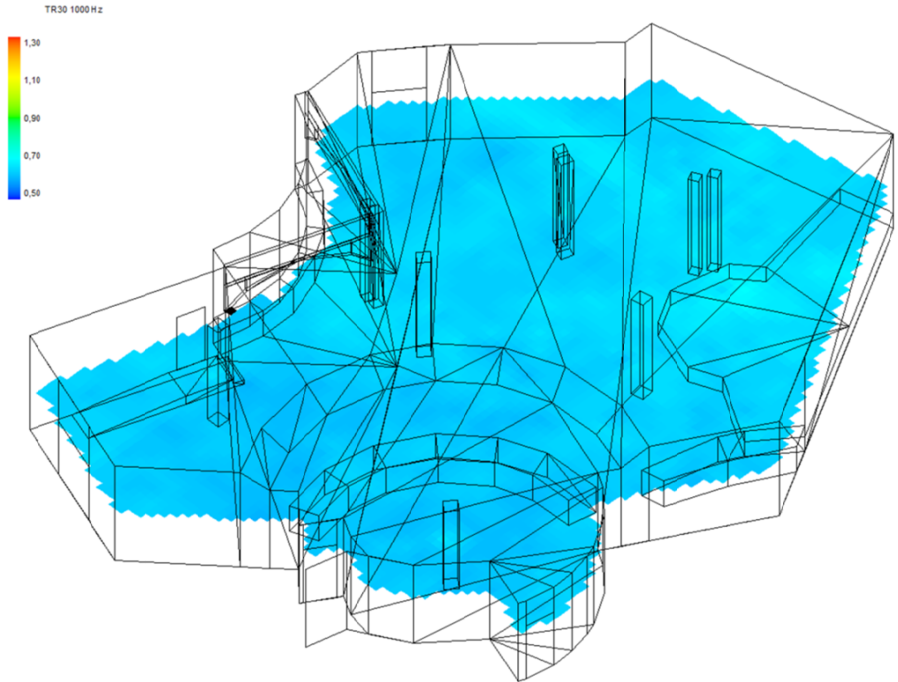
*TR-20 1000Hz (segundos)*



*Figura 22. TR-20 1000 Hz propuesta 1*

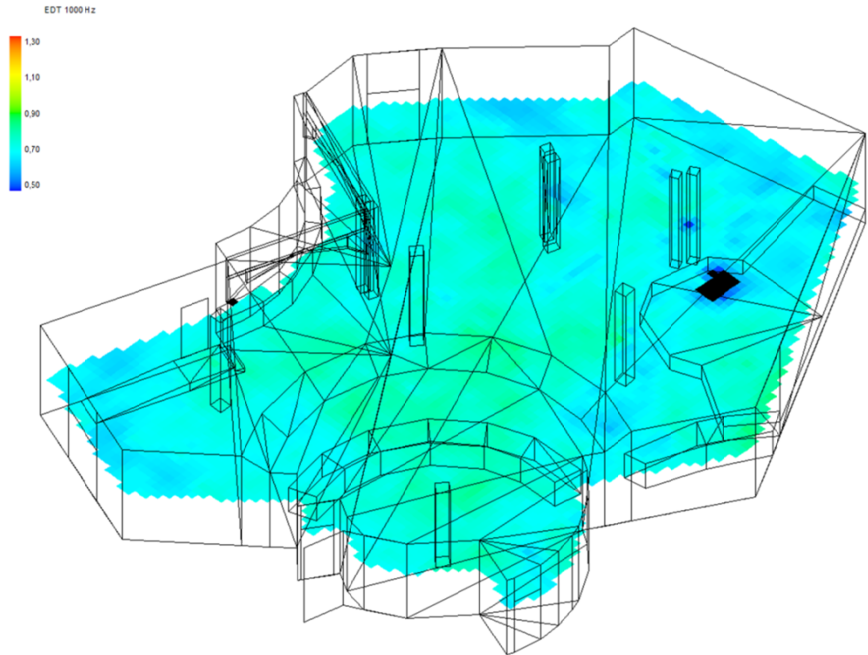


*TR-30 1000Hz (segundos)*



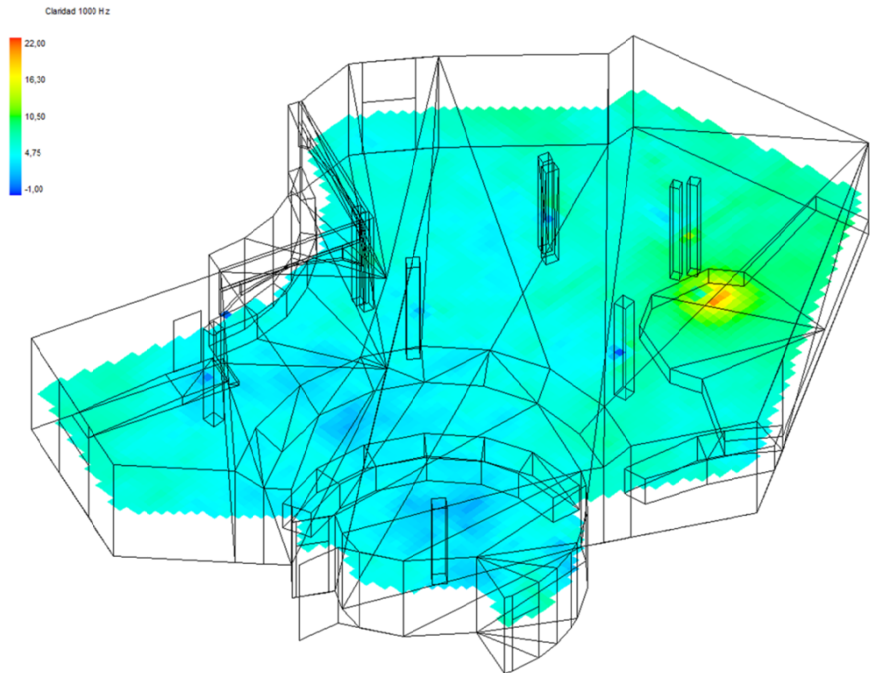
*Figura 23. TR-30 1000 Hz propuesta 1*

*EDT 1000Hz (segundos)*



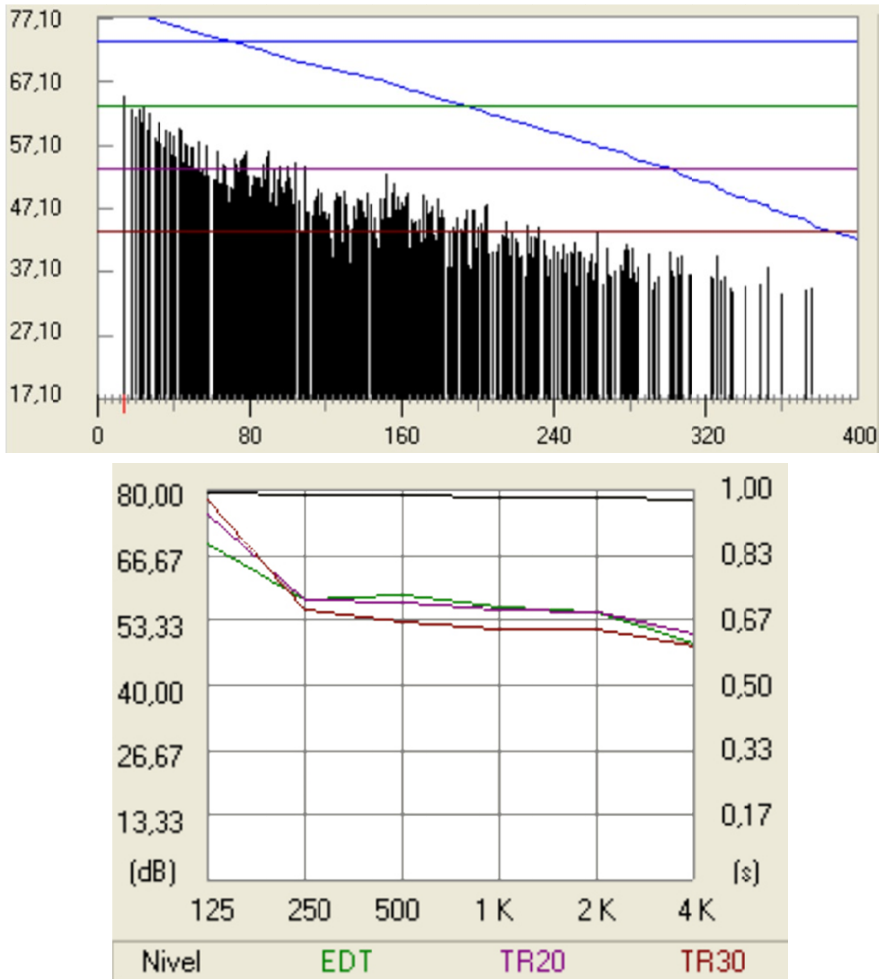
*Figura 24. EDT 1000 Hz propuesta 1*

*C80 1000Hz*



*Figura 25. C80 1000 Hz propuesta 1*

*Ecograma punto central.*



*Figura 26. Gráfica parámetros y ecograma punto central*

### *Interpretación de resultados*

-Reverberación: Los valores del tiempo de reverberación oscilan entre 0,65 segundos en los casos más bajos y 0,8 segundos en los más altos. Estos valores se encuentran dentro de los parámetros que se buscan para un tipo de sala como esta, puesto que el sonido debe ser muy claro y distinguirse muy bien la melodía de cada instrumento o la voz del cantante. Además se utilizan aparatos de amplificación electro acústica, en los cuales se puede añadir reverberación de manera “artificial” en el sistema de sonido.

Claridad: Los valores de C80 son en prácticamente toda la sala muy superiores a cero. Siendo una sala con una alta claridad.

Ecograma: En el ecograma se puede apreciar que la separación entre las reflexiones no es alta, por lo que el problema de reflexiones laterales parece estar resuelto.

*Renders*



*Figura 27. Render 1 Propuesta 1*



*Figura 28. Render 2 Propuesta 1*



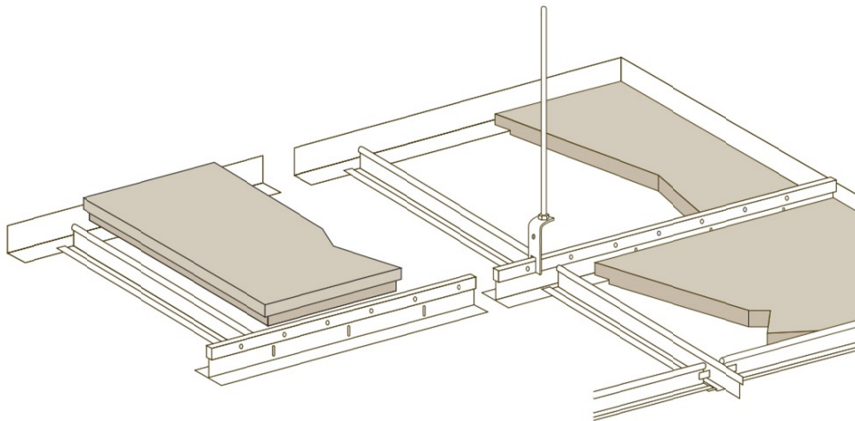
*Figura 29. Render 3 Propuesta 1*



*Figura 30. Render 4 Propuesta 1*

### 3.2 Propuesta 2

Para esta segunda propuesta, se busca un grado de perfeccionamiento mayor que en la anterior, buscando acabados de mayor calidad y un diseño más cuidado. Para techo se utiliza la solución comercial Ekosound Microsound de la marca Oberflex, que ofrece unas altas prestaciones de absorción de sonido para el techo. Al igual que en la primera solución, tras varias pruebas, se considera suficiente con colocar el techo a tresbolillo. Esta solución, presenta un acabado de madera, con perforaciones, detrás de la cual existe un material absorbente, por lo que aquellas placas que no deban ser absorbentes simplemente no tendrán el material absorbente detrás.



*Figura 31. Colocación Ekosound*



Perforations rondes 8x16

<b>Diámetro</b>	8 mm
<b>Separación (E)</b>	16 mm
<b>Porcentaje perforaciones</b>	18,9% / m <sup>2</sup>

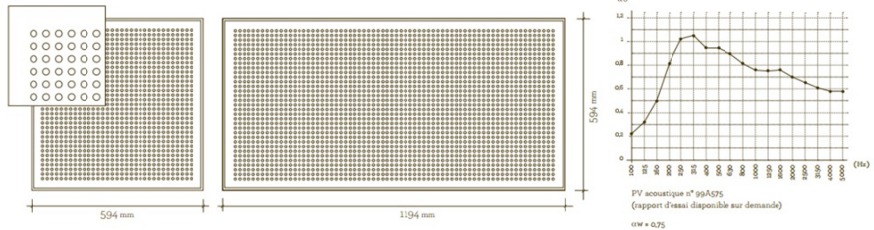


Figura 32. Características Ekosound

Para las paredes, inicialmente se consideró la posibilidad de colocar algún material absorbente, pero como ya se ha dicho, resultó no ser adecuado ni necesario para la sala añadir más absorbente. Por lo que se opta por colocar un revestimiento de madera.

Sin embargo, al igual que en la solución anterior, tras un análisis detallado de las posibilidades de materiales, se observó, que a pesar de conseguir en las frecuencias medias y altas los valores que se deseaban, en 125 Hz la reverberación llegaba a subir hasta los 2 segundos. Lo cual no se considera deseable.

Por tanto se decide que la mejor opción es colocar una membrana que absorba a frecuencias bajas en la superficie de la pared que da acceso a la zona de juegos infantil. La manera de llevarlo a cabo, será utilizar el mismo tipo y color de madera para toda la sala, pero en la zona en la que se pretende colocar membrana y absorbente crear una cámara de 8cm tras la madera y colocar lana mineral. En los lugares en los cuales se pretende que sea absorbente se perforará la madera. En los que se quiere que sea membrana y solo absorba a bajos, se dejará sin perforar.

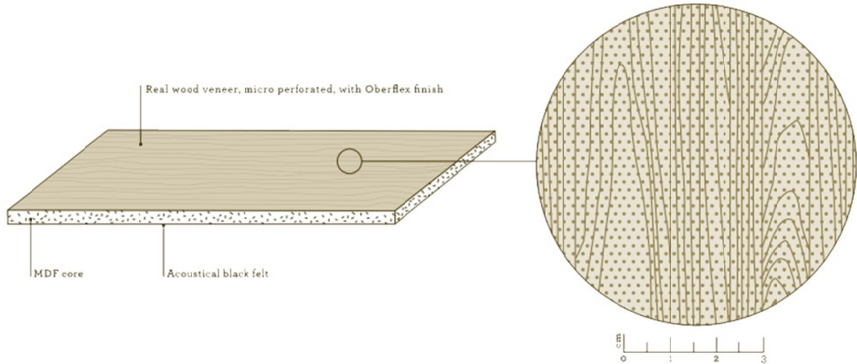


Figura 33. Panel Oberflex

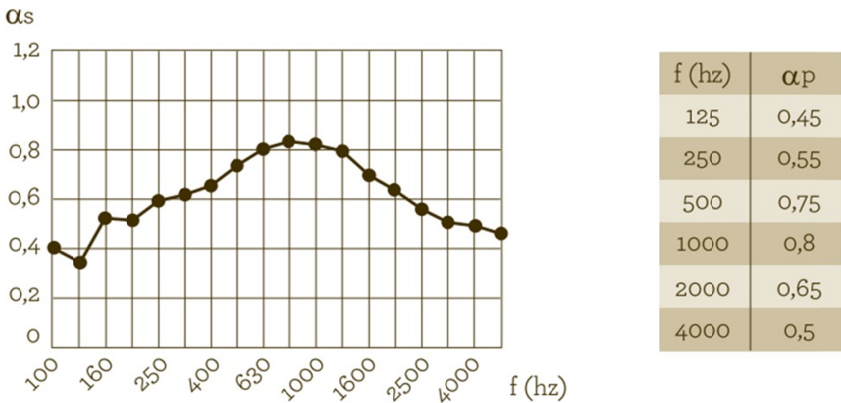


Figura 34. Características Oberflex

El suelo se cambiará también, sustituyendo las actuales piezas de gres porcelánico, por otras nuevas, también de gres, acordes al aspecto de la propuesta.

Además de lo anteriormente descrito, se demuelen los arcos colocados en frente de la barra. Estos arcos no tienen ninguna función estructural y se considera que no están acorde a la estética de esta propuesta.

Suelo	Gres porcelánico
Paredes y pilares	Madera fijada sólidamente, membrana y Obersound
Techo	Ekosound Microsound
Puerta entrada	Vestíbulo con doble puerta (véase apartado 4)
Puertas interiores	Madera
Salida de emergencia	Puerta acústica (véase apartado 4)

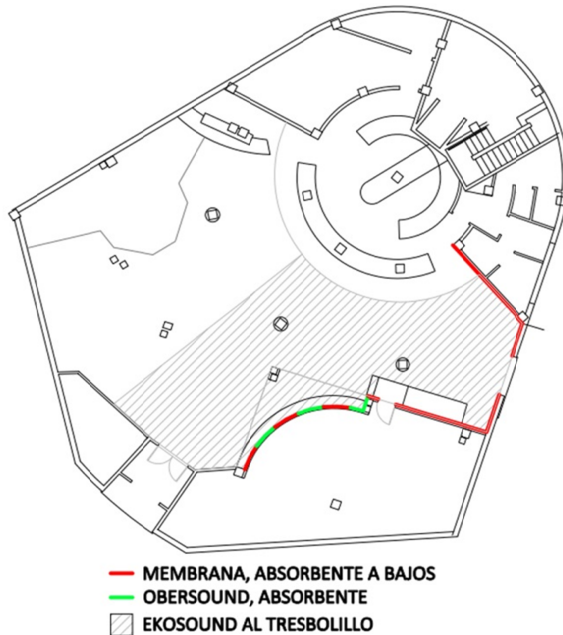
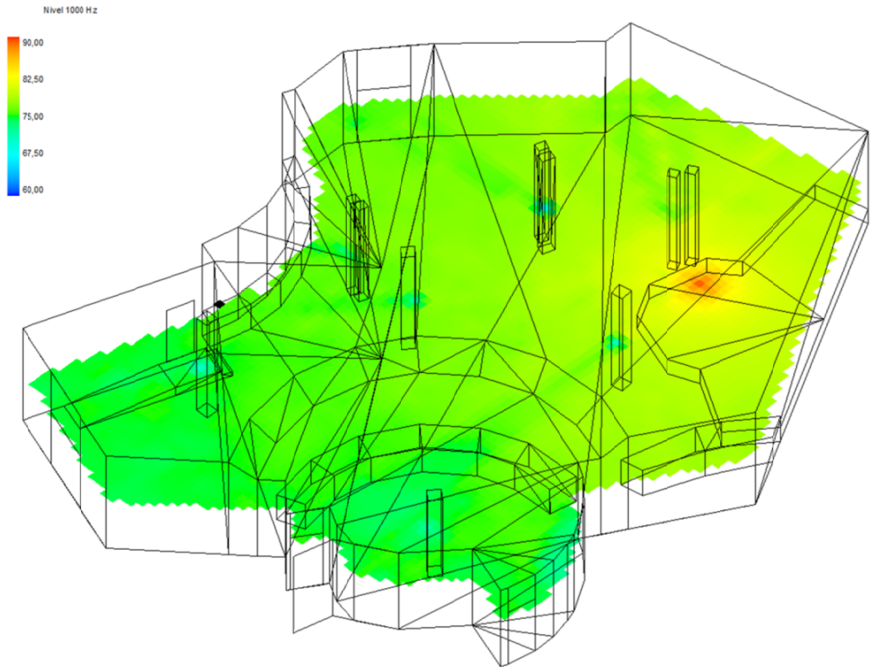


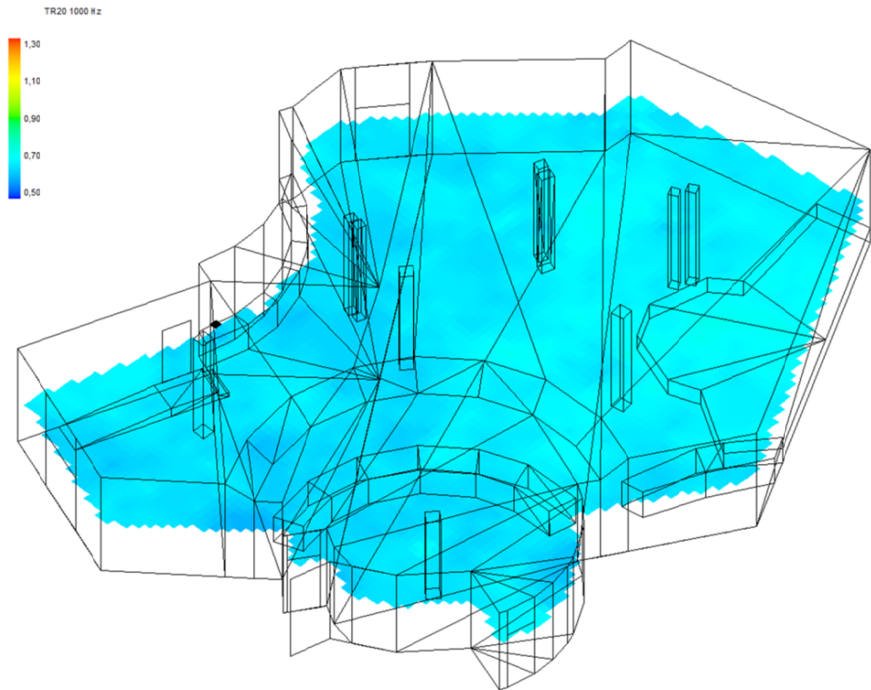
Figura 35. Colocación Oberflex y membrana

*Niveles 1000Hz (dB).*



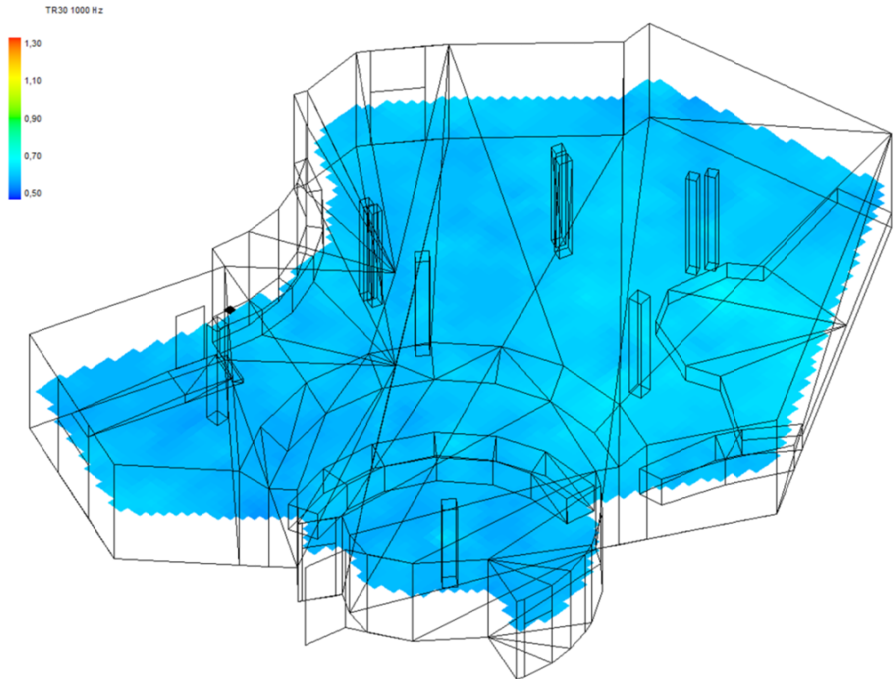
*Figura 36. Niveles 1000 Hz propuesta 2*

*TR-20 1000Hz (segundos).*



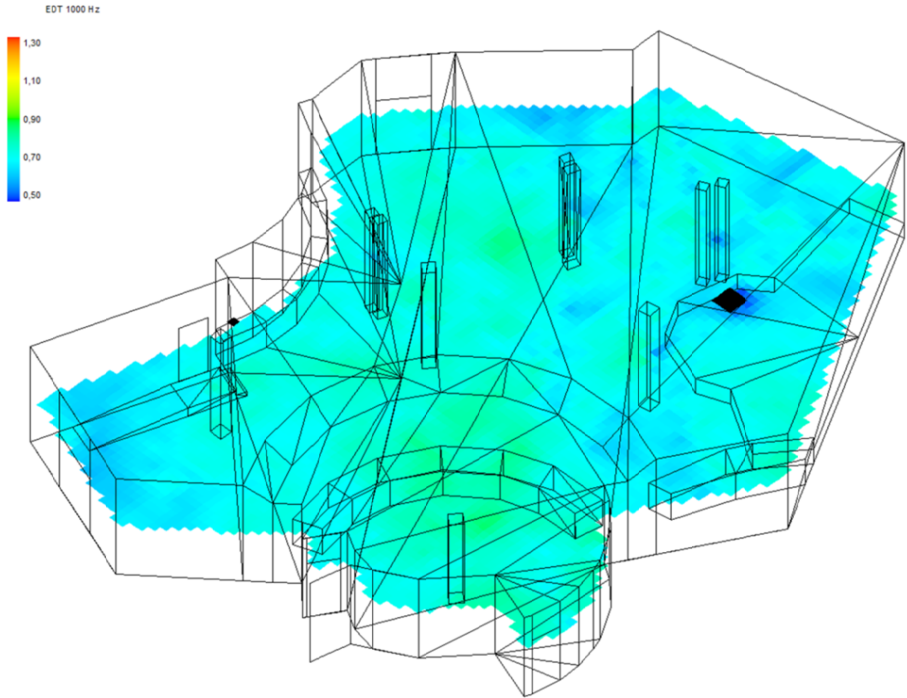
*Figura 37. TR-20 1000 Hz propuesta 2*

*TR-30 1000Hz (segundos).*



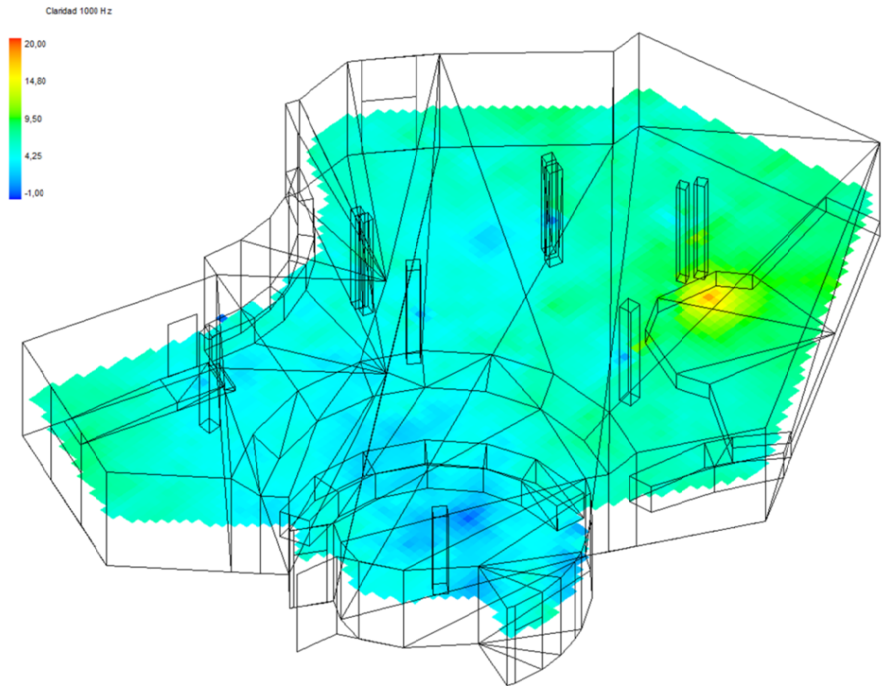
*Figura 38. TR-20 1000 Hz propuesta 2*

*EDT 1000Hz (segundos).*



*Figura 39. EDT 1000 Hz propuesta 2*

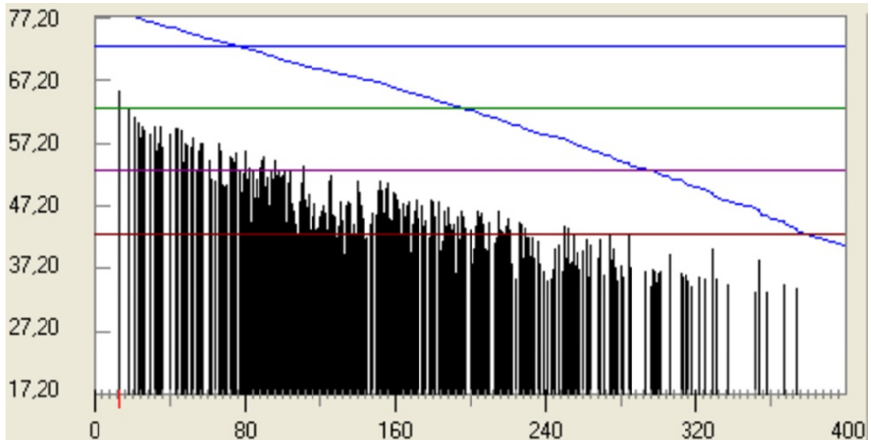
*C80 1000Hz.*



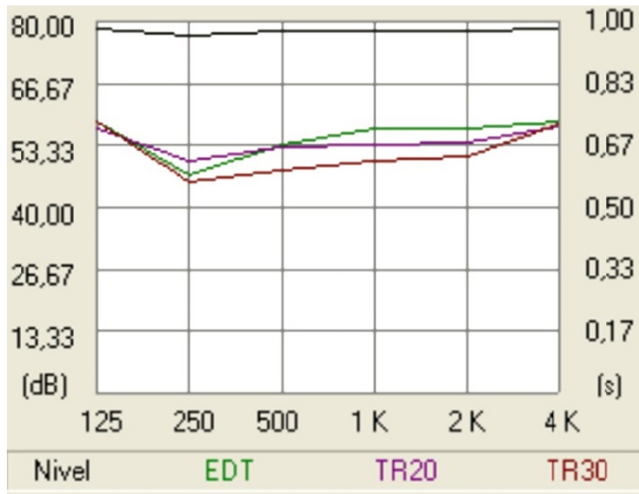
*Figura 40. C80 1000 Hz propuesta 2*



*Ecograma punto central.*



*Figura 41. Ecograma punto central propuesta 2*



*Figura 42. Gráfica parámetro y ecogramas punto central*

### *Interpretación de resultados.*

-Reverberación: Los valores del tiempo de reverberación oscilan entre 0,65 segundos en los casos más bajos y 0,8 segundos en los más altos. Estos valores se encuentran dentro de los parámetros que se buscan para una sala de estas características, puesto que el sonido debe ser muy claro y distinguirse muy bien la melodía de cada instrumento o la voz del cantante. Además se utilizan aparatos de amplificación electroacústica, en los cuales se puede añadir reverberación de manera “artificial” en el sistema de sonido, como ya está reflejado en la anterior propuesta.

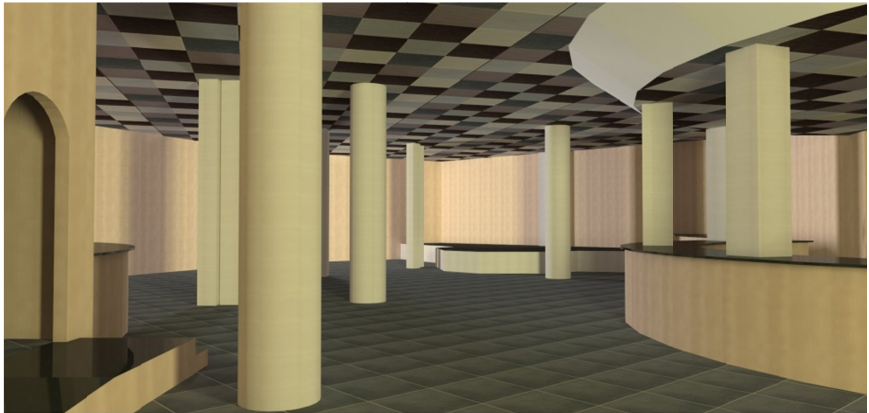
Claridad: Los valores de C80 son en prácticamente toda la sala muy superiores a cero. Siendo una sala con una alta claridad.

Poniendo de manifiesto, que la elección de una solución sobre la otra, responde más que a cualquier otra cosa a un gusto estético o al deseo de unos acabados de mayor calidad.

*Renders.*



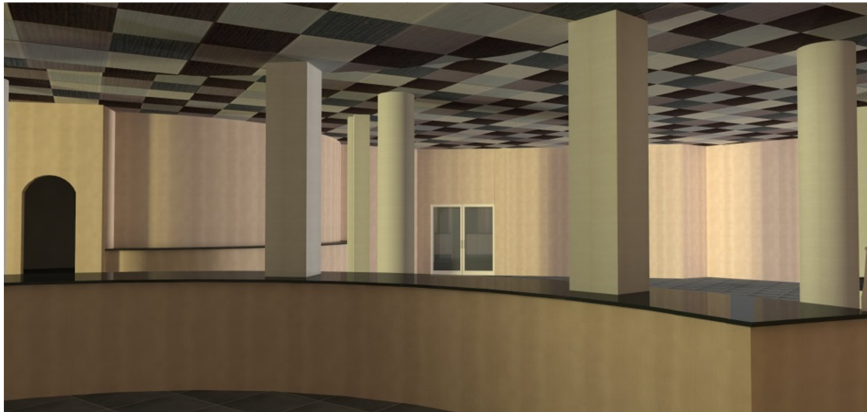
*Figura 43. Render 1 Propuesta 2*



*Figura 44. Render 2 Propuesta 2*



*Figura 45. Render 3 Propuesta 2*



*Figura 46. Render 4 Propuesta 2*

## 4 Aislamiento acústico

Uno de los puntos fundamentales a considerar en una sala destinada a actuaciones en directo es el aislamiento. No solo para no molestar en el exterior, sino también para no recibir un alto nivel de decibelios del exterior, que pueda molestar tanto para las actuaciones como para otras actividades que se realicen en el recinto. Las leyes que regulan esto son:

-DB HR del CTE.

-Ley 7/2002 del 3 de diciembre de la Generalitat Valenciana

-Decreto 266/2004 de 3 de Diciembre

-Decreto 104/2006 de 14 de Julio

Debido a que Sagunto no tiene un mapa de ruido (se encuentra en elaboración), las regulaciones que determinan el nivel sonoro exterior vendrán determinadas por estas leyes, acordes a la zona en la que se encuentre el recinto, en este caso industrial.

Según el Artículo 12.1 de la Ley 7/2002:

*“Ninguna actividad o instalación transmitirá al ambiente exterior niveles sonoros de recepción superiores a los indicados en la tabla 1 del anexo II en función del uso dominante de la zona.”*

En la tabla 1 del Anexo II, se especifica que para zona industrial, como es el caso en el cual nos encontramos, durante el día, el nivel máximo a transmitir es de 70 dBA y durante la noche de 60 dBA.

Según el Artículo 39 punto “a”, de esta misma ley, el grado de emisión sonora es:

*“Salas de fiestas, discotecas, tablaos y otros locales autorizados para actuaciones en directo: 104 dBA”*

Por tanto, para que no se produzcan emisiones al exterior de más de 60 dBA, la fachada deberá garantizar un aislamiento de 44 dBA.

Según el punto 2.1.1 del DB HR del CTE:

Protección frente al ruido generado en recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso:

*“I) Protección frente al ruido generado en recintos pertenecientes a la misma unidad de uso en edificios de uso residencial privado:*

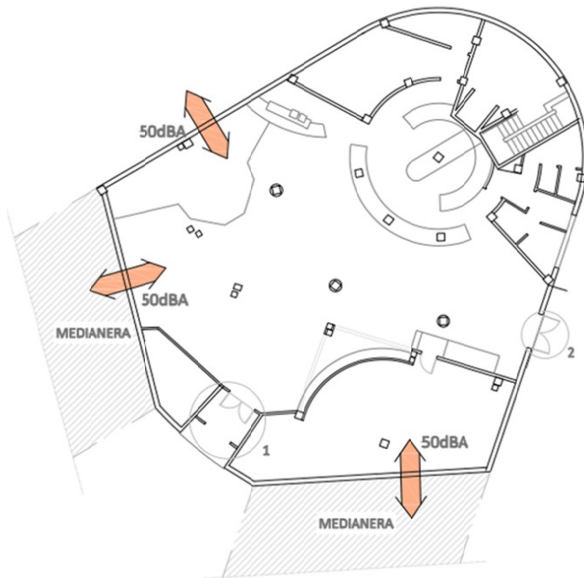
*-El índice global de reducción acústica, ponderado A, RA, de la tabiquería no será menor que 33 dBA.*

*II) Protección frente al ruido generado en recintos no pertenecientes a la misma unidad de uso:*

*-El aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{nT,A}$ , entre un recinto protegido y cualquier otro recinto habitable o protegido del edificio no perteneciente a la misma unidad de uso y que no sea recinto de instalaciones o de actividad, colindante vertical u horizontalmente con él, no será menor que 50 dBA, siempre que no compartan puertas o ventanas.”*

Por tanto el aislamiento de las particiones entre la sala y el resto de estancias del local no será menor a 33 dBA y entre las medianeras y los locales colindantes el aislamiento debe ser de 50 dBA.

*Estado actual del aislamiento.*



1.-En la entrada principal, encontramos un vestíbulo independizador, entre la sala y el exterior, pero uno de los huecos no está cubierto por una puerta, y la otra no se encuentra en un estado correcto.

2.-En la salida de emergencia, tenemos una puerta de chapa metálica hueca.

3.-El cerramiento y las medianeras, están compuestas ambas por una fábrica de ladrillo perforado revestido con un enlucido de yeso, un enfoscado de mortero hidrófugo, una cámara de 2 cm, una hoja interior de ladrillo, una capa de fibra de vidrio proyectada y un enlucido de yeso sobre ella. Todo ello garantiza más de 50 dBA de aislamiento según el CEC de CTE

*Figura 47. Estado actual del aislamiento*

Como se puede observar en la imagen, a través de las fachadas y medianeras, el edificio cumple con el aislamiento exigido por las normativas anteriormente expuestas. Cumple también a través de cubierta.

El problema, se presenta en las entradas al edificio, que son los únicos huecos al exterior, puesto que en la entrada principal falta una de las puertas, y la otra no puede garantizar el aislamiento necesario.

Para poder constatar esto con datos, se procede a realizar las mediciones oportunas mediante el sonómetro y la fuente sonora anteriormente especificados.

#### 4.1 Proceso de medición y cálculo del aislamiento

El proceso de medición es el siguiente, acorde a la ISO 140:

Se coloca la fuente generadora de ruido blanco a la máxima potencia posible para el aparato y se procede a medir la intensidad del sonido en decibelios mediante el sonómetro; primero dentro de la sala y luego en el exterior.

Se realizan al menos 5 mediciones en el local emisor, 5 en el exterior con la fuente apagada y 5 en el exterior con la fuente en marcha. Estas mediciones se deben realizar en diferentes puntos, separados entre sí por al menos 0,7 m y 2 m de la fuente sonora.

Con ello, obtenemos unos valores en decibelios del ruido en interior de la sala (L1), en el exterior (L2) y con el ruido de fondo exterior (B2). Estos datos están reflejados en los anejos a este documento en una tabla de Excel.

Posteriormente, se comprueba que todos los valores de B2, son al menos 6 dB más bajos que L2. En caso de no ser así, se realizarán las correcciones siguientes:

Cuando la diferencia entre L2 y B2 esté comprendida entre 6 y 10:

$$L = 10 \lg \left( 10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10} \right) dB$$

Cuando L2 supere a B2 en menos de 6 dB, la norma dice lo siguiente:



*“Si la diferencia de niveles es menor o igual a 6 dB en cualquiera de las bandas de frecuencia, utilice la corrección 1,3 dB correspondiente a una diferencia de 6 dB. En este caso, en el informe se indicará claramente que los  $D_n$ ,  $D_{nT}$  o  $R'$  dados son un límite de la medición.”*

Una vez corregido L2 y obtenido L2C, calculamos la absorción sonora por unidad de superficie en Sabines, utilizando la fórmula de Sabine

$$A = 0,161 \times \frac{V}{T}$$

Se continúa restando L1 y L2C, obteniendo la diferencia de nivel corregida (D). Y posteriormente se calcula la diferencia de niveles estandarizada con la siguiente expresión:

$$D_{nt} = D + 10\log(T^2/0,5)$$

De esa manera obtenemos ya  $R'$ , que será el aislamiento por frecuencias de nuestro cerramiento. Una vez hecho, lo comparamos con la referencia de la norma ISO 717 ajustada a 500 Hz.

Por último comparamos los datos obtenidos con la curva de referencia que se encuentra en la ISO 717-1 y la ajustamos al valor de D a 500 Hz.

Así, ya se obtiene el índice ponderado de reducción sonora aparente ( $R_w$ ). Para finalizar, se calcula el aislamiento a ruido rosa y a ruido de tráfico (ver tabla de Excel adjunta).

Resultados obtenidos

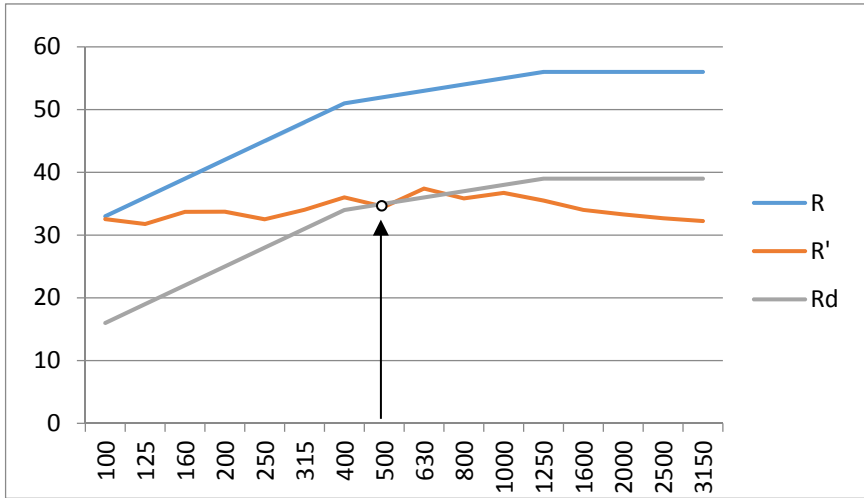


Figura 48. Resultado mediciones aislamiento

Como se puede ver en la gráfica, el  $R_w$  obtenido es de 35 dB. Realizando las ponderaciones necesarias (detalladas en el documento de Excel adjunto) se obtiene el aislamiento a ruido rosa y a ruido de tráfico. Quedando de la manera siguiente:

$$R_w = 35(-1, -1) \text{ dB}$$

El aislamiento no cumple con el nivel mínimo exigido de 50 dB

## 4.2 Propuesta de mejora

Para conseguir cumplir la normativa, el máximo de ruido que debe llegar al exterior es 60 dBA, siendo el máximo permitido por la ley 7/2002 de la Generalitat Valenciana. Teniendo en cuenta que el nivel sonoro que contempla la ley para locales con música en directo son 106 dB, los cerramientos deberán garantizar 46 dB. Considerando que el cerramiento ciego de la fachada aísla 50 dBA según el CEC del CTE, el problema en el aislamiento radica en la puerta de entrada y en la salida de emergencia

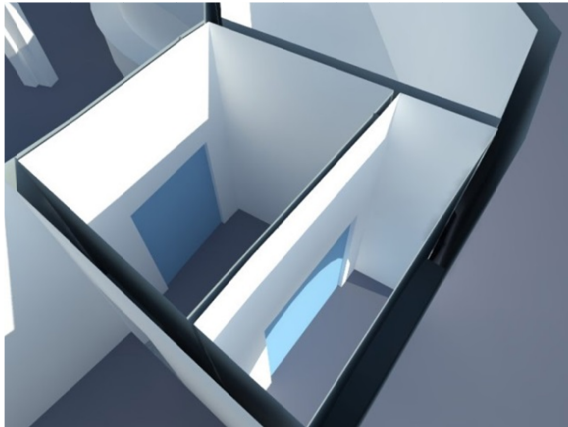
En el caso de la entrada principal, puesto que en uno de los huecos del vestíbulo no se encuentra la puerta y en el otro no se trata de una puerta de buenas propiedades acústicas, la solución pasa por colocar 2 puertas nuevas en los huecos, creando así un vestíbulo, en cuyo techo y paredes se colocará absorbente.

El método de cálculo del aislamiento de vestíbulos es experimental y no existe una manera normalizada de calcularlo. En cualquier caso la experiencia demuestra que es un modo realmente eficaz de aislar acústicamente.

Si el nivel de aislamiento de la solución sin vestíbulo fuera de  $R$ , el nivel de aislamiento se iría acercando a  $2R$  a medida que se mejorase la estanqueidad de los cerramientos vestíbulo y la absorción de los materiales en el interior del mismo. A modo de precaución, tomaremos como valor del aislamiento del vestíbulo  $1,5R$ , siendo  $R$  el aislamiento con una sola puerta. Siendo nuestro aislamiento con una sola puerta de 35 dB:

$$R = 35 \times 1,5 = 52,5 \text{ dB}$$

### **CUMPLE**



*Figura 49. Vista superior vestíbulo entrada*



*Figura 50. Vista inferior vestíbulo entrada*

Para la salida de emergencia, la necesidad, es utilizar una puerta acústica que tenga sistema antipánico y garantice un aislamiento de entre 47 y 40 dBA. Es difícil encontrar puertas de estas características, pero existen ciertas marcas comerciales que lo pueden ofrecer. En este caso se ha tomado como referencia la puerta PM2 de la casa comercial Notson. Que cuenta con la posibilidad de añadir a la puerta la apertura antipánico y garantiza 50 dBA de aislamiento.



*Figura 51. Puerta Notson PM2 con antipánico*

Frecuencia (Hz)	R(dB)
125	35,7
250	40,7
500	43,7
1000	50,8
2000	54,3
4000	52,6
<b>Rw(dB)</b>	<b>50</b>

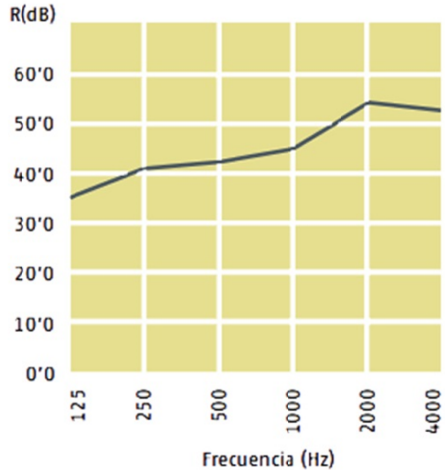


Figura 52. Aislamiento acústico puerta Notson PM2

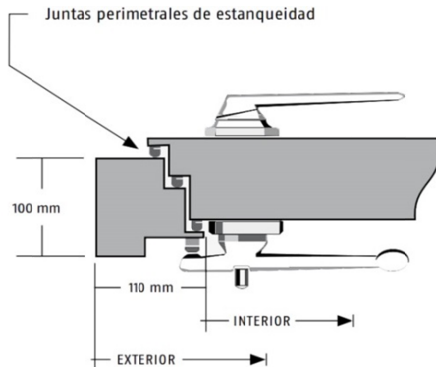
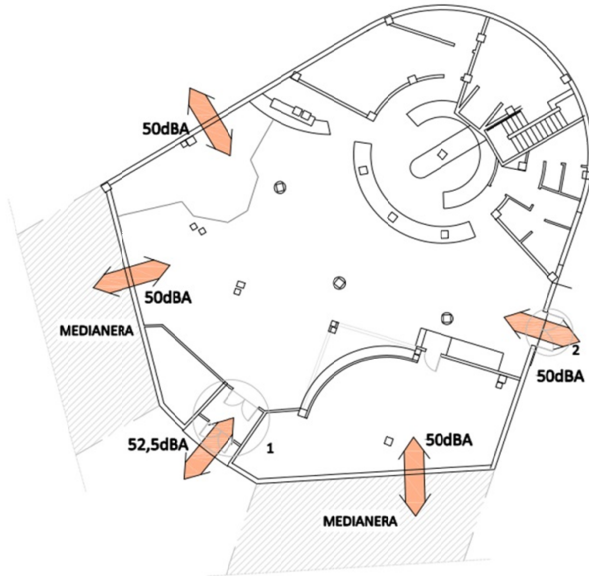


Figura 53. Sistema sellado puerta Notson PM2

Realizando estas mejoras, el aislamiento quedaría de la manera siguiente.



- 1.-Para solucionar la deficiencia de aislamiento acústico en la entrada principal, se coloca 2 puertas, creando así el vestíbulo separador. En el techo del mismo se colocará absorbente. Garantizando así una alta reducción del nivel acústico, superior a 50dB.
- 2.-Se coloca una puerta de la marca Notson, modelo PM2, que asegura un aislamiento acústico de 50 dB

Figura 54. Situación del aislamiento tras la mejora

Hasta este punto, no se ha realizado el cálculo utilizando ninguna herramienta de cálculo del Código Técnico de la Edificación, puesto que el CTE está pensando para proteger los establecimientos del ruido exterior hacia el interior. De cualquier modo, este local debe cumplir la normativa referente a ello también, por tanto se ha rellenado la correspondiente ficha de cumplimiento del DB-HR del CTE utilizando el software de cálculo del mismo, y se encuentra en los adjuntos a este documento. Comprobando efectivamente que cumple tanto con el aislamiento de dentro del local hacia fuera, como de fuera hacia dentro.

## 5 Presupuesto

Los presupuestos detallados, se pueden consultar en el anexo 6 de presupuestos.

### 5.1 Propuesta 1

La propuesta número 1, quedaría con un presupuesto total de **9158,55€**, contando las mejoras necesarias de aislamiento además de los materiales necesarios y la colocación de los mismos.

### 5.2 Propuesta 2

La propuesta número 2, quedaría con un presupuesto total de **34275,46€**, contando, igualmente, las mejoras necesarias de aislamiento además de los materiales necesarios y la colocación de los mismos.



## Capítulo 2.

### Conclusiones

Una vez realizado este proyecto, se pueden extraer múltiples conclusiones. Una de las más importantes, es la necesidad de tener en cuenta la acústica a la hora de proyectar una construcción de nueva planta o una reforma. Este es un aspecto que en muchas ocasiones se queda muy por debajo en la escala de prioridades, siempre superado por la estética y es en ese momento cuando aparecen los problemas, en salas de conciertos o locales de ensayos, que al no haber sido pensados desde el punto de vista de la acústica, a la hora de cumplir su principal cometido, no resultan adecuados para el mismo.

Este proyecto en concreto, representa una ayuda muy importante para personas que no podrían costearse un proyecto de adecuación acústica realizado por una empresa. Teniendo en cuenta que en el “Green Espai” ofrecen no solo conciertos, si no apoyo social a todo aquel que lo necesita en el Puerto de Sagunto. El hecho de que los conciertos se puedan llegar a realizar con una calidad en el sonido de la sala alta, puede suponer una fuente importante de ingresos, que posteriormente se traducirían en mejores servicios para los usuarios de la sala.

La realización de 2 propuestas para la reforma, se ha hecho sabiendo que actualmente, solo es posible llevar a cabo la primera, que supondría unos gastos muchísimo menores para el dueño y serán asumibles para él a corto o medio plazo.

En cuanto al aislamiento, es interesante reflejar, que el CTE está pensado para proteger a los locales del ruido del exterior, pero no para proteger el exterior del ruido de un local de actividad o una sala de conciertos. Por lo que resulta necesario acudir a las leyes autonómicas.

## Capítulo 3.

### Referencias Bibliográficas

AENOR, 1999. *UNE-EN ISO 140: Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción*. Norma UNE. Edn. Madrid.

AENOR, 2013. *UNE-EN ISO 140: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción*. Norma UNE. Edn. Madrid.

AENOR, 2012. *UNE-EN ISO 717: Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción*. Norma UNE. Edn. Madrid.

AENOR, 2012. *UNE-EN ISO 140: Medición de parámetros acústicos en recintos*. Norma UNE. Edn. Madrid.

MINISTERIO DE FOMENTO, 2007. *DB-HR Protección frente al ruido, Código Técnico de la Edificación*.

MINISTERIO DE FOMENTO, 2010. *Catálogo de Elementos Constructivos, Código Técnico de la Edificación*.

PRESIDENCIA DE LA GENERALITAT. 2002. *Llei 7/2002, de 3 de desembre de la Generalitat Valenciana, Protecció contra la Contaminació Acústica*.

CONSELL DE LA GENERALITAT. 2004. *Decreto 266/2004 de 3 de Diciembre. Prevención y corrección acústica en relación con Actividades, Instalaciones, Edificaciones, Obras y Servicios.*

CONSELL DE LA GENERALITAT. 2006. Decreto 104/2006 de 14 de Julio, Planificación y Gestión en materia de contaminación acústica.

# Capítulo 4.

## Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Situación del local .....	5
Figura 2. Entrada al local .....	6
Figura 3. Sección horizontal del local, vista cenital. ....	6
Figura 4. Pilares delante escenario, aspecto árbol .....	9
Figura 5. Foto vista desde el escenario .....	10
Figura 6. Plano de posiciones para la medición .....	12
Figura 7. Media, máximos y mínimos T10. ....	13
Figura 8. T10 estado actual 1000Hz .....	14
Figura 9. Media, máximos y mínimos T20. ....	15
Figura 10. T20 estado actual 1000Hz. ....	16
Figura 11. Media, máximos y mínimos T30. ....	17
Figura 12. T30 propuesta actual 1000Hz. ....	18
Figura 13. Media, máximos y mínimos EDT. ....	19
Figura 14. EDT estado actual 1000Hz .....	20

Figura 15. Media, máximos y mínimos C80. ....	21
Figura 16. STI Male en cada punto de la sala. ....	22
Figura 17. STI Female en cada punto de la sala. ....	23
Figura 18. Curvas NC .....	24
Figura 19. Esquema propuesta 1 .....	29
Figura 20. Sujeción cortina .....	30
Figura 21. Niveles 1000 Hz propuesta 1 .....	31
Figura 22. TR-20 1000 Hz propuesta 1 .....	32
Figura 23. TR-30 1000 Hz propuesta 1 .....	33
Figura 24. EDT 1000 Hz propuesta 1 .....	34
Figura 25. C80 1000 Hz propuesta 1 .....	35
Figura 26. Gráfica parámetros punto central .....	36
Figura 27. Render 1 Propuesta 1 .....	38
Figura 28. Render 2 Propuesta 1 .....	38
Figura 29. Render 3 Propuesta 1 .....	39
Figura 30. Render 4 Propuesta 1 .....	39
Figura 31. Colocación Ekosound .....	40
Figura 32. Características Ekosound .....	41
Figura 33. Panel Oberflex .....	42
Figura 34. Características Oberflex .....	42

Figura 35. Colocación Oberflex y membrana .....	43
Figura 36. Niveles 1000 Hz propuesta 2 .....	44
Figura 37. TR-20 1000 Hz propuesta 2 .....	45
Figura 38. TR-20 1000 Hz propuesta 2 .....	46
Figura 39. EDT 1000 Hz propuesta 2 .....	47
Figura 40. C80 1000 Hz propuesta 2 .....	48
Figura 41. Ecograma punto central propuesta 2 .....	49
Figura 42. Gráfica parámetro y ecogramas punto central .....	49
Figura 43. Render 1 Propuesta 2 .....	51
Figura 44. Render 2 Propuesta 2 .....	51
Figura 45. Render 3 Propuesta 2 .....	52
Figura 46. Render 4 Propuesta 2 .....	52
Figura 47. Estado actual del aislamiento .....	55
Figura 48. Resultado mediciones aislamiento .....	56
Figura 49. Vista superior vestíbulo entrada .....	57
Figura 50. Vista inferior vestíbulo entrada .....	60
Figura 51. Puerta Notson PM2 con antipánico .....	61
Figura 52. Aislamiento acústico puerta Notson PM2 .....	62
Figura 53. Sistema sellado puerta Notson PM2 .....	63
Figura 54. Situación del aislamiento tras la mejora .....	64

## Anexos

*1.-Planos*

*2.-Fotos*

*3.-Gráficas mediciones acústicas*

*4.-Mapas simulación acústica*

*5.-Cálculos aislamiento*

*6.-Presupuesto*

*7.-Catálogos comerciales*