



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



PROYECTO FINAL DE GRADO:

**ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE UN
AUDITORIO EXISTENTE EN VALENCIA**

ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
DIRECTOR ACADÉMICO: IGNACIO GUILLÉN GUILLAMÓN
CURSO 2010/2011



ÍNDICE

- **INTRODUCCIÓN**
 - **Criterios generales**

- **PARTE I: AUDITORIO**
 - **Capítulo 1:**
 - Introducción al acondicionamiento acústico
 - Parámetros acústicos
 - Parámetros subjetivos y objetivos de la calidad de las salas
 - Parámetros básicos relacionados con el escenario y la orquesta
 - Posibles anomalías asociadas a las salas de conciertos
 - Música de cámara
 - Reseña histórica
 - Resumen de los valores recomendados de los parámetros acústicos asociados a salas de conciertos
 - **Capítulo 2:**
 - Diseño:
 - Diseño
 - Visuales
 - 1ª reflexiones
 - Superficies
 - volumen
 - **Capítulo 3:**
 - Materiales
 - Aplicación de los materiales
 - Solución
 - **Capítulo 4:**
 - Conclusión

- **PARTE II: ANEXOS**
 - **Anexo 1:** aislamiento acústico
 - **Anexo 2:** ficha Mono Acoustic
 - **Anexo 3:** tabla y gráfica acondicionamiento acústico



- **PARTE III: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA**

- **Situación de partida:**

- Plano nº 1,2,3: situación de partida

- **Visuales:**

- Plano nº 4: diseño sala Planta Baja
- Plano nº 5: diseño sala visuales Planta Baja
- Plano nº 6: diseño sala Planta Primera
- Plano nº 7: diseño sala visuales Planta Primera

- **Primeras reflexiones:**

- Plano nº 8: reflexiones primera fila en la zona posterior al escenario
- Plano nº 9: reflexiones filas intermedias en la zona posterior al escenario
- Plano nº 10: reflexiones últimas filas en la zona posterior al escenario
- Plano nº 11: reflexiones primera fila en la zona anterior al escenario
- Plano nº 12: reflexiones filas intermedias en la zona anterior al escenario
- Plano nº 13: reflexiones últimas filas en la zona anterior al escenario

- **Superficies:**

- Plano nº 14: superficies zonificación
- Plano nº 15: zonificación techo

- **Volumen:**

- Plano nº 16: volumen

PARTE IV: BIBLIOGRAFÍA:

- **Bibliografía**



1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta el estudio del acondicionamiento acústico de un Auditorio existente en un edificio docente (conservatorio de música) en Valencia, proyecto elaborado por Laura Tarrazona Gasque.

A grandes rasgos, se pueden diferenciar en el edificio dos grandes zonas por sus características y usos. Por una parte el Auditorio y por otra el Conservatorio integrado todo en un edificio en alturas.

En este proyecto será objeto de estudio el Auditorio, sin tener en cuenta el resto de edificio.

Este auditorio está pensado para albergar pequeños conjuntos instrumentales y la variedad instrumental que abarca todo el tipo de música de cámara.

En este proyecto definiremos todos los pasos seguidos hasta alcanzar la solución óptima.

Partiremos de la determinación de las condiciones acústicas y visuales necesarias para el desarrollo de las audiciones y en base a estos conceptos diseñar la sala así como, según las exigencias requeridas, definir las pieles internas o acabadas que definirán la acústica interna del auditorio.

Una vez llegado a este punto se tendrá que evaluar la eficacia de las medidas adoptadas desde el punto de vista de la calidad de la audición.



CRITERIOS GENERALES

- **Visuales:**

Para las visuales se plantea un foco único, el escenario. El escenario estará situado en el centro de la sala. Al tener su ubicación céntrica para poder conseguir las visuales en las cuatro vertientes ortogonales se tendrá que utilizar pendientes muy acusadas tanto en los patios de butaca como en los palcos. Estas pendientes tan acusadas de entre 20° y 34° ya se usaron en los teatros griegos y junto con las reflexiones que incidían en la orquesta (el espacio que quedaba entre el escenario y las gradas) permitían que en el asiento más alejado, a unos 70 m del escenario, la inteligibilidad fuera sorprendentemente buena. Por tanto, estas pendientes ayudaban tanto a la calidad visual, se conseguían buenas visuales desde cualquier punto de las gradas, como a la obtención de mayores ángulos de incidencia de los sonidos directos y los reflejados.

La visualización ideal es aquella en qué se puede ver la totalidad del escenario con todos los participantes de la audición. En el caso del diseño de este auditorio se toma como solución buena aquella en qué se puede apreciar más del 70-80% del escenario.

El diseño de las visuales en una sala se basa en la siguiente consideración: los ojos se hallan, como promedio, 100 mm por debajo de la parte más elevada de la cabeza. Por lo tanto, la inclinación del suelo debe ser tal que permita el paso de la visual por encima de la cabeza del espectador situado en la fila inmediatamente anterior.

La ubicación del punto de referencia R en el escenario condiciona el resultado final.

- **Acústica arquitectónica:**

El objetivo principal es lograr la transmisión del sonido, bien sea directo o reflejado, hacia la totalidad de la audiencia de una manera uniforme, evitando ecos que distorsionen el sonido.

Lo que desde principios de siglo se ha venido denominando acústica arquitectónica abarca 3 grandes temas con principios y desarrollos totalmente



distintos, pero cuya aplicación a casos concretos requiere que se tengan en cuenta simultáneamente. Los 3 aspectos mencionados son:

- El aislamiento acústico
- El acondicionamiento acústico
- La acústica arquitectónica

- **Aislamiento acústico:**

El que trata del estudio de la protección contra los ruidos y vibraciones que se deseen evitar en los recintos habitables.

Ver más en el anexo número 1.

- **Acondicionamiento acústico:**

El que estudia el conjunto de intervenciones dirigidas a dosificar la intensidad de los fenómenos sonoros percibidos por los oyentes y a adaptar el local o recinto al uso al que está destinado. En otras palabras, a mejorar la calidad acústica en el interior de un recinto supuestamente aislado del exterior.

Se debe realizar una evaluación y análisis de la respuesta modal del recinto, para definir y rediseñar la ubicación de los elementos propios del auditorio y los materiales a utilizar en el mismo para mejorar y contribuir a la difusión del sonido. A partir del tiempo de reverberación medio, se obtendrán los materiales necesarios para alcanzar una buena calidad acústica del recinto.

- **Acústica arquitectónica:**

El que examina el conjunto de intervenciones dirigidas a asegurar la adecuada protección frente a ruidos externos de las distintas zonas urbanas, según su uso.



- **Objetivos del diseño:**

Para el diseño se tendrá en cuenta tanto los parámetros acústicos como la calidad visual.

En cuanto a la calidad acústica se tiene que obtener una distribución homogénea de la energía sonora con el estudio del sonido directo y del reflejado, con la pautas de que las reflexiones sean tempranas y cercanas al foco para evitar la distorsión.

Para ello existen varios parámetros que son determinantes para conseguir la calidad acústica requerida. En el apartado parámetros acústicos del capítulo 1 se detallarán y explicarán dichos conceptos.

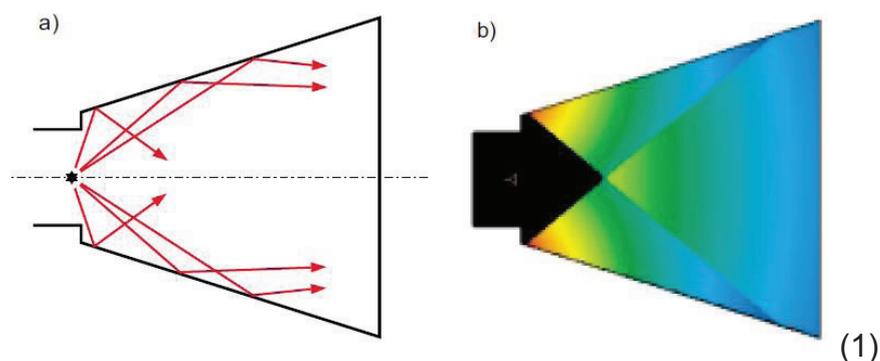
Por otra parte, como ya se ha comentado anteriormente, la calidad visual la obtendremos cuando desde cualquier localidad se pueda percibir la totalidad del conjunto de los músicos encargados de actuar.

- **Geometría**

La geometría será tal que ayude a difundir y repartir el sonido en las partes necesarias. Ello se consigue mediante superficies inclinadas (como puede ser el caso de antepechos), onduladas (como puede ser el caso del techo), la forma del escenario, la forma del patio de butacas, etc.

- **Tipologías de las salas**

Sala en forma de abanico

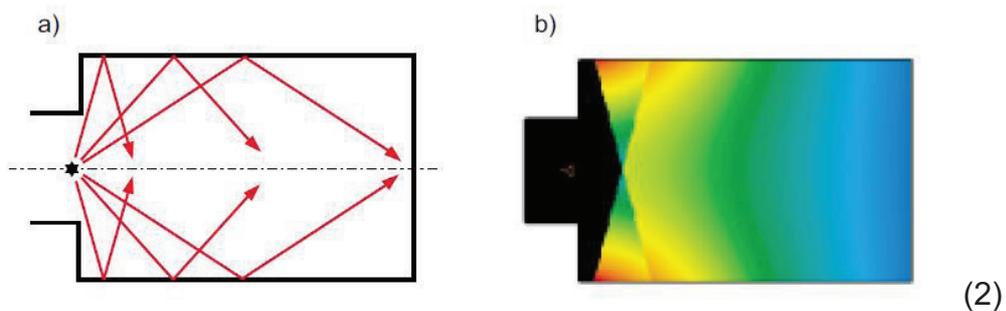




Características:

- Posibilidad de un gran aforo
- Ausencia de primeras reflexiones laterales en la zona central de la sala
- Impresión espacial e intimidad acústica limitadas, especialmente en la parte central de la sala
- Si la pared posterior es cóncava, posibilidad de focalizaciones
- A mayor ángulo de abanico, acústica más desfavorable

Sala de planta rectangular

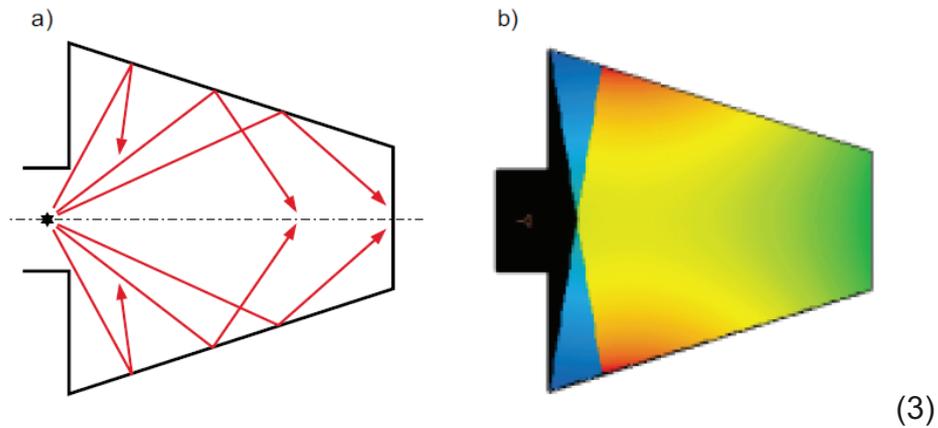


Características:

- Salas relativamente estrechas
- Balcones estrechos
- Gran número de primeras reflexiones laterales debido a la proximidad del público a las paredes
- Intimidad acústica elevada
- Impresión espacial buena
- Sonoridad elevada
- Grado visual heterogéneo según la situación de la localidad, las visuales son deficientes principalmente en la zona posterior
- Difusión del sonido elevado



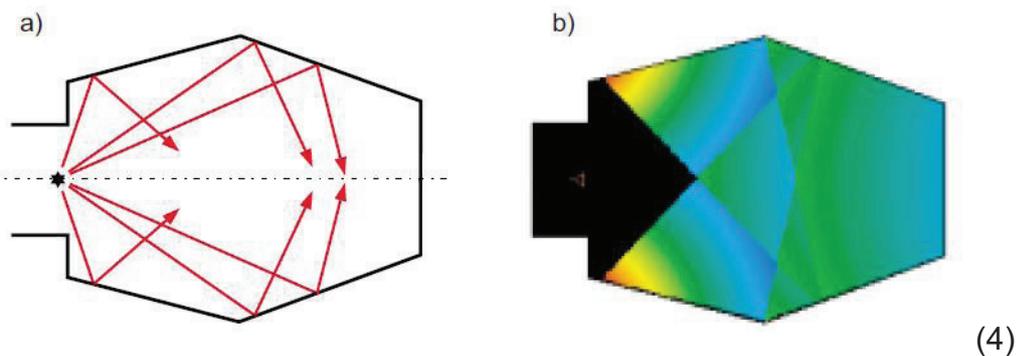
Sala en forma de abanico invertido



Características:

- Gran cantidad de primeras reflexiones laterales
- Impresión espacial elevada
- Falta de visibilidad desde una buena parte de las localidades

Sala en forma de hexágono alargado

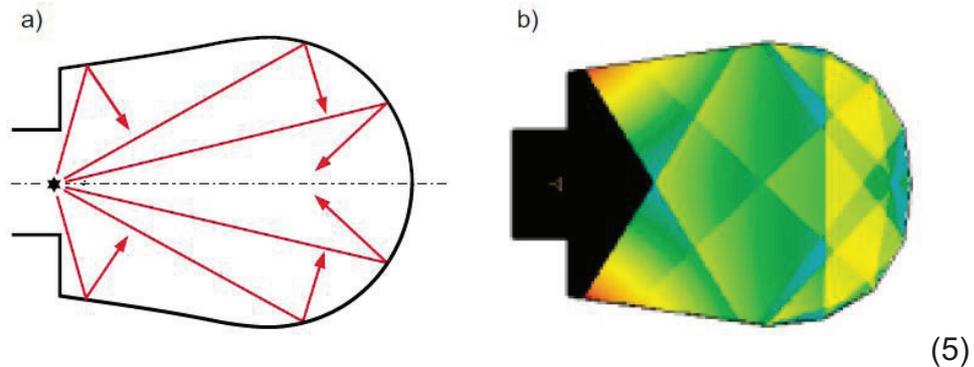


Características:

- Combinación de la sala en forma de abanico y la de abanico invertido
- Ventajas visuales y de aforo proveniente del tipo de salas en forma de abanico
- Ventajas acústicas de las salas de abanico invertido
- Ventajas en generación de reflexiones laterales



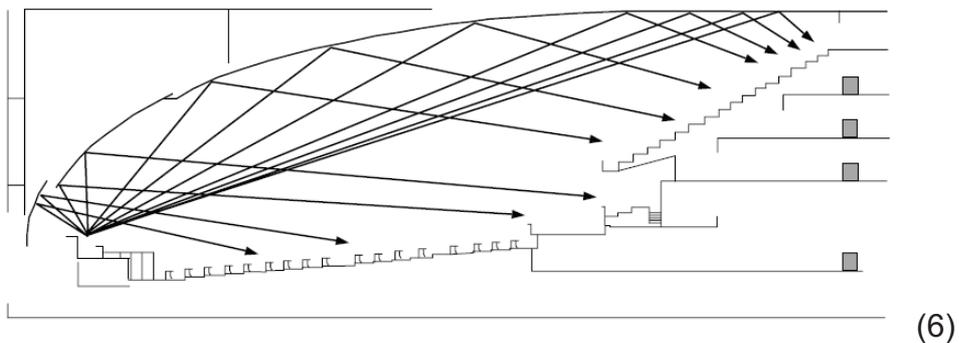
Sala en forma de herradura



Características:

- Muy utilizado en teatros y teatros de ópera
- Baja energía asociada a las primeras reflexiones
- Posibilidad de focalizaciones causadas por la concavidad de la pared posterior
- Posibilidad de gran aforo

Sala con reflexiones frontales



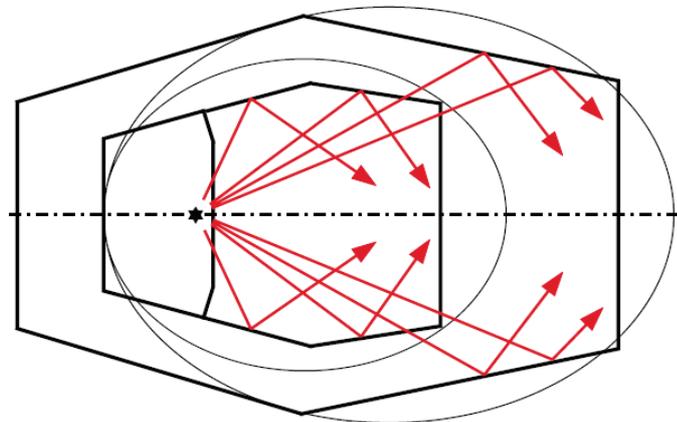
Características:

- Falso techo dividido en varios segmentos con una global aproximada a una parábola cilíndrica
- Todas las primeras reflexiones son creadas por el falso techo e inciden frontalmente sobre el público
- Sonido reflejado procedente del escenario formando un haz de rayos prácticamente paralelos



- Primeras reflexiones con un retardo uniforme
- Sonoridad uniforme en todas las localidades
- Diseño basado en la ubicación de la fuente sonora en un único punto del escenario, por tanto no será conveniente para una orquesta
- Fuerte coloración del sonido
- Impresión espacial del sonido pobre
- Ruido producido por el público claramente percibido en el escenario

Sala con formas hexagonales superpuestas



(7)

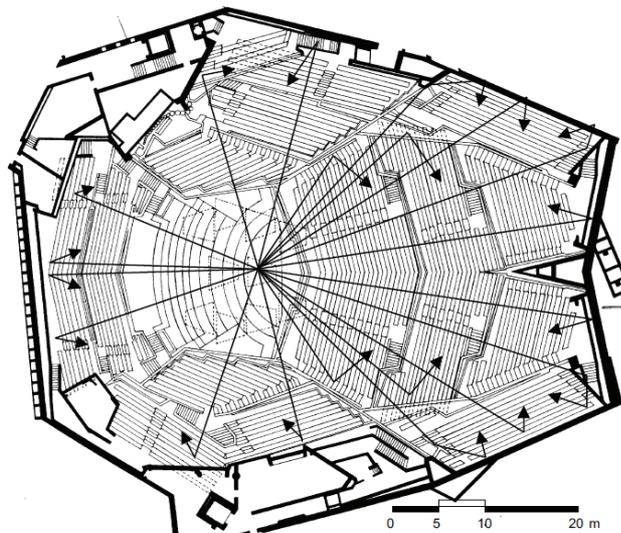
Características:

- Salas basadas en el modelo de las elipses superpuestas de retardo constante y en las salas en forma de hexágono alargado
- Distribución del público en dos zonas a diferente nivel
- Nivel inferior, que incluye el escenario y los asientos más próximos al mismo, rodeado por paredes difusoras del sonido en forma de hexágono alargado que proporcionan primeras reflexiones a todos los asientos
- Nivel superior, que incluye las localidades más alejadas del escenario, igualmente en forma de hexágono alargado. Primeras reflexiones proporcionadas por el techo y las paredes laterales también difusoras
- Inclinación pronunciada de los asientos, especialmente de los correspondientes al nivel superior
- Retardo de las reflexiones en ambas zonas de la sala aproximadamente igual



- Techo con elementos difusores
- Elevada intimidad acústica
- Sonido excelente en el escenario y en la sala “interior”
- Mejores visuales que en las salas rectangulares

Sala con terrazas trapezoidales



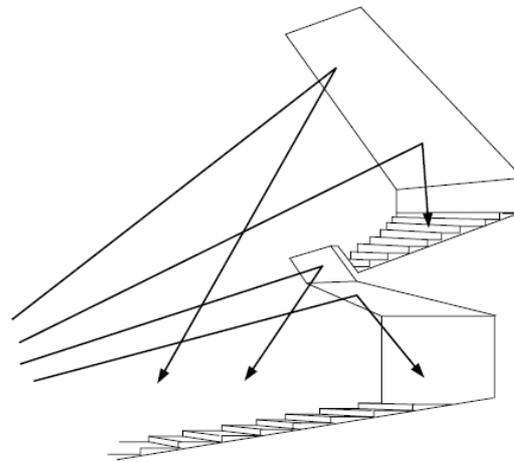
(8)

Características:

- Modelo formalizado por Cremer
- Público distribuido en diferentes niveles o terrazas siguiendo el modelo de las elipses superpuestas de retardo constante
- Complejo diseño de superficies reflectantes alrededor de las terrazas
- Cada nivel recibe reflexiones producidas por una superficie en forma de abanico invertido debidamente inclinada y situada en el nivel inmediato superior
- Buena impresión espacial e intimidad acústica
- Visuales excelentes y diferenciadas desde cada nivel
- Sensación desde las localidades más altas de proximidad al escenario al no dominar la totalidad de los asientos
- Falta de comunicación entre los músicos
- Posibilidad de un gran aforo



Sala con reflexiones laterales



(9)

Características:

- Salas con una forma prácticamente elíptica
- Asientos agrupados por zonas, que están asignadas a tres superficies reflectantes con objeto de crear primeras reflexiones laterales significativas en toda la zona del público
- Intimidad acústica y claridad musical
- Sensación de reverberación no excesiva
- Buenas visuales
- Posibilidad de un gran aforo

Sala con sonido difuso

Características:

- Techo y paredes altamente difusas
- Ausencia de primeras reflexiones significativas
- Sensación de sonido altamente envolvente
- Exceso de absorción
- Ventilación y climatización

Las rejillas de ventilación tendrán la mínima expresión al igual que todos los sistemas de ventilación y/o climatización y demás instalaciones eléctricas y/o hidráulicas y estarán suficientemente protegidas para evitar el ruido de fondo.

Para controlar el ruido disponemos de las curvas NC.

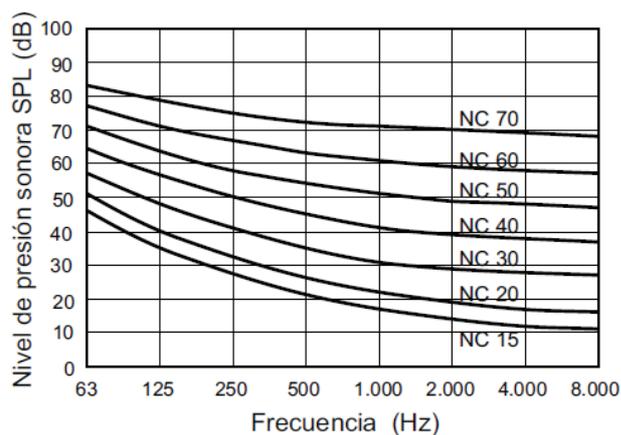


Las curvas NC, son un conjunto de curvas de referencia que establecen de forma objetiva el grado de molestia que un determinado ruido provoca en un oyente; se realiza por comparación de los niveles de ruido existentes en un recinto en cada banda de octava comprendida entre 63 Hz y 8 Hz.

Por tanto, las utilizaremos para establecer los niveles de ruido máximos recomendables para diferentes tipos de recintos en función de su aplicación.

Se cumplirán dichos niveles de ruido cuando, medidos en cada una de dichas bandas de octava, estén por debajo de la curva NC.

Para una determinada curva NC, los niveles de presión sonora (SPL) máximos permitidos a bajas frecuencias (sonidos graves) son siempre más elevados que los correspondientes a frecuencias altas (sonidos agudos), ya que el oído es menos sensible a medida que la frecuencia considerada es menor.



(10)

En una sala destinada a música de cámara la curva NC debe estar entre la 15-25, por tanto, será aceptable todos los valores que estén por debajo de dichas curvas.

- Accesibilidad para discapacitados

Deberán existir lugares sin butaca fija para su posible ocupación por personas en silla de ruedas.

Los lugares para personas en silla de ruedas se localizarán próximos a los accesos y salidas de emergencia, pero no deberán obstaculizar las circulaciones.



Habrá que comprobar que la persona en silla de ruedas no se convierte en un obstáculo visual para el resto de los espectadores, y que tampoco interrumpe o entorpece una posible evacuación de la sala.

El acceso a la tarima o escenario también será accesible, mediante rampas móviles, que se colocarán en el momento requerido.

- Salidas de emergencia

Se indicarán las distintas salidas, los aseos y las circulaciones a las distintas salas del recinto. Es recomendable utilizar un alumbrado permanente de emergencia en los techos y una iluminación en el suelo con leds o pilotos que puedan servir de guía.

Las personas con discapacidad serán evacuadas en primer lugar o en último, nunca en el medio, ya que sólo se conseguiría entorpecer la evacuación.

Los sistemas de aviso y alarma serán visuales y sonoros.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 → imágenes extraídas de libro *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*



PARTE I: AUDITORIO



AUDITORIO

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN AL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO

Para poder entender el acondicionamiento acústico, es necesario plasmar ciertos conceptos acústicos en los que se materializa dicho estudio.

El acondicionamiento acústico tiene por objeto conseguir un grado de difusión acústica uniforme en todos los puntos del mismo. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad aumentando el confort acústico interno del local.

Las propiedades acústicas de un local están determinadas por la proporción de energía absorbida por paredes, techos, suelos y objetos.

Cuando una fuente sonora emite energía, las ondas producidas se propagan radialmente en todas las direcciones a partir de ella, y cuando encuentran un obstáculo (superficies interiores), cambian su dirección, es decir, se reflejan.

No existe una superficie física que sea un reflector perfecto, sino que o bien se pondrá en movimiento por efecto de la onda incidente, o si tiene estructura porosa, permitirá la propagación de las ondas en el interior del cuerpo material.

Si se suceden cualquiera de estos 2 procesos, las ondas reflejadas tendrán menos energía que las ondas incidentes, diciéndose que parte de la energía incidente es absorbida por la superficie.

La proporción de sonido absorbido está ligado al tiempo que un sonido emitido en el local desaparezca después de suprimir el foco sonoro.

El sonido producido por una fuente sonora continua dentro de un recinto incide sobre las superficies límites del mismo, reflejándose parte, tendiendo estas reflexiones a aumentar el nivel de presión acústica del recinto.

Los materiales que se utilizan como absorbentes sonoros son aquellos que reducen el nivel de energía sonora de las múltiples reflexiones que persisten en el tiempo en un local.



Se le llama campo sonoro de un recinto al sonido que es producido por una fuente sonora dentro de un recinto cuando incide sobre las superficies límites del mismo, reflejándose una parte, tendiendo estas reflexiones a aumentar el nivel de presión acústica en el recinto. El campo sonoro dentro del recinto está formado por 2 partes:

- Sonido directo: que va desde la fuente al observador, siendo el mismo que tenemos bajo las condiciones de campo libre.
- Campo sonoro reverberante: sonidos reflejados que van desde la fuente al receptor después de una o más reflexiones en las superficies.

De acuerdo con lo expuesto, el campo sonoro se determina a partir, tanto de la potencia acústica de la fuente, así como de las propiedades reflectantes de las superficies de recinto.

Desde el punto de vista de un acondicionamiento acústico interesa que el intervalo de tiempo que transcurre entre el sonido directo que llega antes que todas las reflexiones y éstas no exceda de un determinado tiempo, porque en caso contrario aparecería el eco.

Dicho de otra forma, desde el punto de vista de percepción auditiva, lo más interesante son las características particulares de la audición, como son, por ejemplo, la capacidad del oído para recibir secuencias de impulsos sonoros, y sumar su energía evitando que el intervalo entre los impulsos exceda de un determinado tiempo. Si la separación en tiempo entre la llegada de la señal directa y la 1ª reflexión supera un cierto tiempo, aparecerá el fenómeno del eco, ya que el oído humano no es capaz de sumar dos señales, sino que las diferencia, lo que supone un fallo acústico.

Un buen acondicionamiento acústico exige que la energía reflejada sea mínima, con lo cual, la calidad de un tratamiento acústico de un local vendrá determinada por la capacidad de absorción de los materiales que recubren sus superficies límites. Son de uso general materiales altamente porosos, de estructura granular o fibrosa.

Por otra parte, la calidad viene definida por distintos parámetros según sea el tipo de mensaje sonoro, ya que no se exige lo mismo en la percepción de un mensaje oral, palabra hablada, que en la de uno musical y dentro de éste, la calidad de audición varía en gran manera según el tipo de música.

Todo lugar destinado a la emisión y audición de mensajes sonoros lleva implícita la existencia de una cadena de comunicación, compuesta por tres



grandes elementos básicos: emisor, canal de transmisión y receptor. El mensaje se transmite a lo largo de esta cadena con el fin de llegar al receptor con la máxima calidad posible. Los mensajes acústicos son transportados por ondas sonoras diferenciándose unas de otras por su espectro de frecuencias. Dichas ondas, emitidas por el emisor, van a ser alteradas, distorsionadas, filtradas por el canal y parcialmente enmascaradas por el ruido de fondo inherente al mismo, antes de llegar al sistema auditivo del receptor, quien, en último caso, define la adecuación o no de una sala a un determinado mensaje sonoro.

Emisor:

El emisor estará constituido por la fuente sonora junto con los sonidos que emite. Es por tanto fundamental tener ciertas nociones sobre las características de las fuentes naturales de emisión, en este caso nos centraremos en los sonidos musicales.

Los sonidos musicales se distinguen de otros sonidos por su espectro relativamente simple, periódico y ordenado (excepto los sonidos producidos por instrumentos de percusión). La música, en general, está basada en escalas constituidas por determinadas frecuencias. Cuando se analizan los sonidos musicales se encuentra que la relación entre sus frecuencias son números enteros, correspondiendo a la frecuencia fundamental y sus armónicos.

Los instrumentos musicales son diseñados para poder producir sonidos que tengan frecuencias fundamentales correspondientes a las escalas musicales y armónicos que sean múltiplos de la frecuencia fundamental. La frecuencia fundamental de un instrumento o sonido da la impresión subjetiva de tono y la presencia y números de armónicos da al sonido su calidad musical o timbre.

Los armónicos son los que generan el timbre característico de una fuente de sonido (ya sea una voz humana, un instrumento musical, etc.). Son los que permiten diferenciar un tipo de instrumento de otro, o reconocer el timbre de la voz de una persona.

Los armónicos más altos son inaudibles, y lo que da diferentes timbres a diferentes instrumentos es la amplitud y la ubicación de los primeros armónicos y los parciales. Y las diferentes trayectorias de las ondas sonoras de dos instrumentos tocando al unísono es lo que permite al oyente percibirlos como dos instrumentos separados.



Los instrumentos de cuerda son los que tiene como sistema básico de emisión la vibración de cuerdas. La frecuencia fundamental depende de la longitud de la cuerda, de su tensión y de su masa.

Los armónicos serán múltiplos de dicha frecuencia. Variando la longitud efectiva de la cuerda se emiten distintas frecuencias fundamentales y por tanto, distintos armónicos. El sonido emitido por la vibración de una cuerda es muy débil, pero es reforzado por diferentes sistemas multirresonantes, cuyas frecuencias de resonancia varían con sus características geométricas y físicas.

Los instrumentos de viento se basan en columnas resonantes de aire. La frecuencia fundamental del sonido emitido depende de la longitud del tubo.

También se producen armónicos dependiendo su número e intensidad del tipo de instrumentos. Estos instrumentos están equipados con válvulas, orificios o ranuras, que permiten variar la longitud efectiva del tubo y por tanto, la frecuencia fundamental y los armónicos que le acompañan.

Los instrumentos de percusión son excitados por un golpe dado sobre un sistema de vibración que puede ser una barra, varilla, membrana o campana. Algunos tienen carácter periódico con una frecuencia fundamental y con armónicos y, otros no, como el caso de membranas o láminas que producen sonidos complejos con frecuencias no armónicas.

La energía radiada por los instrumentos musicales puede ser variada considerablemente por el músico. Suelen tener una dinámica de 40 dB o más. El mínimo sonido producido por un instrumento es del orden de 30 dB y el máximo de 100 dB, medidos ambos a 1 m.

Canal de transmisión:

En el caso que nos ocupa, el canal de transmisión está constituido por la sala, con sus características geométricas y físicas y las diversas vías de propagación del sonido emitido en ella.

Cuando una fuente puntual comienza a vibrar dentro de una sala, emite energía en todas las direcciones, que se propaga en forma de ondas esféricas, cuya intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida (divergencia esférica). Sin embargo, cuando la onda llega a un cerramiento de la sala, la propagación de la misma se interrumpe, pudiendo ocurrir 3 casos:



- Que toda la energía se transmita al cerramiento, desapareciendo la onda en la salas; sería el caso de la absorción total.
- Que toda la energía se refleje dando lugar a una onda regresiva; sería el caso de reflexión total.
- Que parte de la energía se transmita al cerramiento y parte se refleje en la sala, que constituye el caso real.

Receptor:

El receptor está constituido por los oyentes con sus respectivos mecanismos de escucha, y es el que califica la calidad acústica de un local de audición.

El oído humano puede modificar su respuesta mediante unos condicionantes que pueden ser semánticos o estéticos. Esto hace difícil la cuantificación de la calidad acústica ya que la información semántica (lenguaje normalizado o código conocido por ambas partes) es cuantificable mientras que no lo es de manera uniforme la percepción de la información estética (se dirige a la afectividad del receptor sugiriéndole diversos estados de ánimo).

Así el criterio básico para la calificación de la percepción de mensajes orales es que el sonido sea inteligible, es decir, que tenga suficiente intensidad para emerger del ruido de fondo y que el espectro de cada sonido individual esté mínimamente alterado para poderlo reconocer. Todo esto exige un compromiso entre la pérdida de claridad, debida al excesivo sonido reflejado y la pérdida de intensidad, debida a la excesiva absorción por parte de la sala.

Los criterios subjetivos que definen la calidad de percepción de los sonidos musicales son más difíciles de establecer, ya que intervienen juicios estéticos y emocionales. En cualquier caso, debe existir una buena componente del sonido directo y un equilibrio entre reverberación y claridad dependiente del tipo de música. Existen otros atributos imprescindibles para una adecuada audición musical, como el necesario refuerzo de los tonos graves, la difusión o sensación de que el sonido reflejado proviene de todas las direcciones, con intensidades similares y la impresión espacial o sensación de intimidad que hace que se perciba la música como interpretada en salas pequeñas.

En cualquier tipo de audición, además, deben estar ausentes los problemas acústicos como puedan ser, el sonido de fondo, ecos, focalizaciones y resonancias aisladas.

El hecho de ser un auditorio de pocas dimensiones y de saber a ciencia cierta la música que se va a reproducir, música de cámara, contribuye al diseño



acústico, ya que sólo se buscará una única solución, pues, cada tipo de música exige unas características acústicas específicas y diferenciadas.



PARÁMETROS ACÚSTICOS

Parámetros subjetivos y objetivos de la calidad de la sala:

Las salas de audiciones de cierta importancia deben cuidar mucho su acústica. Esto no es nada fácil, ya que tanto los músicos como los oyentes son muy exigentes, y es necesario que la sala suene bien tanto para los emisores como para los receptores del mensaje.

Los parámetros que nos indican la calidad de las salas (haciendo la distinción entre auditorios y salas de óperas) pueden ser de carácter objetivo, pero hay muchos del tipo subjetivo que se deben tener en cuenta.

El reto que se presenta es conseguir esa calidad acústica en qué haya una mínima divergencia entre lo objetivo (parámetros medibles) y lo subjetivo, y que, en todos los puntos de la sala se tengan los mismos valores.

Parámetros básicos referidos a la sala:

Para poder calcular la superficie reflectante y absorbente, debemos partir del tiempo de reverberación que nos exige la norma para la música que usaremos en el auditorio, en este caso música de cámara.

Como tiempo de reverberación (RT) se entiende el tiempo que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta que el nivel de presión sonora cae en 60dB, en general depende de la frecuencia.

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

Siendo la presión sonora la forma más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro.

| FUENTE SONORA | NIVEL DE PRESIÓN SONORA SPL (dB) | VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Despegue avión (a 60 m) | 120 | Muy elevado |
| Edificio en construcción | 110 | Elevado |
| Martillo neumático | 100 | |
| Camión pesado (a 15 m) | 90 | |
| Calle (ciudad) | 80 | |
| Interior automóvil | 70 | Moderado |
| Conversación normal (a 1 m) | 60 | |
| Oficina, aula | 50 | |
| Sala de estar | 40 | Bajo |
| Dormitorio (noche) | 30 | |
| Estudio de radiodifusión | 20 | |

(11)



El tiempo de reverberación recomendado para la música de cámara oscila desde 1.3s y 1.7s, en este estudio se considera un tiempo de reverberación de 1.5s.

La reverberación va íntimamente ligada a la viveza o también llamada reverberancia, que no es más que la valoración subjetiva de la reverberación.

Por otra parte, aparecen otros términos como son la calidez y el brillo.

Según Wilkens, una sala tiene calidez acústica cuando presenta una buena respuesta a frecuencias bajas. Esta palabra representa la riqueza de graves, la suavidad y la melosidad de la música en la sala.

Como medida objetiva se suele utilizar el parámetro BR ("Bass Rratio") y se calcula como la relación entre la suma de los tiempos de reverberación RT a frecuencias bajas (125Hz y 250Hz) y la suma de los RT correspondientes a frecuencias medias (500Hz y 1kHz)

Según Beranek, el margen de valores recomendados de BR para una sala de conciertos destinada a música sinfónica y totalmente ocupada es:

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

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

Por otra parte, el término de brillo lo obtendremos cuando en la sala el sonido sea claro y rico en armónicos. Da la sensación de no estar en una sala sorda. Y se podrá calcular objetivamente el brillo (Br) como la relación entre la suma de los tiempos de reverberación RT a frecuencias altas (2kHz y 4kHz) y la suma de los RT correspondientes a frecuencias medias (500Hz y 1kHz).

Una sala se considerará sorda cuando predomine la absorción del sonido. Así pues cuando predomine la reflexión del sonido se llamará sala brillante. Cuando se combina la absorción y la reflexión en un recinto adquiere el nombre de sala mixta.

Beranek recomienda que el valor de Br para salas totalmente ocupadas verifique:

$$Br \geq 0,87$$

De todas formas, por lo general será conveniente que el brillo no sea mayor que 1.



El nivel de sonido directo da una idea de la proximidad del foco emisor. Este nivel o volumen sonoro directo depende de la distancia entre el auditorio y el foco receptor, en el caso de los auditorios

El nivel de sonido reverberante relaciona la reverberación a frecuencias medias, con la sala ocupada, con el volumen del local.

Cuando una onda llega a la superficie de separación de 2 medios distintos se producen, en general, 2 ondas, una que se propaga en el mismo medio que la onda incidente, de modo que la proyección de la velocidad de propagación sobre la normal a la superficie es de sentido contrario a la correspondiente de la incidente, y que se denomina onda reflejada, y la otra que pasa al otro medio y se denomina onda refractada o transmitida. La energía de la onda incidente se reparte entre la onda reflejada y la transmitida.

Con objeto de garantizar una buena **difusión del sonido** en una sala ocupada, es preciso que el valor medio de los EDT ("early decay time") correspondientes a las bandas de 500 Hz y 1 kHz sea del mismo orden que RTmid :

$$\text{EDTmid} \approx \text{RTmid}$$

Siendo EDT seis veces el tiempo que transcurre desde que el foco emisor deja de radiar hasta que el nivel de presión sonora cae en 10dB, este parámetro también varía según la frecuencia.

El EDT está más relacionado con la impresión subjetiva de viveza que el RT, lo que significa que en aquellos puntos de la sala con un EDT significativamente menor que el RT, la sala resultará, desde un punto de vista subjetivo, más apagada.

La difusión hace referencia a la orientación del campo reverberante. Es la propiedad que hace que el sonido llegue a muchos lados del espacio con energía suficiente, por tanto, una buena difusión será aquella que permita que el sonido reverberante llegue al oído del espectador procedente de todas las direcciones y con el mismo nivel.

La sonoridad es una medida subjetiva con la que un sonido es percibido por el oído humano depende tanto de la intensidad como de la frecuencia de éste, por tanto, es la característica que nos permite ordenar los sonidos de más fuertes a más débiles pues el oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias.

La sonoridad G se corresponde con el grado de amplificación producido por la sala. Depende de la distancia del oyente al escenario, de la energía asociada a



las primeras reflexiones, de la superficie ocupada por el público y del nivel de campo reverberante.

Para Lehman, la sonoridad es la diferencia entre el nivel total de presión sonora L_p producido por un foco multidireccional en un determinado punto de una sala y el nivel de presión producido por el mismo foco situado en campo libre y a una distancia de 10m, denominado nivel de referencia.

Ambos niveles se miden por bandas de frecuencias de octava (entre 125 Hz y 4 kHz) y aplicando la misma potencia a la fuente sonora. El nivel de referencia en cada banda de frecuencias es de 69 dB SPL (nivel de presión sonora).

Beranek recomienda que el valor de la sonoridad G para la sala vacía, obtenido como promedio de los correspondientes a las bandas de octava centradas en 500 Hz y 1 kHz, esté situado entre:

$$4 \leq G_{mid} \leq 5,5 \text{ dB}$$

La intimidad acústica es un aspecto del sonido subjetivo que contribuye a la idea del tamaño de la sala, en las salas grandes interesa que sea pequeño, según Beranek. Cada tipo de música tiene su grado de intimidad adecuado para ser escuchado con la máxima calidad. Este parámetro se puede cuantificar como el tiempo entre sonido directo y la primera reflexión que llega a un espectador (t_l)

Según Beranek, el valor recomendado de este parámetro en el centro de la platea debe verificar:

$$t_l \leq 20 \text{ ms}$$

La obtención de valores superiores a 35 ms representa generalmente una reducción significativa de la calidad acústica de una sala.

La razón principal por la cual Beranek elige el centro de la platea como punto representativo del t_l de la sala es que los valores correspondientes a puntos cercanos a las paredes o a los frontales de los anfiteatros o palcos son siempre cortos y, por tanto, no resultan útiles para juzgar el grado de intimidad acústica de un recinto.

El timbre de un sonido es la cualidad subjetiva que permite diferenciar dos sonidos de igual frecuencia e intensidad emitidos por fuentes de diferente naturaleza. Este atributo radica en el contenido de armónicos o frecuencias que acompañan a la frecuencia fundamental, ya que el sonido se compone por una



onda compleja con una frecuencia fundamental y varios armónicos, múltiplos de esa frecuencia fundamental.

La coloración del tono es el efecto producido por la combinación de timbres.

Para poder estudiar las características del **sonido reflejado en una sala**, así como su relación con el sonido directo, se utilizan una serie de parámetros que expresan relaciones energéticas ELR (“Early to Late Ratios”) y que dependen del tiempo. Dichos parámetros son: C_t, C_{t0} y C_x.

Se define C_t como la relación entre la energía que llega a un oyente dentro de los primeros *t* segundos desde la llegada del sonido directo (incluye el sonido directo), y la energía que le llega con posterioridad. El *C_t* se expresa en escala logarítmica (dB), y para música se suele utilizar el valor medio de los correspondientes a las bandas de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz:

$$C_t(t) = \frac{\text{energía hasta el instante } t}{\text{energía a partir del instante } t} \text{ (en dB)}$$

Por otra parte, se define C_{t0} como el valor de *C_t*, una vez excluida la energía correspondiente al sonido directo:

$$C_{t_0}(t) = \frac{\text{energía hasta el instante } t \text{ (excluyendo el sonido directo)}}{\text{energía a partir del instante } t} \text{ (en dB)}$$

La evolución de *C_{t0}* en función del tiempo permite estudiar de forma exclusiva el comportamiento del sonido reflejado, sin la influencia del sonido directo. La diferencia entre las evoluciones temporales de *C_t* y *C_{t0}* da una indicación de la importancia relativa del sonido directo en un punto cualquiera de una sala.

Para finalizar, el C_x es el equivalente teórico del valor *C_{t0}*, y corresponde al caso de un campo sonoro totalmente difuso.

Finalmente, la curva obtenida como resultado de la diferencia *C_{t0}* – *C_x* indica el grado de difusión del sonido en cada punto del recinto.

- Si *C_{t0}* – *C_x* > 0 dB → existencia de primeras reflexiones significativas
- Si *C_{t0}* – *C_x* ≈ 0 dB → comportamiento del sonido equivalente al caso teórico de decaimiento energético puramente exponencial. Óptima difusión del sonido
- Si *C_{t0}* – *C_x* < 0 dB → ausencia de primeras reflexiones significativas

No existen valores recomendados de *C_t* y *C_{t0}*.



La claridad musical sería el equivalente al entendimiento de la palabra. Define la facultad de distinguir entre diferentes notas consecutivas. Es un parámetro que está altamente relacionado con el tiempo de reverberación RT.

La claridad musical C80 indica el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales integrantes de una composición musical.

Según Cremer, el C80 se define como la relación entre la energía sonora que llega al oyente durante los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo y la que le llega después de los primeros 80 ms, calculada en cada banda de frecuencias entre 125 Hz y 4 kHz. El valor de Ct para t = 80 ms se corresponde con el parámetro C80 (en dB)

La elección del intervalo temporal de 80 ms se debe a que, cuando se trata de música, las reflexiones que llegan al oyente dentro de dicho intervalo son integradas por el oído junto con el sonido directo y, por tanto, contribuyen a aumentar la claridad musical. Constituyen, pues, las denominadas primeras reflexiones.

Beranek recomienda para la sala vacía que el valor medio de los C80 correspondientes a las bandas de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz (denominado “music average”) se sitúe preferentemente entre:

$$-4 \leq C80(3) \leq 0 \text{ dB}$$

En todos los casos deben evitarse valores de C80(3) superiores a +1 dB.

Por su parte, L.G. Marshall propone el siguiente margen de variación para salas ocupadas:

$$-2 \leq C80(3) \leq +2 \text{ dB}$$

Según Toyota, la curva de energía reflejada acumulada RECC (“Reflective Energy Cumulative Curve”) da una indicación de cómo se acumula la energía reflejada a lo largo del tiempo en un determinado punto de una sala, y permite detectar cualquier anomalía que en él se pueda producir.

Se define como la energía que llega a un oyente dentro de los primeros t segundos desde la llegada del sonido directo, excluyendo la energía asociada al mismo. La curva RECC se representa en escala logarítmica (dB):

RECC(t) = Energía hasta el instante t (excluyendo el sonido directo) (en dB)



La banda de frecuencias considerada va desde 250 Hz hasta 2.000 Hz. Para valores de t inferiores a aproximadamente 100 ms, el valor de RECC se corresponde con la energía asociada a las primeras reflexiones.

La textura es la impresión subjetiva del sonido percibido por un oyente en un punto cualquiera de una sala producida por la forma en que las primeras reflexiones llegan a sus oídos. Una buena textura exige una gran cantidad de primeras reflexiones dentro de los primeros 80 ms desde la llegada del sonido directo, una distribución uniforme de las mismas y la ausencia total de reflexiones discretas de nivel elevado.

No existe ningún sistema de medida de la textura, así pues, el grado de textura en un punto de una sala sólo se puede establecer a partir de una inspección visual de la correspondiente curva de decaimiento energético.

La amplitud aparente de la fuente sonora ASW (“Apparent Source Width”) constituye uno de los dos componentes básicos de la denominada espacialidad o impresión espacial del sonido, se asocia con la sensación de que el sonido que llega del escenario proviene de una fuente de mayor amplitud que la correspondiente a la orquesta real.

Cuanto mayor sea la ASW, mayor será la impresión espacial del sonido y mejor resultará la valoración subjetiva de la calidad acústica de la sala.

Según A. H. Marshall y Barron, la ASW aumenta con el número de primeras reflexiones que inciden lateralmente sobre el oyente.

Ello es debido a que el oído las suma con el sonido directo, con lo cual la localización de la fuente tiende a ser ambigua.

Por otra parte, la existencia de primeras reflexiones laterales importantes hace que aumente el grado de disimilitud entre los sonidos que llegan a los dos oídos, tanto por la diferencia entre los caminos recorridos como por el obstáculo que representa la presencia de la cabeza. Cuanto mayor sea la diferencia entre ambos sonidos, mayor será la ASW.

Existen dos parámetros que permiten cuantificar el grado de ASW. Se trata de la denominada eficiencia lateral (LF), relacionada con la energía de primeras reflexiones laterales, y de la llamada correlación cruzada interaural (IACCE), asociada al grado de disimilitud entre las primeras reflexiones que llegan a ambos oídos.



El **SDI (Índice de difusión)** se determina a través de una inspección visual de la sala con objeto de averiguar el grado de irregularidades de las paredes laterales y del techo.

Sus investigadores, Haan y Fricke, llaman “grado de difusión” a la cantidad de irregularidades de dichas superficies, y asignan diferentes pesos a las mismas. A las superficies con grandes irregularidades les asignan un grado de difusión 1, a las intermedias 0,5, y a las superficies lisas 0. Posteriormente, se ponderan dichos valores por la superficie asociada en cada caso, se suman, y finalmente se divide el resultado por la superficie total de las paredes laterales y del techo. El valor final obtenido es el SDI, y su margen de variación oscila entre 0 (difusión nula) y 1 (difusión total):

$$0 \leq \text{SDI} \leq 1$$

Cuanto mayor sea el valor de SDI, mayor será el grado de LEV, es decir, la impresión espacial en la sala.

Parámetros básicos relacionados con el escenario y la orquesta:

Como parámetro representativo de las condiciones de escucha que experimentan los músicos en el escenario, con o sin concha acústica, se utiliza el denominado soporte objetivo ST1, definido por Gade.

Este parámetro representa la capacidad de los músicos de escucharse a sí mismos y al resto de la orquesta.

El ST1 se define como la relación entre la energía asociada a las primeras reflexiones (entre 20 y 100 ms) proporcionadas por las paredes y el techo del escenario, y la energía recibida en los primeros 20 ms, ambos valores obtenidos a 1 m de distancia de una fuente omnidireccional situada en el escenario. Se expresa en escala logarítmica (dB):

$$\text{ST1} = \frac{\text{ENERGÍA ENTRE 20 Y 100 ms}}{\text{ENERGÍA HASTA 20 ms}} \text{ (en dB)}$$

Habitualmente se utiliza el soporte objetivo medio ST1mid. Se define como sigue:

$$\text{ST1mid} = \frac{\text{ST1 (250Hz)} + \text{ST1 (500Hz)} + \text{ST1 (1Hz)} + \text{ST1 (2Hz)}}{4}$$



Según Beranek, los valores más favorables de este parámetro son aquellos que se hallan entre:

$$-14 \leq ST1_{mid} \leq -12,5 \text{ dB}$$

La medida de ST1 debe hacerse en condiciones de sala vacía, sin músicos sobre el escenario, pero con todos los elementos que le son propios en su lugar (sillas, atriles, instrumentos de percusión, etc.).

Beranek define los siguientes términos:

Balance (“balance”): cualidad de la acústica del escenario que hace que exista un equilibrio entre todas las secciones de la orquesta. Ningún grupo instrumental domina sobre el resto, y depende fundamentalmente de las superficies reflectoras más cercanas a la orquesta. Un balance correcto favorece la interpretación conjunta de solistas, sean vocales o instrumentales, y orquesta.

La valoración en el caso de las óperas puede ser más alta que en los auditorios motivada por la diferente localización de los cantantes (al escenario) y los músicos (al foso de la orquesta).

Fusión (“blend”): mezcla de los sonidos de los diferentes instrumentos de la orquesta de forma que el oyente los percibe como perfectamente acoplados, sonando como un único cuerpo y no como varias secciones independientes.

Conjunción (“ensemble”): habilidad de los músicos de tocar al unísono por el hecho de poder escucharse entre ellos satisfactoriamente.

Inmediatez de repuesta (“attack”): los músicos deben tener la sensación de que la sala responde de forma inmediata a una nota. La inmediatez de respuesta está relacionada con el retardo con que llegan las primeras reflexiones procedentes de la sala a los oídos de los músicos. Si el retardo es excesivo, las reflexiones serán percibidas como ecos, mientras que si provienen exclusivamente de las paredes más próximas, los músicos no tendrán ninguna percepción de la acústica de la sala.



Posibles anomalías asociadas a salas de conciertos:

Existen algunos factores negativos que aparecen en las salas como puedan ser efectos anómalos sobre la calidad tonal (cuando existe realce de alguna de las frecuencias generadas por la fuente sonora), desplazamiento de la fuente sonora, los ecos (de acuerdo a un retraso y su nivel sonoro), focalización del sonido, el sonido externo e interno (que hace que la dinámica en los lugares lejanos no sea alta), la distorsión tonal o variación del timbre a causa de la presencia en la sala de materiales selectivos que traigan curvas tonales de la sala poco planas, la existencia de galería de susurros y/o las curvas NC.

De todas las anomalías nombradas anteriormente, sólo se profundizarán unas pocas.

Efectos anómalos sobre la calidad tonal

Cada sala de concierto y cada instrumento debe presentar una calidad tonal óptima. Esta calidad tonal puede verse perpetrada de múltiples formas, como elementos metálicos ajenos al instrumento que resuenan y/o entran en vibración.

En cuanto a los sonidos que reflejan sobre las superficies totalmente planas pueden hacer que éste adquiera cierta dureza

Esto se puede evitar mediante materiales amortiguantes y, en algunos casos, la incorporación de pequeñas irregularidades.

Desplazamiento de la fuente sonora (falsa localización)

Esto puede ocurrir cuando sobre una superficie reflectante se concentra gran cantidad de energía y la distribuye creando una falsa localización de la fuente sonora.

Ecos y focalizaciones del sonido

Uno de los objetivos fundamentales en el diseño de una sala de conciertos es evitar la aparición de ecos, focalizaciones del sonido y eco flotante.

En una sala de conciertos, el eco es toda aquella reflexión de nivel significativo que alcanza al oyente en un instante de tiempo superior a los 80 ms desde la llegada del sonido directo.



Los ecos suelen ser debidos a la existencia de una pared posterior reflectante, o bien a la presencia de un reflector de esquina. Para que aparezca un eco, la distancia entre el escenario y la superficie conflictiva debe ser superior a 13,8 m, ya que en tal caso la reflexión generada llegará con un retardo superior a los 80 ms.

Por lo que al criterio de ecos se refiere, el valor de EC asociado a un punto cualquiera de una sala de conciertos, obtenido como promedio de los valores correspondientes a las bandas de 1 kHz y 2 kHz, debe cumplir:

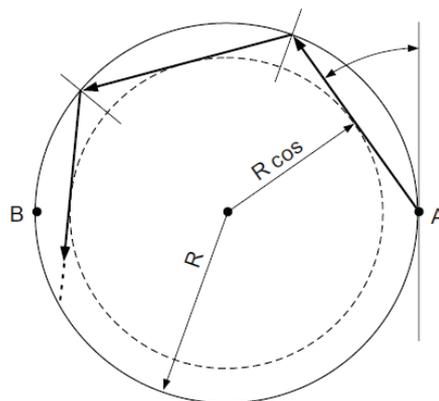
$$EC < 1,80$$

El hecho de que se cumpla dicho criterio en cada punto considerado asegura que el porcentaje de espectadores que percibirían un eco en el mismo sería, como máximo, de un 50%.

Cuanto más bajo sea el valor de EC, menor será el citado porcentaje.

Galería de los susurros

Galería de los susurros (“Whispering Gallery”) es la denominación inglesa dada a una superficie reflectante en forma circular o abovedada.



(12)

Los rayos sonoros emitidos por una fuente situada en el punto A, y comprendidos dentro del ángulo α , quedan confinados dentro del anillo limitado por los radios R y $R \cos \alpha$, es decir, se produce una concentración del sonido en todos los puntos situados dentro del mismo.

Será desaconsejable esta forma de escenario a no ser que se cree alguna discontinuidad que evite este fenómeno.



Curvas NC

Son las curvas que se tienen de referencia para el grado de molestia que un determinado ruido de fondo provoca sobre un espectador para cada banda de octava comprendida entre 63 Hz y los 8 kHz. Establecen los niveles máximos recomendados para cada espacio en función de su uso.

El ruido de fondo puede ser debido a los ruidos interiores y/o a los ruidos exteriores.

Un recinto cumplirá dicha exigencia cuando sus niveles de ruido se encuentren por debajo de la curva NC correspondiente.

La curva NC recomendada para salas de conciertos es la NC-15 (no perjudicaría la audición de un “pianissimo”, por ejemplo), si bien se suele admitir hasta la NC-25.

11, 12 → imágenes extraídas de libro *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*



MÚSICA DE CÁMARA

Reseña histórica:

La **música de cámara** es un género de la música académica, escrita para un pequeño grupo de instrumentos.

Hay dos detalles que permiten caracterizar cabalmente una obra de cámara: 1) cada músico toca una parte diferente y 2) no hay director; los músicos deben estar ubicados de forma que puedan mirarse entre sí, para lograr la mejor coordinación. No se incluyen las obras para instrumentos solos (eso deja de lado toda la literatura para piano solo y composiciones como las sonatas y partitas para violín o las suites para violoncello, de Bach). La palabra cámara implica que la música puede ser ejecutada en una habitación, con una atmósfera de intimidad. En italiano “*da cámara*” significa ‘para la habitación’.

La orquesta de cámara es una orquesta pequeña, y por lo tanto con posibilidades de ejecutar música dentro de una sala pequeña; no es meramente una orquesta de cuerda, porque puede haber también instrumentos de viento.

Teóricamente no hay un límite máximo de instrumentos, pero, en la práctica, la mayoría de las composiciones comprenden desde dos hasta veinte.

Hay muchas combinaciones instrumentales, la más importante de las cuales es el cuarteto de cuerdas. Otros grupos usuales de cámara son el trío de cuerdas, el trío con piano, el quinteto con piano y el quinteto de cuerdas. Menos usuales son los instrumentos de viento y de metal. Algunos compositores han escrito obras para grupos mixtos de vientos y cuerdas, y algunos han escrito para instrumentos de viento solos, aunque los instrumentos de metal (con excepción de la trompa) prácticamente no se han utilizado. Esto se debe quizás a que su sonido potente no es adecuado para la atmósfera intimista propia del género.

Esta es una lista parcial de los tipos de ensambles de música de cámara.

- Dúo:
 - Dúo de pianos
 - Dúo instrumental (cualquier instrumento y un piano)

- Dueto:
 - Dueto de piano (1 piano a 4 manos)
 - Dueto vocal (voz y piano)



- Dueto instrumental (2 instrumentos cualquiera, iguales o no)

- Trío:
 - Trío de cuerdas (violín, viola y violoncello)
 - Trío de piano (violín, violoncello y piano)
 - Voz, viola y piano
 - Clarinete, viola y piano
 - Clarinete, violoncello y piano
 - Voz, clarinete y piano
 - Flauta, clarinete, y piano
 - Flauta, viola y arpa
 - Clarinete, violín y piano
 - Trío para trompa (trompa o corno francés, violín y piano)
 - Soprano, trompa y piano
 - Trío de cañas (oboe, clarinete y fagot)

- Cuarteto:
 - Cuarteto de cuerdas (2 violines, viola y violoncello)
 - Cuarteto de piano (violín, viola o clarinete, violoncello y piano)
 - Cuarteto para instrumento de viento y trío de cuerdas (flauta, oboe, clarinete o fagot, violín, viola y violoncello)

- Quinteto:
 - Quinteto con piano (2 violines, viola, violoncello y piano o violín, viola, violoncello, contrabajo y piano)
 - Quinteto de vientos (flauta, clarinete, oboe, fagot y trompa)
 - Quinteto de cuerdas (2 violines, viola, violoncello (con viola o violoncello adicional))
 - Quinteto de metal (2 trompetas, trompa, trombón y tuba)
 - Quinteto de clarinete (clarinete, 2 violines, viola, violoncello)

- Sexteto:
 - Sexteto de cuerdas (2 violines, 2 violas y 2 violoncellos)



- Sexteto con piano (2 violines, viola, violoncello, contrabajo y piano)
- Sexteto de vientos (2 oboes o 2 clarinetes, 2 trompas y 2 fagots)
- Piano y quinteto de vientos (flauta, oboe, clarinete, fagot, trompa y piano o clarinete, 2 violines, viola, violoncello y piano)

- Septimino:
 - Septeto para vientos y cuerdas (clarinete, trompa, fagot, violín, viola, violoncello y contrabajo)

- Octeto:
 - Octeto para vientos y cuerdas (clarinete, trompa, fagot, 2 violines, viola, violoncello y contrabajo)
 - Octeto de cuerdas (4 violines, 2 violas y 2 violoncellos)
 - Cuarteto doble (4 violines, 2 violas y 2 violoncellos)
 - Octeto de vientos (2 oboes, 2 clarinetes, 2 trompas y 2 fagots o flauta, clarinete, 2 fagots, trompeta, trombón y trombón bajo)



Resumen de los valores recomendados de los parámetros acústicos asociados a las salas:

| PARÁMETRO ACÚSTICO | VALOR RECOMENDADO | VALORACIÓN SUBJETIVA |
|--|--|---|
| Rtmid (500Hz-1kHz), sala ocupada | $1,3 \leq RT_{mid} \leq 1,7$ s | GRADO DE VIVEZA DE LA SALA |
| BR, sala ocupada | $1,1 \leq BR \leq 1,45$ | RIQUEZA EN SONIDOS GRAVES, MELOSIDAD Y SUAVIDAD DE LA MÚSICA |
| Br, sala ocupada | $Br \geq 0,87$ | RIQUEZA EN SONIDOS AGUDOS |
| EDTmid (500 Hz), sala ocupada | $EDT_{mid} \approx RT_{mid}$ | GRADO DE VIVEZA DE LA SALA |
| Gmid (500Hz - 1 kHz), sala vacía | $4 \leq G_{mid} \leq 5,5$ dB | GRADO DE AMPLIFICACIÓN PRODUCIDO POR LA SALA |
| tl (centro platea) | $tl \leq 20$ ms | INTIMIDAD ACÚSTICA (SENSACIÓN SUBJETIVA DE VOLUMEN DE LA SALA; GRADO DE IDENTIFICACIÓN CON LA ORQUESTA) |
| C80 (3) (500 Hz - 2 kHz) | $(-) 4 \leq C80 (3) \leq 0$ dB (sala vacía) | GRADO DE SEPARACIÓN ENTRO LOS DIFERENTES SONIDOS INDIVIDUALES INTEGRANTES DE UNA COMPOSICIÓN MUSICAL |
| | $(-) 2 \leq C80 (3) \leq 2$ dB (sala ocupada) | |
| LFe4 (125 Hz- 1 kHz), sala vacía | $LFe4 \geq 0,19$ | IMPRESIÓN ESPACIAL DEL SONIDO (AMPLITUD APARENTE DE LA FUENTE SONORA) |
| 1 - IACCe3 (500 Hz - 2 kHz), sala vacía | $(1 - IACCe3) \approx 0,7$ | IMPRESIÓN ESPACIAL DEL SONIDO (AMPLITUD APARENTE DE LA FUENTE SONORA) |
| SDI | $0 \leq SDI \leq 1$ | IMPRESIÓN ESPACIAL DEL SONIDO (SENSACIÓN DE ENVOLVENTE) |
| ST1mid (250 Hz - 2 kHz), sala vacía sin músicos, pero con los elementos que le son propios | $(-) 14 \leq ST1_{mid} \leq (-) 12,5$ dB | CAPACIDAD DE LOS MÚSICOS DE ESCUCHARSE A SÍ MISMOS Y AL RESTO DE COMPONENTES DE LA ORQUESTA |

(imagen extraída del libro diseño acústico de espacios arquitectónicos)



CAPÍTULO 2: DISEÑO

Diseño:

Se tiene que tener mucho cuidado en el diseño de los espacios para que proporcionen el nivel adecuado de calidad acústica.

Una gran acústica se logra mediante el desarrollo de un diseño de la habitación con un equilibrio adecuado de forma de la habitación y el tamaño, volumen de la sala, la distribución de asientos para la audiencia y el uso de materiales de construcción apropiados. En el caso de este proyecto, ya disponemos de la sala, por tanto tendremos que ajustar el volumen con la situación de los asientos y la utilización de unos materiales adecuados.

Este diseño es una parte fundamental de un auditorio para conseguir el éxito (calidad acústica) y puede tener un impacto considerable en la comodidad del público, la seguridad, y su valoración general del recinto.

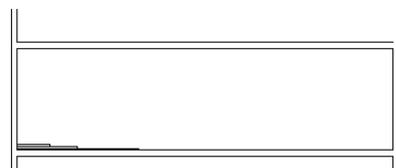
Lograr adecuadamente los bajos niveles de ruido de fondo también es un elemento esencial para garantizar una experiencia de gran acústica.

Primero que todo, se estudiará la geometría para poder diseñar el área de actuación, el área de asientos. Para la zona de los espectadores se tendrán en cuenta las líneas de visión, los espacios mínimos de circulación, las dimensiones de los asientos y los parámetros acústicos en sí.

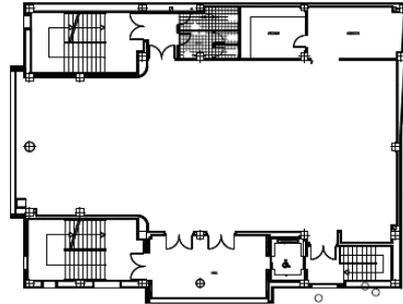
El diseño del área de actuación se inicia a partir de la comprensión de las necesidades técnicas y espaciales de cada forma de los artistas que interactuarán en él (en este caso se optará por una solución apta para pequeños conjuntos instrumentales y la música de cámara), y las condiciones que son necesarias para que la audiencia experimente el mejor rendimiento.



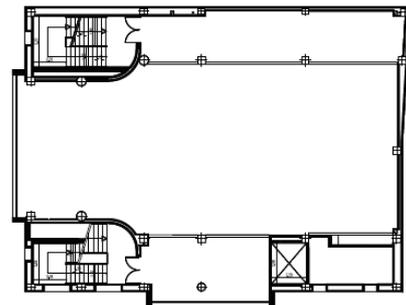
Situación de partida (ver plano nº 1, 2, 3) de la Parte III):



SECCIÓN SIMPLIFICADA



PLANTA BAJA



PLANTA EN ALTURA

El volumen contenedor del auditorio tiene una planta rectangular, predominando uno de los lados sobre el otro, y una altura libre muy limitada, 6.4m.

Existe una segunda altura que comunica con la planta principal de 3.39m de altura libre, dividida en 2 partes enfrentadas, que superpuestas con la planta principal forman una cruz de brazos cortos.

En este proyecto presenta el problema de tener poca altura, así pues es prácticamente inviable ubicar asientos en 2 niveles diferentes dentro de una misma vertical. Por esta razón, se plantea la opción de un escenario central, para poder aprovechar los 2 niveles en altura existentes en 4 vertientes ortogonales, con lo cual sólo habrá un asiento para una misma línea de acción vertical.

Consideraciones de diseño:

Todo local en el que el público deba recibir el canto o la música, debe presentar unas condiciones acústicas adecuadas. Cuando se trata de salas pequeñas, ajustando el tiempo de reverberación es suficiente para lograr este fin. En cambio, para salas más grandes se deben tener en cuenta a parte del tiempo de reverberación otros elementos como puedan ser:



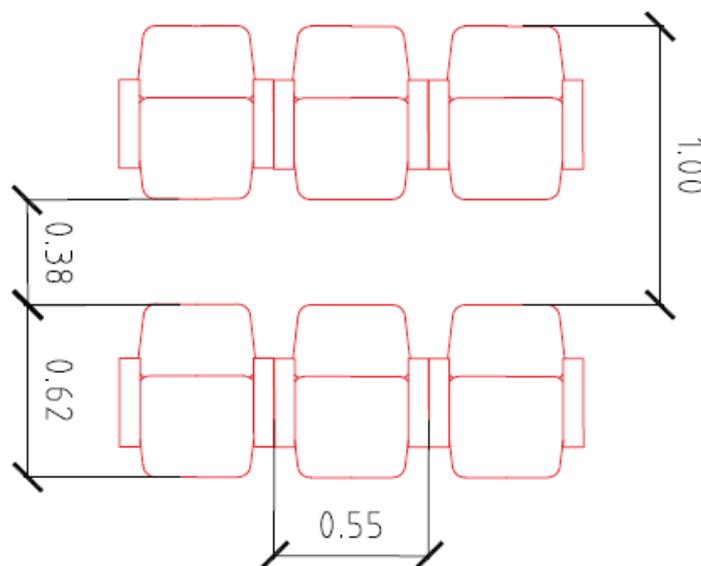
- Forma
- Proporciones
- Suelo
- Techo
- Tratamiento de superficies
- Etc.

El número de localidades será el dato de partida, junto con el uso de la sala para empezar a abordar el diseño de la misma y a partir de ambos se irán fijando los otros factores cuya determinación final dará con un adecuado diseño, desde el punto de vista acústico.

En cuanto a las salas destinadas a audición musical se debe evitar los niveles tanto bajos como altos de reverberación. Si el tiempo de reverberación es deficiente se tendrán que disponer materiales con propiedades reflectantes, si por el contrario es excesivo se colocarán materiales con características absorbentes.

Para el tiempo de reverberación que exige la música de cámara $1,3 \leq RT_{mid} \leq 1,7$ s será conveniente un volumen por espectador de 6-9 m³/ espectador.

Los asientos tendrán una sección de 55cm x 62 cm en planta, y la distancia entre respaldos deberá ser de 1 m.





La altura de las butacas rondará los 80 cm.

Se deberán de disponer la cantidad mínima de pasillos recomendada por la normativa con el fin de no entorpecer la evacuación de los ocupantes en el momento que sea necesario.

Estos pasillos de acceso a las butacas tendrán diferentes huellas y contrahuellas, dependiendo de la altura que se quiera salvar.

En la parte posterior al escenario se tiene una cota de +3.40 m. La escalera a construir tendrá 20 peldaños, formada por un tramo inicial de tres contrahuellas de 18 cm., el resto de contrahuellas medirán 16.88 cm. En cuanto a las huellas, se alternarán varias dimensiones. El primer tramo de unos 20 cm. para continuar con una serie que se repetirá a lo largo de toda la escalera formado por una huella de 49.55 cm. seguida de dos de 24.95 cm.

En cuanto a la parte anterior al escenario, las tres escaleras estarán compuestas por una rampa y por unos escalones que tendrán una contrahuella de 17.87 cm. y una huella de 48.53 cm. la rampa salvará una luz de 17.87 cm. a lo largo de 86.44 cm.

De las tres escaleras, dos estarán diseñadas para salvar la luz de 2.86 m., mientras que la restante sólo llegará a 89.37 cm.

En cuanto a las escaleras de acceso a la segunda fila de los palcos tendrán todas que abarcar una altura de 82 cm. resultando cinco contrahuellas de 16.4 cm., variando las huellas y el ancho según las dimensiones disponibles.

Para favorecer la relación entre la energía directa y la reflejada es conveniente el estudio en planta de la forma, para beneficiar las trayectorias del sonido.

Las distintas tipologías de salas se han estudiado en la introducción de este proyecto, (ver en la Introducción de la página 6 hasta la página 12).

Otra cuestión a tener en cuenta son las paredes laterales de la sala. Éstas deben estar diseñadas para proporcionar suficientes reflexiones para dar una impresión espacial con calidad.

La inclinación de la zona del público tiene una doble función, por un lado mejorar la visual de todos los espectadores y, por otro, hacer que la onda directa llegue libre de obstáculos a cualquier oyente.



La zona ocupada es altamente absorbente. Las butacas son el elemento más absorbente de la sala, éste depende del porcentaje de tapizado, del tipo de butaca, entre otros.

Como ya se ha indicado las paredes laterales mejoran las reflexiones. Pero éstas no son las únicas encargadas en desempeñar el papel reflectante. Los techos colaboran en enviar las ondas sonoras tanto al público como a las paredes laterales, reforzando así la impresión espacial y la percepción de la reverberación.

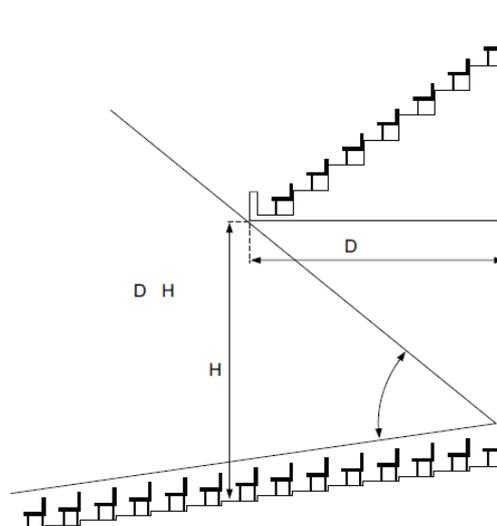
Será necesario un techo que contribuya a crear estas reflexiones a los patios de butacas, tanto en la parte anterior como en la parte posterior al escenario, no siendo necesario en los balcones o palcos, ya que las 2 filas que lo componen ya están cerca de la fuente sonora.

Este techo reflectante tendrá forma ondulada, creando varias superficies cóncavas y convexas. Las curvas serán suaves y los cambios de superficies serán lo menos bruscos posibles, creando una continuidad perfecta.

Como se ha comentado anteriormente en la zona del patio de butacas principal no existirán anfiteatros, ya que se tendrían que eliminar las filas situadas bajo del anfiteatro porque no se cumpliría la siguiente premisa:

$$D \leq 2.5 H$$

Siendo D la profundidad de la zona situada debajo de un anfiteatro y H la altura de la abertura asociada.



(13)



Estudio de las dimensiones del escenario:

El auditorio está pensado para albergar pequeños conjuntos instrumentales y música de cámara.

Con esto, se sabe que el escenario se tendrá que adaptar para una cantidad de músicos que puede variar desde 2 instrumentos hasta un conjunto de unos 18 - 20 músicos como máximo.

Según los instrumentos más representativos de la música de cámara y la superficie necesaria para cada uno de ellos, se obtendrá una superficie media, válida para todos los rangos posibles que se puedan ejecutar en el auditorio. Para ello disponemos de unas superficies orientativas de estos instrumentos:

Violín, viola e instrumentos de viento pequeños 1.25 m²

Violoncelo e instrumentos de viento de gran tamaño 1.5 m²

Contrabajo 1.8 m²

Superficie media:

| | | | |
|---------------------|---|---------|-----------------------|
| - Primeros Violines | → | 4 x1.25 | = 5 m ² |
| - Segundos Violines | → | 4 x1.25 | = 5 m ² |
| - Violas | → | 2x1.25 | = 2.5 m ² |
| - Violoncelos | → | 2x1.5 | = 3 m ² |
| - Contrabajo | → | 1x1.8 | = 1.8 m ² |
| - Flauta | → | 1x1.25 | = 1.25 m ² |
| - Oboe | → | 1x1.5 | = 1.5 m ² |
| - Clarinete | → | 1x1.25 | = 1.25 m ² |
| - Fagot | → | 1x1.8 | = 1.8 m ² |
| - Trompa | → | 1x1.8 | = 1.8 m ² |

TOTAL → → =24.9 m²

El escenario será de forma poligonal con una superficie mayor a la necesaria, para poder albergar más músicos, en el caso que se requiera.

$$A = 33.8175 \text{ m}^2$$



El escenario estará formado por tarimas ascendentes de 10 cm. la parte más baja hasta 30 cm. la parte más alta.

Comentar que en los planos iniciales en la sala hay dos zonas con cerramiento de vidrio, éste se cambiará por el mismo cerramiento que el resto de la sala.

Estudio ubicación del escenario:

Partiendo de la forma de la sala y el tipo de escenario se estudian todas las posibles soluciones para conseguir el mayor aforo posible sin detrimento de la calidad tanto acústica como visual.

Ubicación del escenario:

- Lateral o extremo:
 - o Focaliza el sonido en una misma dirección
 - o Mayor distancia entre el foco emisor y el receptor
 - o No permite la utilización de palcos o anfiteatros
- Central:
 - o Menor distancia entre el foco emisor y el receptor
 - o Posibilidad de utilización de palcos
 - o Reparte el sonido en cuatro direcciones

A continuación se explicará más sobre la solución elegida, la del escenario central.

El escenario se intentará colocar lo más centrado a ambos patios de butacas existentes para que haya una similitud entre las ondas sonoras que reciben.

Una vez colocado, se intenta optimizar al máximo los patios de butacas, para ello, teniendo en cuenta los pasillos mínimos exigidos, lo desplazaremos un poco a un extremo para poder albergar otra fila de butacas en el espacio dejado al otro lado.

Por otro lado, formando una cruz se pueden disponer dos palcos enfrentados.

En estos sólo se podrán situar dos filas de butacas, ya que hay muy poca altura y se necesitaría una gran diferencia de alturas entre la primera fila y la segunda para poder conseguir la calidad visual.

Establecidas todas las filas de butacas, aparece una contradicción, ambos patios de butacas parten de la cota 0'00, esto sólo es válido para el patio de butacas que tiene situado el escenario enfrente, pudiendo apreciar el orden ascendente de las tarimas. Así pues, se debe subir todo el patio de butacas



trasero a la altura del escenario, para así poder ver la parte superior del tronco de los músicos.

Por tanto, la sala dispondría de tres niveles situados a distinta altura.

Teniendo en cuenta todo esto, podremos dar cobijo a unos 274 espectadores más dos sitios reservados para personas con algún tipo de discapacidad física.

Tratamiento de las superficies:

El tratamiento de las superficies influirá en el resultado acústico bajo dos aspectos:

- Capacidad absorbente
- Capacidad difusora

La necesidad de cada tipo de elemento nos quedará marcada por el volumen de la sala, el tiempo de reverberación, el brillo, la calidez, la superficie ocupada por el público entre otros.

En el siguiente apartado se analizarán las propiedades de los materiales que disponen estas características, y junto con todos estos antecedentes expuestos, se alcanzará una posible solución.

Visuales:

Partiendo del foco, escenario, se cogerá un punto fijo de éste. Del punto saldrán líneas (rayos visuales) que llegarán al punto visual del espectador, los ojos. Para que todos los espectadores puedan apreciar la actuación estas líneas deberán ser rasantes a las cabezas de la fila anterior. (ver planos 4, 5, 6 y 7 de la Parte III)

Se recuerda que se considerará calidad visual cuando se aprecie más del 70-80 % de escenario (ver introducción página 4).



Primeras reflexiones:

Es muy importante el estudio de las primeras reflexiones sobre los oyentes.

La existencia de primeras reflexiones en una sala contribuye a un aumento de la claridad musical (C80), de la sonoridad (G) y, en muchos casos, a una mayor intimidad acústica (tl menor).

Si, además, dichas reflexiones son laterales, es decir, existe una diferencia de tiempos entre la llegada de las mismas a cada uno de los dos oídos, se produce una mejora del grado de impresión espacial en la sala.

Este estudio de la situación y orientación de las superficies de una sala, a fin de obtener una determinada energía de primeras reflexiones en la zona de público, se basa en la acústica geométrica

Para audición musical, es preferible proveer al auditorio de muchas reflexiones decayendo gradualmente en intensidad a medida que se distancian más de la llegada del sonido directo.

Los elementos difusores son muy útiles ya que dispersan el sonido en todas las direcciones.

Otra opción sería disponer en el techo de superficies convexas, que implicarían una dispersión o difusión del sonido. En este caso, existe el problema de la focalización. Para evitarlo se puede recubrir de material absorbente las zonas donde se originen las focalizaciones o colocando en estos puntos superficies convexas.

Para este auditorio se han utilizado superficies convexas y cóncavas con una ondulación muy suave para evitar las focalizaciones (ver desde el plano 8 al 13, ambos inclusive, del apartado de primeras reflexiones de la Parte III).

Superficies:

En la Parte III del proyecto en la sección de superficies, aparecen los planos con los cuadros de superficies (ver planos 14 y 15 del apartado de primeras reflexiones de la Parte III) que se utilizarán para poder proceder al acondicionamiento de la sala y controlar los materiales a colocar y la respuesta que darán.



Volumen:

Se debe calcular el volumen libre de la sala para estudiar la evolución del sonido.

Volumen sala = 1775.05 m³ (ver plano 15 de la Parte III)

Volumen ocupado = volumen (zona A + zona B + zona C + zona D) = 279.23 m³

Zona A: 113.39 m³

Zona B: 155.03 m³

Zona C: 6.29 m³

Zona D: 4.52 m³

Total: 279.23 m³

Volumen total libre = 1775.05 – 279.23 = 1495.81 m³

13 → imágenes extraídas de libro *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*



CAPÍTULO 3: MATERIALES

ESTUDIO DE LOS MATERIALES

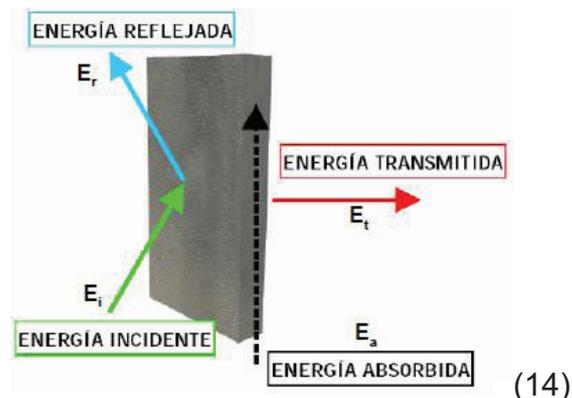
En el planeamiento general del acondicionamiento acústico, por el que una sala no es más que el canal de transmisión de un mensaje sonoro del emisor al receptor, desempeña un papel importante el tiempo de persistencia del sonido en la misma, así como los fenómenos de resonancia y la posible existencia de eco. Todos estos fenómenos presentan una característica en común y es que para su corrección, una de las posibilidades (en ocasiones única), es la absorción de energía acústica en las reflexiones por parte de los elementos presentes en el recinto en cuestión.

En acústica de salas, la absorción se usa, pues, para controlar el tiempo de reverberación, eliminar ecos y modos de resonancia no deseables y ayuda a obtener un correcto balance entre energías directa y reverberada, según el tipo de audición. La absorción acústica es también útil para el control de ruidos, bajando el nivel de ruido de fondo dentro de un recinto.

Principios de funcionamiento de los materiales absorbentes:

Cuando una onda acústica incide sobre una superficie, la energía que posee pasa a:

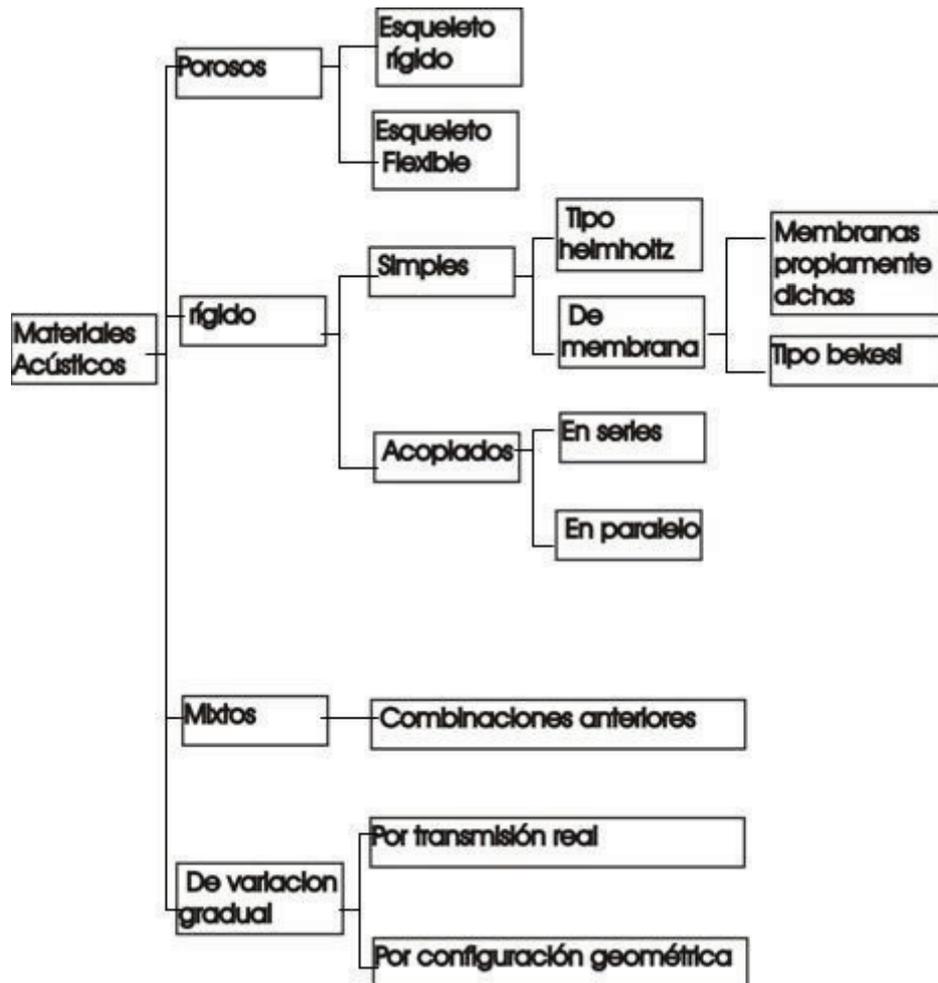
- Energía reflejada (E_r): es la parte de la energía que según las propiedades de los materiales de acabado donde incide, vuelve en mayor o menor medida hacia el mismo lado de la fuente de procedencia.
- Energía absorbida (E_a): es aquella que se disipa, según los materiales de acabado, después de contactar con estos.
- Energía transmitida (E_t): es aquella que penetra en la superficie en contacto.





(imagen extraída del libro diseño acústico de espacios arquitectónicos)

Mediante el empleo de materiales absorbentes se podrá actuar sobre la componente del sonido reflejado, para poder adaptar las características de los locales a su determinado uso.



(15)

Materiales porosos:

Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia entre ésta y la pared. Cuyo mecanismo de absorción radica en transformar la energía acústica, principalmente, en energía calorífica por medio de procesos de fricción interna.

Son de estructura granular o fibrosa, siendo importante el espesor de la capa y la distancia de esta a la pared. El espesor del material se elige de acuerdo con el valor del coeficiente de absorción empleado, ya que si es demasiado



delgado, se reduce el coeficiente de absorción a bajas frecuencias, mientras que si es muy grueso resulta muy caro.

En un panel acústico, el incremento de su espesor aumenta la absorción principalmente a las frecuencias de 250, 500 y 1000Hz, con un efecto prácticamente despreciable fuera de este rango.

Si se monta este material dejando un espacio de aire entre el mismo y la pared, aumenta la absorción a 250Hz y algo a 125Hz. Existe también una disminución característica de absorción a 500Hz en todos los montajes con espacio de aire, pero no existe o es muy pequeño el cambio a frecuencias más altas. La mayoría de los materiales presentan cambios insignificantes en la absorción a medida que el espacio de aire se incrementa de 20 a 40 cm.

Materiales porosos-rígidos:

Estos materiales se usan en forma de yesos absorbentes sonoros con una estructura granular o fibrosa, de tela o esterilla hecha de mineral orgánico o lana artificial, o de losetas acústicas y bloques comprimidos de fibras con la adición de aglutinantes. Los yesos absorbentes sonoros son los más resistentes y se montan con facilidad en superficies convenientemente preparadas; sin embargo, cuando se instalan en edificios no siempre poseen coeficientes de absorción uniformes.

Su capacidad de absorción disminuirá a medida que lo haga el espesor de la capa.

Una disminución en el espesor o en la porosidad del material origina un cambio de la absorción máxima hacia altas frecuencias.

El coeficiente de absorción disminuye a bajas frecuencias.

La presencia de un espacio de aire entre el material y la pared rígida origina un aumento de la absorción a las bajas frecuencias, y un incremento en el espacio de aire se acompaña con un cambio de la absorción máxima hacia las bajas frecuencias y por un aumento en el valor máximo del coeficiente de absorción sonora.

Materiales poroso-elásticos:

Si el material absorbente tiene un esqueleto que es elástico, tanto el aire de los poros como el esqueleto en sí estarán sujetos a las vibraciones.



Un aumento en el número de capas en el sistema, de una a dos, aumenta considerablemente los límites de las frecuencias para las que el coeficiente de absorción permanece comparativamente grande.

Buena aproximación entre los valores calculados y los medidos del coeficiente de absorción.

Para aumentar la anchura de la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, se aumenta la distancia entre capas a medida que nos alejamos de la pared rígida.

Para evitar saltos en la variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, los espacios de aire no deben ser iguales ni múltiplos unos de otros.

El material permeable al sonido se elegirá y pegará a los paneles muy cuidadosamente, puesto que ejercen un efecto importante en el coeficiente de absorción.

Los sistemas resonantes de una, dos y tres capas tienen unas dimensiones pequeñas y son robustos, por lo que se pueden emplear para amortiguar fuertes flujos de aire en los sistemas de ventilación.

Haciendo paneles de metal o plástico, las perforaciones pueden hacerse fácilmente en la lámina mineral.

Materiales para argamasa:

Son aquellos que se aplican en estado húmedo con paleta o pistola para formar superficies continuas de un espesor deseado.

Los morteros acústicos se aplican normalmente a una capa de cemento o sobre cualquier otro material. La aplicación puede ser en dos o más capas, empleando métodos normales de fratasado, aunque se está utilizando cada vez más el método a pistola.

Sistemas de paneles perforados:

Consisten en paneles separados, tales que rompan la impresión de continuidad de la superficie en el tratamiento decorativo de las paredes o techos.

Son fácilmente adaptables a las exigencias estéticas

El coeficiente de absorción sonora de estos sistemas está definido por la inercia y la resistencia del aire en los agujeros del sistema.



La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de una capa simple, tiene un máximo perfectamente definido.

La frecuencia a la que el coeficiente de absorción presenta un máximo, aumenta con el incremento del diámetro de las aberturas y con una reducción de la distancia entre las aberturas, o entre la capa perforadora y la pared.

El sistema se puede calcular para unos parámetros dados, permitiendo la absorción sonora necesaria, dentro de los límites de las bandas de frecuencia especificada.

El sistema es muy eficaz, económico y estable operando.

Un defecto importante de la capa es que tiene una variación del coeficiente de absorción con la frecuencia, comparativamente más estrecha y puntiaguda.

Son aluminio o acero perforado, con un relleno de fibra mineral, siendo este relleno el elemento absorbente del sonido, de unos 3cm de espesor, con un sistema ignífugo.

El relleno se coloca en el panel durante la instalación y se mantiene separado del mismo con una rejilla, con el fin de facilitar las operaciones de limpieza conservando su absorción acústica.

El acabado de estos materiales es en esmaltes de alta calidad, que facilitan un lavado frecuente. Su aplicación más general es como techos acústicos suspendidos, por su facilidad de montaje y de coordinación con los sistemas aire/luz.

Todos estos materiales tienen un alto rendimiento como absorbentes acústicos variando sus valores en función de la forma de perforación, de la densidad y espesor del elemento absorbente, así como el espacio de aire existente detrás de él.

Sistemas de paneles rígidos:

Estos sistemas a parte de los que se emplean para corregir la absorción a bajas frecuencias, también crean en el recinto un campo sonoro más difuso, ya que una onda plana reflejada desde una superficie vibrante pierde sus propiedades direccionales. Las propiedades de dispersión sonora de los sistemas rígidos aumentan si la distancia entre los paneles próximos es mayor que la anchura de cada sistema y la suma de ambas distancias es mayor que la longitud de la onda sonora.



La variación del coeficiente de absorción con la frecuencia de un sistema vibratorio rígido, se representa en forma de una curva de resonancia.

La capacidad de absorción de estos materiales depende de su elasticidad, de su peso específico, dimensiones y del procedimiento de sujeción de los paneles, así como de la posición relativa a la pared rígida, y del relleno de los espacios entre el sistema y la pared.

El amortiguamiento de los bordes y relleno de los huecos con materiales blandos, da como resultado un aumento del coeficiente de absorción y un cambio hacia la zona de las bajas frecuencias, del valor máximo del coeficiente de absorción.

Para obtener una variación del coeficiente de absorción en función de la frecuencia, de forma más regular en un sistema vibratorio rígido, sería necesario utilizar elementos que tuviesen diferentes frecuencias características distribuidas en un ancho margen de frecuencias. Esto se puede obtener variando la resistencia y el peso específico de los paneles, o su distancia a la pared.

Absorbentes suspendidos:

Son materiales y estructuras acústicas que están suspendidas como unidades individuales del techo de un recinto. Normalmente toman la forma de láminas planas o pantallas de material absorbente, colgadas verticalmente en hileras continuas, o bien de unidades con forma de cajas vacías suspendidas singularmente.

La absorción sonora de los absorbentes suspendidos se establece normalmente como el nº de m² de absorción suministrados por cada uno. Este valor aumenta con el espaciado de los absorbentes y se aproxima a un valor constante, con espaciados amplios.



Difusores:

Son dispositivos capaces, gracias a su forma y construcción, de provocar reflexiones difusas de las ondas acústicas incidentes.

Difusores policilíndricos:

Formados por un conjunto de superficies lisas de forma convexa dispuestas secuencialmente con un radio de curvatura inferior, aproximadamente, a unos 5 m. suelen ser de madera.

Difusores de Schroeder:

Estos difusores también se denominan RPG. Existen varios tipos:

- Difusores MLS
- Difusores QRD
- Difusores PRD

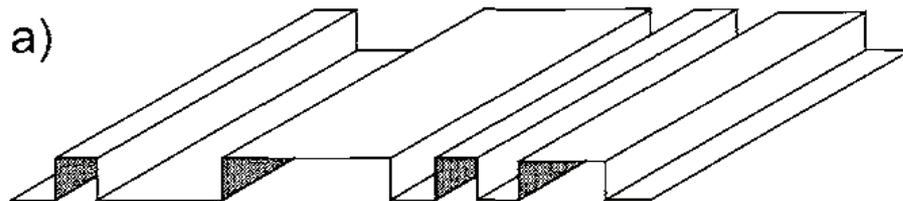
Difusores MLS:

Basados en unas secuencias pseudoaleatorias periódicas, denominadas de longitud máxima, que sólo pueden adquirir valores diferentes: -1 y +1.

El elemento difusor consiste en una superficie dentada. Se crea partiendo de una superficie lisa y reflectante, la cual se subdivide en tramos de igual anchura. A cada tramo se le asigna un valor de la secuencia pseudoaleatoria, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Si el valor es -1, el tramo queda inalterado.
- Si el valor es +1, se crea una ranura en el espacio ocupado por el tramo.

Este tipo de difusores presenta menor absorción a bajas frecuencias que los difusores QRD y PRD.



(16)



Difusores QRD:

Existen dos tipos de difusores de residuos cuadrados, los unidimensionales y los bidimensionales.

Unidimensionales:

Son los más utilizados a nivel práctico, consisten en una serie de ranuras paralelas de forma rectangular, de igual anchura y de diferente profundidad. Por lo general, dichas ranuras están separadas por unos divisores delgados y rígidos.

La profundidad de cada ranura se obtiene a partir de una secuencia matemática prefijada dando lugar a estructuras repetitivas, que producen en un determinado margen de frecuencias una dispersión del sonido en planos perpendiculares a dicha ranura.



(17)

Bidimensionales:

Aparecen con el objetivo de obtener una óptima difusión del sonido incidente en todas las direcciones del espacio.

En este tipo de difusores las ranuras son sustituidas por pozos dispuestos en paralelo, de profundidad variable, y de forma generalmente cuadrada.



(18)



Difusores PRD:

Son análogos a los difusores unidimensionales QRD, con la salvedad de que la profundidad de cada ranura se obtiene a partir de una secuencia generadora distinta.

Las propiedades de este tipo de difusores son muy parecidas a las de los difusores unidimensionales QRD, salvo por el hecho de que la energía asociada a la reflexión especular es muy baja.

14, 16 → imágenes extraídas de libro *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*

15, 17,18 →

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/Acustica_arquitectonica/practica/MATERIALES.HTM



APLICACIÓN DE LOS MATERIALES ACÚSTICOS:

Como se ha comentado en el capítulo anterior, las propiedades acústicas de un local las conseguiremos con los materiales. Estos contribuirán absorbiendo la energía necesaria por medio de paredes, techos, suelos...y, a su vez, algunas de estas partes de la sala estarán conformadas para reflejar el sonido y repartirlo según sea necesario.

Como norma, el único elemento con un grado de absorción acústica apreciable que se debe utilizar en una sala de conciertos son las sillas. Así pues, se presupone que todos los otros acabados deberán ser reflectantes. Esto es así para que no exista una pérdida en sonidos graves ni agudos, lo que supondría una disminución de la calidez acústica y del brillo de la sala.

En teoría, sólo en algunos casos se podrían añadir algunos materiales absorbentes, que ayudarán a controlar el eco imprevisto. En la práctica, el porcentaje de superficie tratada no deberá superar el 10% de la superficie total de la sala.

Como la sala en cuestión ya está ejecutada, sólo se estudiarán los acabados utilizados.

Paredes y techos:

- Se podría utilizar madera con un grosor superior a 25 mm y de densidad media-alta, cuando esté perfectamente adherida a las paredes/techos podrá ser suficiente utilizar una lámina de madera sin limitación de grosor mínimo.
- La madera delgada situada a una cierta distancia de la pared o techo actúa como resonador de membrana, con una frecuencia de máxima absorción para las bajas frecuencias.

Pasillos:

- Alfombras con pequeños grosores o linóleo adheridas sobre una base sólida.

Sillas:

- Evitar las que absorban excesivamente las bajas frecuencias
- Evitar las que tengan una alta absorción selectiva en la banda centrada de frecuencia.
- Aquellas que presenten un bajo porcentaje de superficie tapizada es conveniente que en la parte inferior del asiento se les realicen



perforaciones, con el fin de reducir las diferencias entre los coeficientes de absorción a bajas frecuencias, de las sillas vacías y ocupadas.

En el caso de utilizar difusores de residuo cuadrático QRD sobre una superficie de dimensiones significativas hay que tener presente que cuanto mayor sea la relación entre la máxima profundidad y la anchura de las ranuras, mayor absorción acústica tendrá lugar.



SOLUCIÓN ADOPTADA:

Según la fórmula de Sabine:

$$RT = 0.161 \times V / A_{tot}$$

Siendo RT: tiempo de reverberación

V: volumen de la sala

A_{tot}: la absorción de la misma

Para el volumen de 1495 m³ y un tiempo de reverberación de unos 1.5 s (dentro del intervalo de {1,3-1.7} requerido en la música de cámara), la absorción del recinto deberá ser de 161.46 sabins.

Y para la superficie total de 1004m² corresponderá un coeficiente de absorción de 0.160 (161.46/1004).

Igual que se sabe que el tiempo de reverberación tendrá que oscilar entre 1.3 s a 1.7 s, y cogemos 1,5 s de referencia, para la calidez será válido todo aquel valor que se encuentre entre 1,1 y 1,45 s. y para finalizar, el brillo tiene que ser superior a 0,87 pero nunca deberá superar la unidad.

Una vez elegidos los materiales a utilizar, se tiene que comprobar que el tiempo de reverberación, la calidez y el brillo estén dentro de los márgenes recomendables.

Como se ha comentado anteriormente, la absorción propiamente dicha correrá a cargo de las butacas. Éstas serán fijas. Los coeficientes aportados de estas sillas han sido realizados experimentalmente por el departamento de física de la facultad de arquitectura superior. Estos datos vienen referenciados por U.A.:

Sala vacía:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| mini-space figueras-vacia | 0,10 | 0,14 | 0,24 | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,27 |

Sala llena:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| mini-space Figueras-llena | 0,14 | 0,23 | 0,32 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,35 |



Para conseguir la absorción para la sala ocupada al 50% se tendrá que calcular sumando la mitad de la absorción de la sala vacía y de la sala llena para cada una de las frecuencias.

Una vez, se tiene claro las butacas, se procede a estudiar los paramentos verticales.

Para las superficies del fondo de los patios de butacas, interesa colocar un material que pueda absorber a frecuencias bajas.

Se colocará un contrachapado de madera de 3mm de espesor con cavidad de aire en el dorso:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,06 |

Como se ha observado anteriormente, la madera de poco espesor a una cierta distancia (resonador) tendrá su frecuencia máxima de absorción a bajas frecuencias.

En el resto de paramentos verticales se colocará materiales que ayuden a la reflexión del sonido. Para ello utilizaremos madera sólidamente adherida.

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 |

Este material será característico por tener poca absorción a bajas frecuencias.

Se colocará en las paredes laterales, en antepechos e incluso será el utilizado en las puertas.

Por último faltarían los paramentos horizontales: techo y suelo.

El suelo se divide en 2 partes, la parte del escenario y el resto.

El escenario estará formado por parqué:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Parqué sobre rastreles | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,20 | 0,08 |



El resto del suelo estará cubierto por un material fino, el linóleo:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 |

Ambos materiales tendrán muy poca absorción.

En cuanto al techo también se dividirá en 2 secciones. La parte reflectante y la absorbente. La parte reflectante predominará en gran medida sobre la absorbente. Quedando esta última reducida a la zona trasera de las butacas situadas en la 1ª planta.

El techo tendrá forma ondulada para difundir mejor el sonido.

La parte reflectante estará compuesta por un tablero de cartón yeso de 13 mm con cámara aire en el dorso sujeto por perfiles 5 x 10 cm interdistaniciados 40 cm:

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Tablero de cartón yeso de 13 mm con cámara aire en el dorso sujeto por perfiles 5 x 10 cm interdistaniciados 40 cm | 0,29 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,05 |

La absorción a medias-altas frecuencias será muy pequeña.

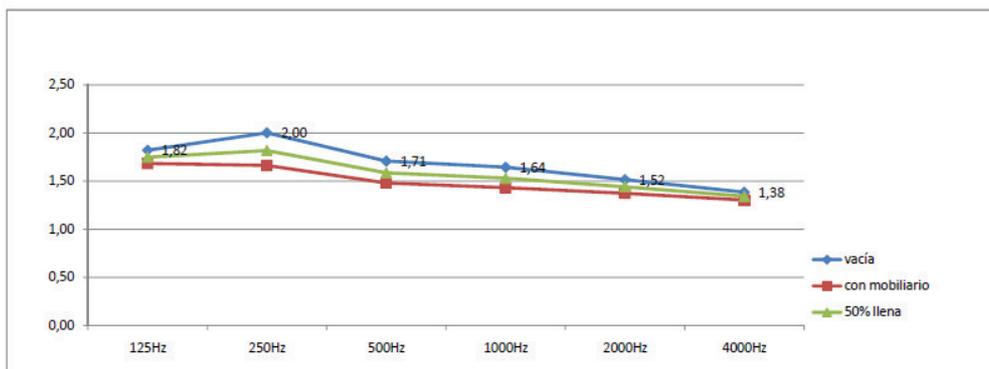
Como parte del techo absorbente se dispondrá de los paneles acústicos de lana de roca (30 mm) de la marca Mono Acoustic que estarán provistos de un velo de color blanco en la cara visible y de un contravelo de elevado rendimiento en la cara trasera. Los paneles se fijarán mecánicamente sobre la estructura y, a continuación, se aplicará una capa con uniones y una capa de acabado (en blanco o en color) (ver Parte II Anexo 2, ficha Mono Acoustic)

| | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE |
|--|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Panel mono acoustic 30mm de lana de roca | 0,20 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

A continuación, se estudia el comportamiento de la sala (ver Parte II anexo 3) mediante una tabla que nos relaciona las superficies de los paramentos con la absorción de los acabados dispuestos sobre estos. Según se encuentre la sala dentro de los 3 supuestos (vacía, ocupada, 50% ocupada) se tendrán que adoptar unas medidas o otras. La misión pues, es encontrar una única solución que sea válida en los 3 estados.



| AUDITORIO MÚSICA DE CÁMARA | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|---|------|------|------|------|------|------|
| VOLUMEN | | 1495,81 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE | | | | | | | |
| Suelo libre | 144,25 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 2,88 | 2,88 | 4,33 | 2,40 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| suelo escenario | 23,37 | 1,17 | 0,70 | 1,40 | 2,10 | 2,34 | 4,87 | 1,95 | Parqué sobre rastreles | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,20 |
| escaleras A | 15,38 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,31 | 0,31 | 0,48 | 0,26 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras B | 20,19 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,40 | 0,61 | 0,34 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras C | 1,52 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras D | 1,81 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| pared fondo A | 28,91 | 2,96 | 5,65 | 2,89 | 1,25 | 0,81 | 0,54 | 1,81 | Contrachapado de madera de 9 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo B | 36,61 | 4,03 | 7,69 | 3,68 | 1,83 | 1,10 | 0,73 | 2,20 | Contrachapado de madera de 9 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo C | 39,07 | 4,30 | 8,20 | 3,91 | 1,95 | 1,17 | 0,78 | 2,34 | Contrachapado de madera de 9 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo D | 27,15 | 2,99 | 5,70 | 2,72 | 1,36 | 0,81 | 0,54 | 1,83 | Contrachapado de madera de 9 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| paredes laterales A | 58,29 | 0,58 | 1,69 | 2,25 | 2,53 | 2,81 | 3,10 | 2,53 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales B | 90,74 | 0,91 | 2,72 | 3,63 | 4,08 | 4,54 | 4,99 | 4,08 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales C | 21,16 | 0,21 | 0,63 | 0,85 | 0,95 | 1,06 | 1,16 | 0,95 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales D | 30,52 | 0,31 | 0,92 | 1,22 | 1,37 | 1,53 | 1,68 | 1,37 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales E (esc) | 23,11 | 0,23 | 0,69 | 0,92 | 1,04 | 1,16 | 1,27 | 1,04 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Techo | 270,67 | 78,55 | 27,09 | 13,54 | 10,83 | 18,98 | 24,38 | 14,45 | Tablero de cartón yeso de 13 mm con cámara aire en el dorso sujetado por perfiles 5x10 cm interdistanciados 40 cm | 0,29 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,09 |
| Techo abe | 35,77 | 7,15 | 17,88 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | PANEL mono acústico 30mm de lana de roca | 0,29 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| antepecho A | 6,66 | 0,07 | 0,20 | 0,27 | 0,30 | 0,35 | 0,37 | 0,30 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| antepecho C | 8,68 | 0,09 | 0,28 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,48 | 0,39 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| antepecho D | 5,91 | 0,06 | 0,18 | 0,24 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | 0,27 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Puertas | 18,31 | 0,18 | 0,55 | 0,73 | 0,82 | 0,92 | 1,01 | 0,82 | Madera fijada solidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| butacas vacías | 274,00 | 27,40 | 38,36 | 65,78 | 78,72 | 82,20 | 87,68 | 74,89 | mini-space Figueras-vacia | 0,1 | 0,14 | 0,24 | 0,28 | 0,3 | 0,32 |
| butacas llenas | 274,00 | 38,36 | 83,02 | 87,68 | 98,64 | 98,64 | 98,64 | 94,99 | mini-space Figueras-llena | 0,14 | 0,23 | 0,32 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| butacas 50% ocupadas | 274,00 | 32,88 | 50,69 | 78,72 | 87,68 | 90,42 | 93,16 | 84,94 | | | | | | | |
| | 904,25 | 143,95 | 145,61 | 163,68 | 188,28 | 178,33 | 185,93 | 188,75 | | | | | | | |
| Vacia | Sabine | 1,82 | 2,00 | 1,71 | 1,64 | 1,52 | 1,38 | 1,62 | | | | | | | |
| Llena | Sabine | 1,68 | 1,66 | 1,48 | 1,43 | 1,37 | 1,30 | 1,43 | | | | | | | |
| 50% Llena | Sabine | 1,75 | 1,82 | 1,59 | 1,53 | 1,44 | 1,34 | 1,52 | | | | | | | |
| Calidez | | 1,15 | | | | Rt mid | 1,48 | | | | | | | | |
| Brillo | | 0,92 | | | | | | | | | | | | | |



Como se observa tanto en la tabla como en el gráfico, cumpliría todas las exigencias excepto en la sala vacía, es decir, que cuando se quiera utilizar la sala sin audiencia se deberá de disponer de algún elemento como puedan ser paneles móviles para poder apreciar la música que se practica.

En el caso que la sala no llegue al 50% de ocupación se tendría que estudiar la necesidad de colocar los paneles durante toda la actuación.



CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

Una vez finalizado el proyecto es momento de mirar atrás desde una perspectiva crítica.

Los objetivos iniciales de este proyecto han sido conseguir, por una parte, la calidad y el confort acústico, y por otra, adecuar el diseño de la sala a todos los parámetros que rigen dicho nivel de calidad.

Para poder llegar a generar una solución óptima ha sido necesaria la profundización en los conocimientos de la acústica arquitectónica como parte de la Física Técnica.

Una de las primeras preguntas a hacerse era si el acondicionamiento era lo mismo que el aislamiento, y de no ser así que implicaciones tenía cada uno de ellos. Para llegar a saber que el aislamiento nos protege de los ruidos tanto internos como externos que se transmiten de forma aérea y/o mediante impacto. Y, que el acondicionamiento es el tratamiento que se le da al interior de la sala, para que aislada del exterior, se puedan dar las condiciones acústicas necesarias, es decir, que según el revestimiento interior podamos contribuir en la respuesta que nos dará la sala.

Además era necesario estudiar las características musicales de las interpretaciones definidas en el programa de uso. Y qué tipo de instrumentos se le asocia a tal música y la variación de instrumentos actuantes.

Normalmente se usan instrumentos de cuerdas, pianos, y, aunque menos usuales, también se emplean instrumentos de viento, metal.

La composición instrumental oscila entre dos hasta unos veinte.

Uno de las dificultades ha sido optimizar el uso de la sala. Ya que la ubicación del escenario nos permitía o no jugar con la altura que se disponía.

Esta optimización se refiere a dar cobijo al mayor número de espectadores con una calidad acústica óptima desde la mayoría de las localidades.

Así pues, centrandó en la sala el escenario se tenían que disponer grandes pendientes para poder tener unas buenas visuales desde cualquier punto.

A parte se tenía que jugar con la forma de la sala para contribuir a las reflexiones y difusión del sonido.



La parte más determinante puede que haya sido la elección de los materiales, pues, aunque un buen diseño de la sala contribuye con la difusión del sonido, un material equivocado puede arruinar la percepción acústica del recinto.

Aquí nos planteamos dos partes, las absorbentes y las reflectantes.

Como parte absorbente teníamos los asientos y, también queríamos que las paredes del fondo de cada zona fueran absorbentes para evitar ecos.

Y todo el resto de superficies se planteaban reflectantes, con la salvedad de la zona posterior de los palcos que por necesidad de cálculo pasarían a formar parte de la superficie absorbente.

Para todo esto se intenta jugar con el mínimo número de materiales, utilizando:

- Madera en las superficies verticales y en el suelo del escenario
- Linóleo en el suelo
- Mono acoustic y cartón-yeso en el techo

Como conclusiones finales del trabajo se puede extraer las siguientes:

1. Sobre la ubicación central del escenario, permite mejorar las condiciones de visibilidad sin una reducción drástica del aforo además de acercar la fuente sonora al público ganando intimidad y mejorando así las sensaciones sonoras.
2. La problemática sobre la bidireccionalidad del escenario se resuelva adecuadamente con el diseño difusor del techo, facilitando la homogeneidad en la distribución sonora sobre el plano de audición.
3. La combinación de materiales seleccionada produce una absorción distribuida en todas las frecuencias que conlleva la obtención de una curva tonal equilibrada y ajustada al uso previsto considerando el volumen reducido del recinto.



PARTE II: ANEXOS



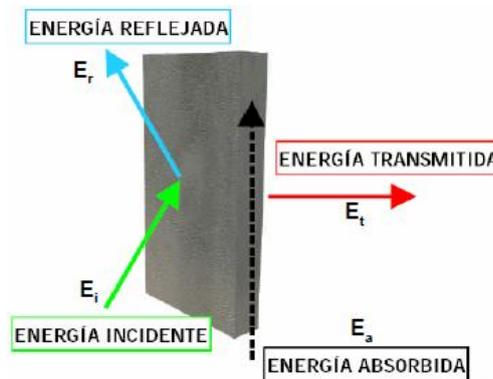
Se entiende por aislamiento al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genere en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto.

El aislamiento depende de las propiedades de los materiales, de las soluciones constructivas utilizadas y del contexto arquitectónico que las integra.

Definido en términos de magnitud física el aislamiento es la cantidad de energía sonora que se atenúa al propagarse del recinto emisor al recinto receptor. Cuando hablamos del aislamiento acústico de un elemento constructivo, nos referimos a la cantidad de ruido que es capaz de eliminar.

De la energía acústica incidente en una partición:

- Una parte es reflejada por la superficie
- Una parte es absorbida por la superficie
- El resto se transmite



Tipos de ruidos:

Las fuentes de ruido en edificación son muy diversas. Fundamentalmente se pueden clasificar en ruido aéreo y ruido de impactos, es decir, aquellos ruidos que se originan en el aire y aquellos ruidos que se generan en los sólidos, esta clasificación de los ruidos es muy importante ya que en función de que la naturaleza de un ruido sea una u otra, los mecanismos de actuación para la reducción de ruido serán diferentes.

Los ruidos que aparecen en edificación provienen de focos emisores con origen diverso:



- Ruido exterior (tráfico rodado, trenes, aviones, actividades comerciales o industriales...)
- Ruido interior (conversaciones, televisión, electrodomésticos e instalaciones y cualquier otro tipo de actividad de los vecinos...)
- Ruido de máquinas (ascensores, sistemas de climatización, salas de máquinas...)
- Ruido de impactos (caída de objetos al suelos, pisadas...)

Ruido aéreo:

Una fuente de ruido aéreo en edificación emite ondas sonoras que inciden sobre los sistemas constructivos separadores entre recintos. Cuando dicha onda sonora incide sobre el elemento constructivo, éste responde a la excitación entrando en vibración y convirtiéndose en un nuevo foco sonoro, que transmite el ruido al recinto colindante.

Ruido de impactos:

Una fuente de ruido de impactos sobre el forjado de un recinto excita a éste mecánicamente; el forjado, o receptor del impacto, se convierte en un generador de ruido aéreo y estructural, originando una serie de vibraciones que se propagan por el forjado a los elementos constructivos conectados a éste, como pilares y tabiques, que son excitados y su vez se convierten en fuentes de ruido aéreo. Habida cuenta que la velocidad de transmisión del ruido en los sólidos es más rápida que en el aire el ruido de impacto se transmite a gran distancia con muy escaso amortiguamiento.

La forma de actuar ante los ruidos de impacto consiste en interponer un material aislante elástico con el objeto de que la energía del impacto se transforme en una deformación elástica del material en vez de en energía sonora.

Vías de transmisión del sonido:

El sonido no se propaga exclusivamente a través del elemento separador sino que existen otras vías de transmisión indirectas que tienen gran influencia en el aislamiento final in situ de un elemento constructivo.

- Transmisión directa
- Transmisión indirecta

El mecanismo de transmisión está formado por tres elementos:

- La fuente del ruido
- El canal de transmisión



- El local receptor

La fuente se caracteriza por su localización, así como por la naturaleza y descripción del sonido que produce (tipo de fuente, intensidad sonora, espectro en frecuencias, variación temporal, etc.)

El canal de transmisión está constituido por todos los elementos a través de los cuales llega el sonido desde la fuente al receptor. Estos elementos son de tipo muy diverso:

- Paredes (medianeras, fachadas, tabiques interiores...)
- Forjados (suelos, techos, cubiertas)
- Elementos estructurales (vigas, pilares, cimentaciones)
- Otros espacios (patios, escaleras, huecos ascensor, falsos techos, locales contiguos...)
- Puertas, ventanas...

Transmisión directa:

Se produce a través del elemento de separación. Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo. La transmisión aérea directa incluye la transmisión, a través de rejillas, aireadores o dispositivos de menos de un metro cuadrado de superficie que atraviesen en el elemento de separación vertical.

Transmisión indirecta:

Se distinguen dos tipos de transmisiones indirectas:

- Aérea indirecta: si la energía acústica se transmite de un recinto a otro a través de conductos de instalaciones tales como conductos tipo shunt, de aire acondicionado, falsos techos, suelos técnicos o puertas.
- Transmisión indirecta estructural o por flancos: producida por las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación entre recintos. El campo acústico produce en los elementos constructivos, una serie de vibraciones que no quedan confinadas en el elemento constructivo, sino que se disipan en parte en forma de calor, y en parte se transmiten a los elementos constructivos adyacentes. Ya sea desde el elemento de separación a un elemento flanco, desde un elemento flanco al elemento de separación o a través de los flancos. Las transmisiones indirectas dependen del tipo de elementos constructivos de flanco y de sus formas de unión entre sí.

Por tanto, es muy importante vigilar la transmisión a través de los puentes acústicos.



El conocimiento exhaustivo, tanto de las fuentes de ruido como de sus posibles vías de comunicación con el local receptor, nos permitirá dar a éste el adecuado nivel de aislamiento para proteger a sus ocupantes del ruido producido por dichas fuentes.

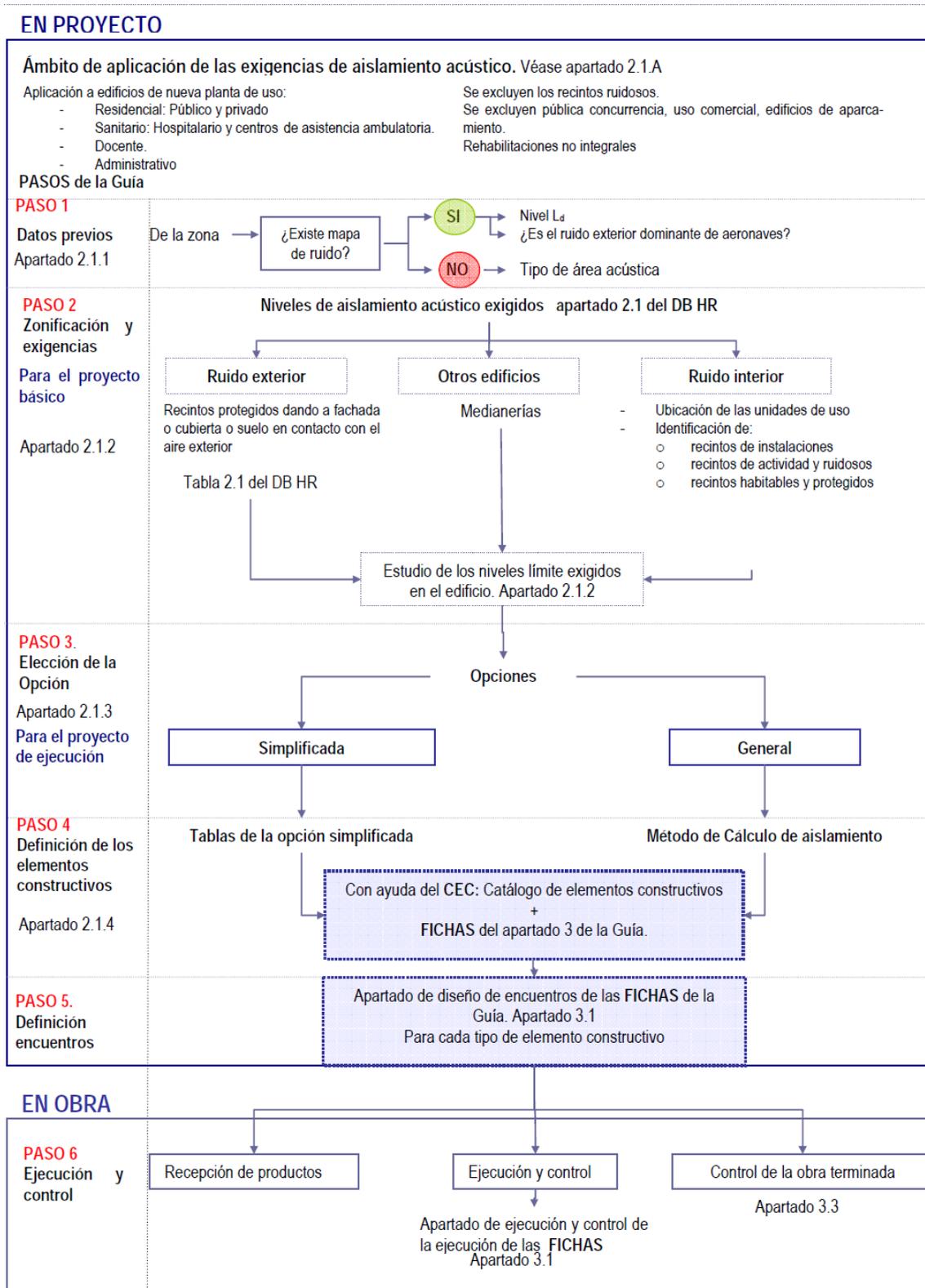
Para el control acústico del ruido se puede actuar, según el caso, sobre:

- Las fuentes del ruido
- Local o espacio donde se produce el ruido (inicio del canal de transmisión)
- Las posibles vías de transmisión del ruido al local receptor (canal de transmisión)
- El local receptor (final del canal de transmisión)
- Sobre las personas o elementos receptores.

El estudio de los mecanismos de transmisión de los ruidos, ya sean aéreos o de vibración o impacto, nos permitirá sacar conclusiones respecto a las barreras a utilizar para evitar parte de dicha transmisión, o lo que es equivalente, la naturaleza del mecanismo de aislamiento a utilizar.



METODOLOGÍA



(19)



Primero se tendría que identificar el uso del edificio. En nuestro caso es un auditorio existente en un conservatorio.

A continuación se procedería a la zonificación del mismo, distinguiendo las siguientes partes:

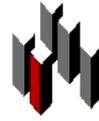
- Ubicación de las unidades de uso
- Identificación de:
 - o Recintos de instalaciones
 - o Recintos de actividad y recintos ruidosos
 - o Recintos protegidos
 - o Recintos habitables
 - o Resto de recintos
- Identificación de las medianeras

Siendo las unidades de uso, una parte de un edificio destinada a un uso específico, y cuyos usuarios están vinculados entre sí, bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación, bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad.

En cuanto a los tipos de recintos:

- No habitables: aquellos no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. No se establecen condiciones acústicas específicas en los recintos no habitables.
- El resto de recintos de un edificio, serán los habitables.
- Serán recintos protegidos aquellos que siendo habitables necesiten desde el punto de vista del aislamiento acústico mejores condiciones como puedan ser las habitaciones, comedores, bibliotecas, salones, aulas, salas de conferencias, despachos...
- No se considerarán como protegidos las cocinas, baños, pasillos, escaleras...
- En cuanto a los recintos de instalaciones serán aquellos que contengan equipos de instalaciones colectivas del edificio.
- Los recintos de actividad y ruidosos son aquellos en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel de presión sonora estandarizado será mayor a 70 dBA.

A partir de aquí se analizarán las exigencias que nos marca el DB-HR.



Para continuar se tiene que elegir la opción de cálculo mediante el método simplificado y el general.

El método simplificado adopta soluciones propuestas en el documento básico. Es válido para edificios residenciales y para edificios realizados con estructura horizontal resistentes formados por forjados de hormigón macizo o aligerado y forjados mixtos de hormigón y chapa metálica. Este método da como resultado valores de aislamiento acústico mayores a los necesarios.

El método general calcula el aislamiento acústico.

Por tanto, se tendría que utilizar el método general.

Línea de partida para el cálculo del aislamiento acústico.

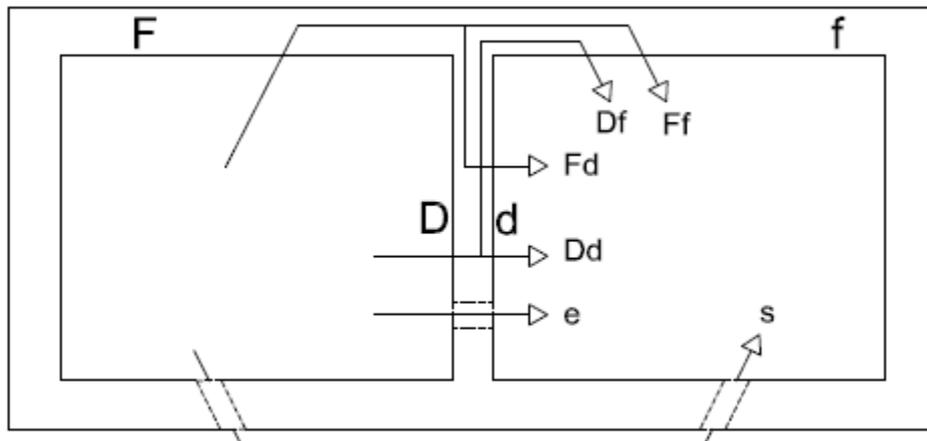
Analizar del cumplimiento del aislamiento acústico a ruido aéreo entre locales

Analizar del cumplimiento del aislamiento a ruido aéreo en fachadas

Analizar el cumplimiento de los límites de reverberación y absorción

Tener en cuenta las exigencias de ruido y vibraciones de las instalaciones

Se puede calcular según la norma UNE EN 12354 parte 1, 2, 3



(20)

$$R'_A = -10 \cdot \lg \left(10^{-0,1R_{Dd,A}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-0,1R_{Ff,A}} + \sum_{f=1}^n 10^{-0,1R_{Df,A}} + \sum_{F=1}^n 10^{-0,1R_{Fd,A}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{ai=ei,si} 10^{-0,1D_{n,ai,A}} \right) \text{ [dBA]}$$



siendo

- $R_{Dd,A}$ índice global de reducción acústica para la *transmisión directa*, en dB (dBA, para ruido rosa);
- $R_{Ff,A}$ índice global de reducción acústica para la *transmisión indirecta*, del camino Ff, en dB (dBA, para ruido rosa);
- $R_{Df,A}$ índice global de reducción acústica para la *transmisión indirecta*, del camino Df, en dB (dBA, para ruido rosa);
- $R_{Fd,A}$ índice global de reducción acústica para la *transmisión indirecta*, del camino Fd, en dB (dBA, para ruido rosa);
- $D_{n,ai,A}$ diferencia de niveles normalizada, ponderada A, para la transmisión de ruido aéreo por vía directa, a través de aireadores u otros *elementos de construcción pequeños*, $D_{n,e,A}$, o por vía indirecta, $D_{n,s,A}$, a través de distribuidores y pasillos o a través de *sistemas* tales como conductos de instalaciones de aire acondicionado o ventilación;
- n número de elementos de flanco del *recinto*, que normalmente es 4 pero puede ser diferente según el diseño del *recinto*;
- S_s área compartida del elemento de separación, [m²];
- A_0 área de absorción equivalente de referencia, de valor $A_0=10$ m².

Con ayuda de la herramienta del CTEDB HR se calculará el aislamiento acústico.

19, 20 → imágenes extraídas del CTE DB HR

Mono® Acoustic TE

Mono® Acoustic TE supone una innovación revolucionaria, al asociar la elegancia de un techo totalmente continuo sin estructura visible ni perforaciones, a un rendimiento acústico de excepción.

Mono[®] Acoustic TE

Mono[®] Acoustic TE supone una innovación revolucionaria, al asociar la elegancia de un techo totalmente continuo, sin estructura visible ni perforaciones, a un rendimiento acústico de excepción.

El incomparable sistema Mono Acoustic TE es un techo continuo con elevadas propiedades acústicas. Totalmente innovador, está patentado y fabricado con lana de roca de la mejor calidad, lo que le otorga un óptimo rendimiento técnico.

Mono Acoustic TE se pone al servicio de la libre imaginación del diseñador, gracias a su gran flexibilidad de instalación. Inclinado, plano, curvado, blanco o coloreado al gusto de cada uno, permite, entre otras posibilidades, la creación de islas acústicas o incluso el tratamiento de las paredes verticales, además de integrar fácilmente los elementos técnicos habituales. Es polivalente y se adapta a todos los proyectos, ya sean nuevos o de rehabilitación.

Descripción:

Los paneles acústicos de lana de roca (30 mm) están provistos de un velo de color blanco en la cara visible y de un contravelo de elevado rendimiento en la cara trasera. Los paneles se fijan mecánicamente sobre la estructura y, a continuación, se aplica una capa con uniones y una capa de acabado (en blanco o en color).

Montaje:

Mono Acoustic TE puede instalarse sobre una estructura estándar o bien directamente sobre un techo existente. Véase la ficha DTA nº 9/07 853 y la guía de instalación.

GAMA

| Cantos | Dimensiones modulares (mm) | Peso (kg/m ²) | Sistemas de instalación |
|--------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| TE | 1200 x 1200 x 30 | 4,5 | Sistema Mono Acoustic TE |



Para este producto, las dimensiones modulares corresponden a dimensiones exactas.



Mono® Acoustic TE



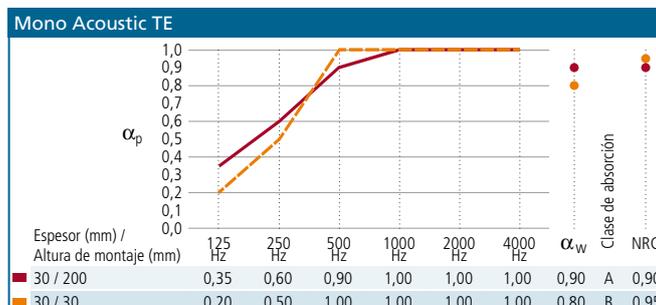
AISLAMIENTO ACÚSTICO

El índice de atenuación acústica de Mono Acoustic TE se ha medido en laboratorio certificado conforme a la norma ISO 140-3 y ha obtenido el rendimiento siguiente: $R_w (C;C_{tr}) = 22 (-2;-3)$ dB.



ABSORCIÓN ACÚSTICA

La absorción acústica se ha medido conforme con la norma ISO 354. Los diversos datos relacionados con la absorción acústica (α_p , α_w y clase de absorción) se han calculado en relación con la norma ISO 11654.



PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Generalidades : Las placas de techo Rockfon se componen básicamente de lana de roca. La lana de roca es un material incombustible, cuyo punto de fusión sobrepasa los 1.000°C.

Reacción al fuego : Euroclase A2-s1,d0 conforme a la norma EN 13501-1.



RESISTENCIA A LA HUMEDAD Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL (RESISTENCIA A LA FLEXIÓN)

Los techos Rockfon son dimensionalmente estables incluso en condiciones de humedad de hasta el 100%. Pueden montarse en condiciones de temperatura de 0°C a 40°C. No precisan ningún periodo de aclimatación.

El techo Mono Acoustic TE resiste los ambientes húmedos, como los habituales en las piscinas (de hasta un 100% de humedad relativa en atmósfera clorada). Sin embargo, conviene evitar las salpicaduras directas de agua. En los entornos con riesgo de corrosión (piscinas), los componentes de la estructura y los elementos de suspensión deben ser anticorrosivos y el plénum debe estar suficientemente ventilado.



REFLEXIÓN DE LA LUZ

Blanco : 72% de reflexión de la luz conforme a la norma DIN 5036-3.



CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Los productos de un espesor superior o igual a 30 mm se han medido según la norma EN 12667 y han obtenido el valor: $\lambda_D = 37$ mW/mK.

Resistencia térmica : $R = 0,80$ m²·K/W.



HIGIENE

La lana de roca no contiene ningún elemento que favorezca el desarrollo de microorganismos.



MANTENIMIENTO

El techo Mono Acoustic TE es antiestático. La superficie puede aspirarse a baja potencia y con la ayuda de un cepillo suave. No debe limpiarse nunca con agua ni frotarse con un trapo húmedo.



REPARACIÓN

Para renovar o reparar la superficie, puede pulverizarse una nueva capa de acabado Mono Acoustic. Potencia de pulverización recomendada: 0,3 kg/m² (húmeda). Esta operación puede influir ligeramente en el nivel de absorción acústica. Para más información, consulte la guía técnica Mono Acoustic TE.



MEDIO AMBIENTE

Una selección representativa de techos Rockfon posee la etiqueta "Indoor Climate" danesa y finlandesa (M1) que evalúan la inocuidad de los productos de construcción en la calidad del aire interior.

Mono Acoustic TE es reciclable. La lana de roca posee la clasificación EUCEB.

ACTIVA TU TECHO

Para la arquitectura interior de la nueva construcción o rehabilitación, los techos acústicos son un área clave, a través de la cual, se manifiestan el carácter y atmósfera de un lugar.

Rockfon sabe que la inversión en un techo acústico es determinante en la arquitectura para conseguir espacios más atractivos gracias a su confort acústico, seguridad y su variada gama de diseños.

Gracias a las cualidades naturales de la lana de roca, los techos acústicos Rockfon son incombustibles, limitando la propagación de las llamas. Resisten mecánica y térmicamente frente al fuego, proporcionando una mayor seguridad en los espacios que protegen.

Diseñados para permitir una gran elección en la utilización de colores y efectos de materiales para espacios públicos, los techos acústicos Rockfon, son fáciles de instalar y se adaptan a todo tipo de proyectos.

Como cada espacio, cada proyecto tiene sus problemas de arquitectura, sus limitaciones y sus fortalezas. Las soluciones Rockfon son múltiples: eficientes y rentables, están diseñadas para ofrecer, con total seguridad, un ambiente interior de gran calidad.

ROCKWOOL PENINSULAR S.A.U. - ROCKFON

C/ Bruc 50, 3º 3ª
08010 Barcelona

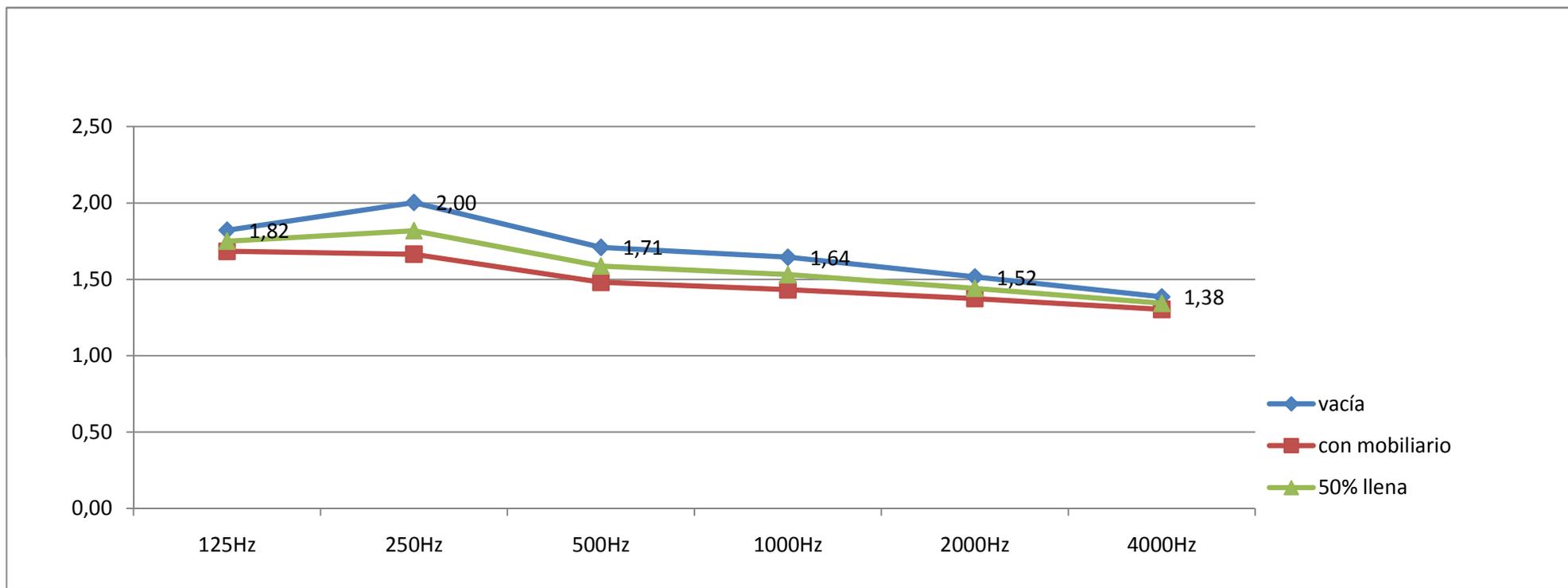
Tél. : +34 93 318 90 28
Fax : +34 93 317 89 66
www.rockfon.es
e-mail : info@rockwool.es

Todos los códigos de color mencionados se basan en la NCS – Natural Color System®, propiedad y uso bajo la licencia de color NCS AB, Estocolmo 2010.

Documento no contractual. Sujeto a modificaciones sin previo aviso. Créditos fotos: Rockfon.

AUDITORIO MÚSICA DE CÁMARA

| VOLUMEN | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|------|------|------|------|------|------|
| | 1495,81 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 125Hz | 250Hz | 500Hz | 1000Hz | 2000Hz | 4000Hz | Promedio CTE | | | | | | | |
| Suelo libre | 144,25 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 2,88 | 2,88 | 4,33 | 2,40 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| suelo escenario | 23,37 | 1,17 | 0,70 | 1,40 | 2,10 | 2,34 | 4,67 | 1,95 | Parqué sobre rastreles | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,20 |
| escaleras A | 15,36 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,31 | 0,31 | 0,46 | 0,26 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras B | 20,19 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,40 | 0,40 | 0,61 | 0,34 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras C | 1,52 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,03 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| escaleras D | 1,81 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | Linoleo | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| pared fondo A | 26,91 | 2,96 | 5,65 | 2,69 | 1,35 | 0,81 | 0,54 | 1,61 | Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo B | 36,61 | 4,03 | 7,69 | 3,66 | 1,83 | 1,10 | 0,73 | 2,20 | Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo C | 39,07 | 4,30 | 8,20 | 3,91 | 1,95 | 1,17 | 0,78 | 2,34 | Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| pared fondo D | 27,15 | 2,99 | 5,70 | 2,72 | 1,36 | 0,81 | 0,54 | 1,63 | Contrachapado de madera de 3 mm con cavidad de aire en el dorso | 0,11 | 0,21 | 0,1 | 0,05 | 0,03 | 0,02 |
| paredes laterales A | 56,29 | 0,56 | 1,69 | 2,25 | 2,53 | 2,81 | 3,10 | 2,53 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales B | 90,74 | 0,91 | 2,72 | 3,63 | 4,08 | 4,54 | 4,99 | 4,08 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales C | 21,16 | 0,21 | 0,63 | 0,85 | 0,95 | 1,06 | 1,16 | 0,95 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales D | 30,52 | 0,31 | 0,92 | 1,22 | 1,37 | 1,53 | 1,68 | 1,37 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| paredes laterales E (esc | 23,11 | 0,23 | 0,69 | 0,92 | 1,04 | 1,16 | 1,27 | 1,04 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Techo | 270,87 | 78,55 | 27,09 | 13,54 | 10,83 | 18,96 | 24,38 | 14,45 | Tablero de cartón yeso de 13 mm con cámara aire en el dorso sujeto por perfiles 5 x 10 cm interdistanciados 40 cm | 0,29 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,09 |
| Techo abs | 35,77 | 7,15 | 17,89 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | 35,77 | Panel mono acoustic 30mm de lana de roca | 0,20 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| antepecho A | 6,66 | 0,07 | 0,20 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | 0,37 | 0,30 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| antepecho C | 8,68 | 0,09 | 0,26 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,48 | 0,39 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| antepecho D | 5,91 | 0,06 | 0,18 | 0,24 | 0,27 | 0,30 | 0,33 | 0,27 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| Puertas | 18,31 | 0,18 | 0,55 | 0,73 | 0,82 | 0,92 | 1,01 | 0,82 | Madera fijada sólidamente a una pared o a un sólido | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| butacas vacías | 274,00 | 27,40 | 38,36 | 65,76 | 76,72 | 82,20 | 87,68 | 74,89 | mini-space figuras-vacia | 0,1 | 0,14 | 0,24 | 0,28 | 0,3 | 0,32 |
| butacas llenas | 274,00 | 38,36 | 63,02 | 87,68 | 98,64 | 98,64 | 98,64 | 94,99 | mini-space Figueras-llena | 0,14 | 0,23 | 0,32 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| butacas 50% ocupadas | 274,00 | 32,88 | 50,69 | 76,72 | 87,68 | 90,42 | 93,16 | 84,94 | | | | | | | |
| | 904,25 | 143,95 | 145,61 | 163,66 | 169,26 | 176,33 | 185,93 | 169,75 | | | | | | | |
| Vacia | Sabine | 1,82 | 2,00 | 1,71 | 1,64 | 1,52 | 1,38 | 1,62 | | | | | | | |
| Llena | Sabine | 1,68 | 1,66 | 1,48 | 1,43 | 1,37 | 1,30 | 1,43 | | | | | | | |
| 50% Llena | Sabine | 1,75 | 1,82 | 1,59 | 1,53 | 1,44 | 1,34 | 1,52 | | | | | | | |
| Calidez | 1,15 | | | Rt mid | | | 1,46 | | | | | | | | |
| Brillo | 0,92 | | | | | | | | | | | | | | |



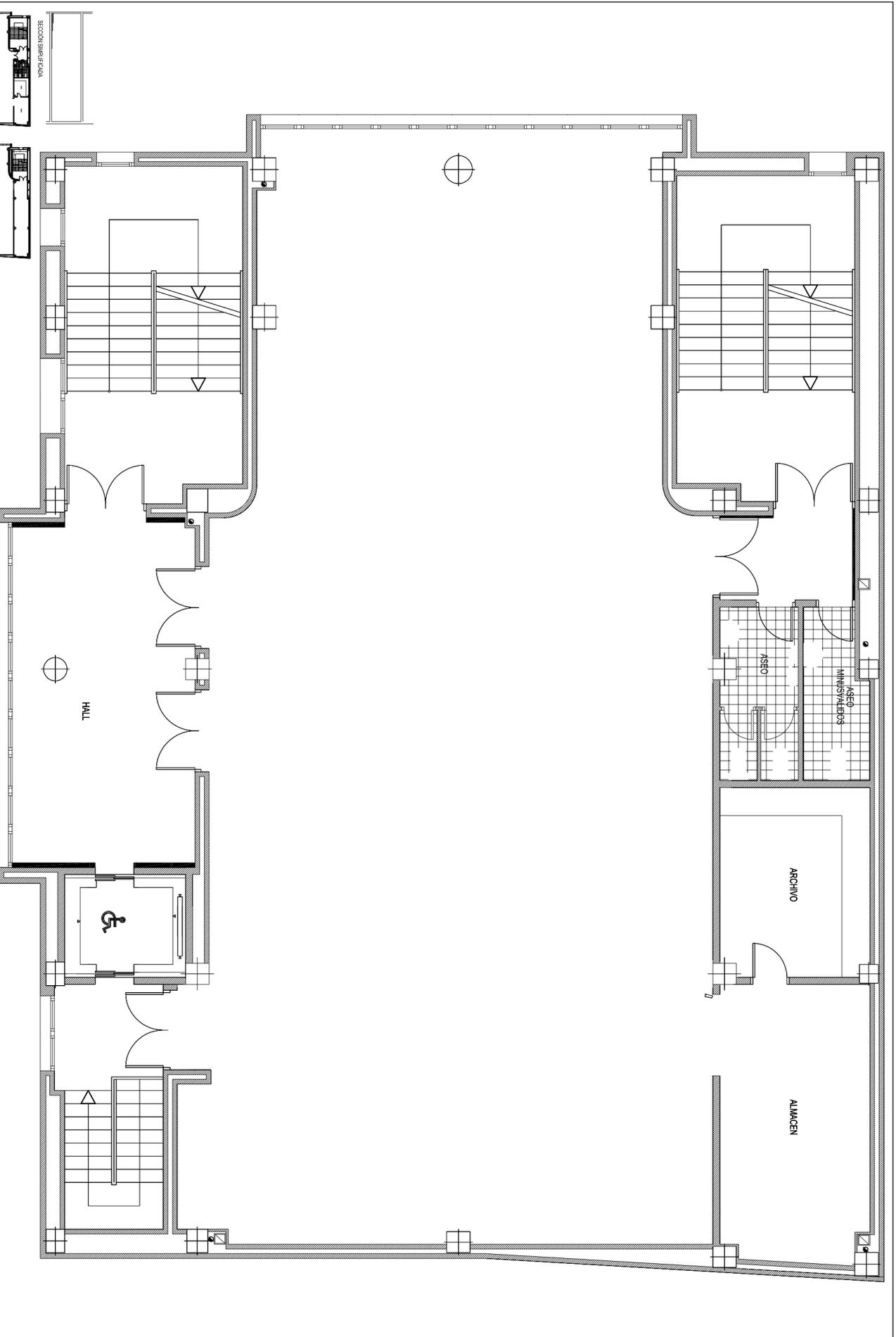


UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

PARTE III:
DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



PARTE III: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



PLANTA BAJA



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO

EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA

DESCRIPCIÓN PLANO: SITUACIÓN DE PARTIDA P.B.

TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLAMON

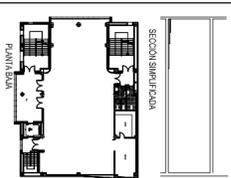
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE

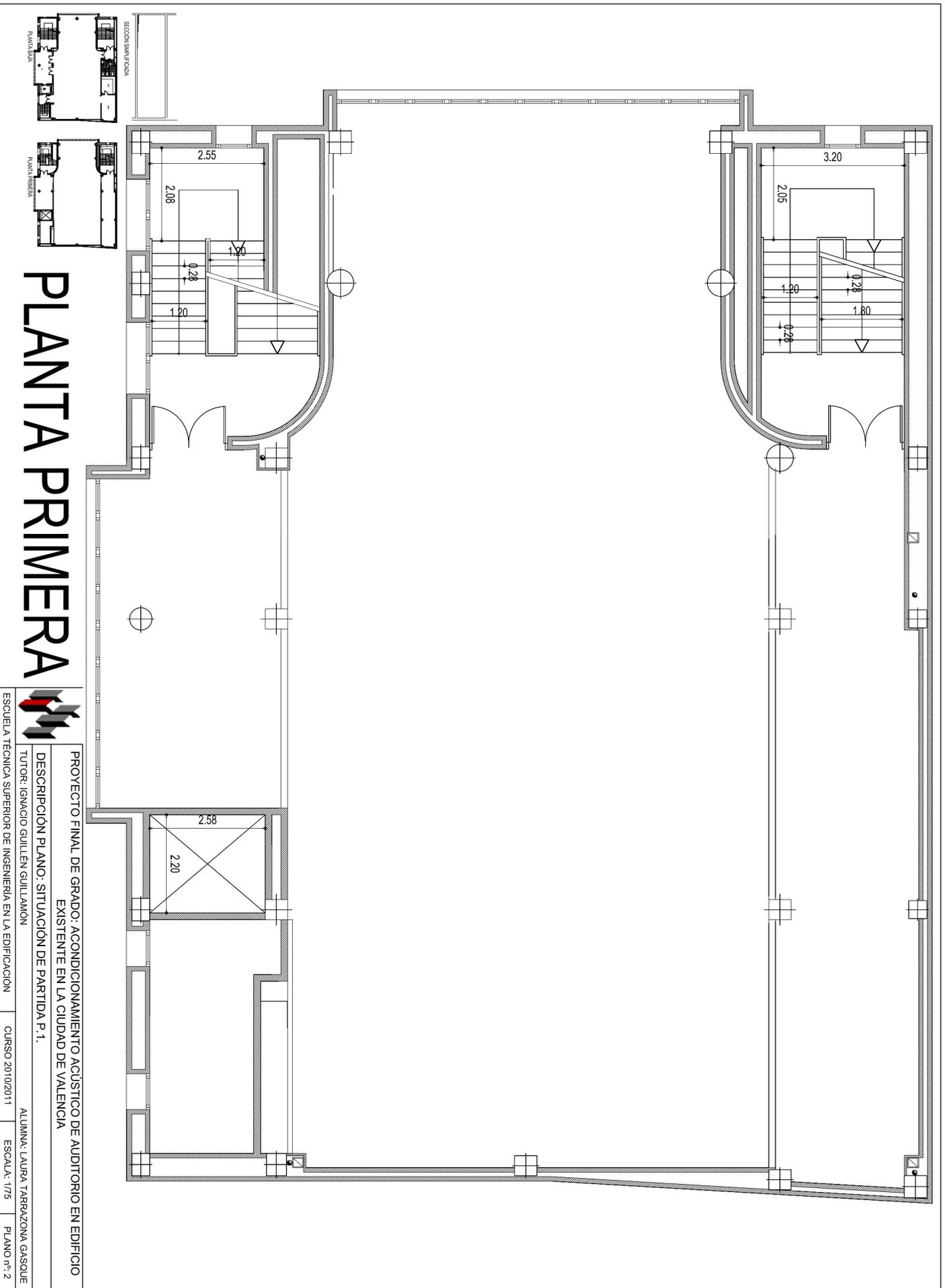
ESQUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN

CURSO 2010/2011

ESCALA: 1/75

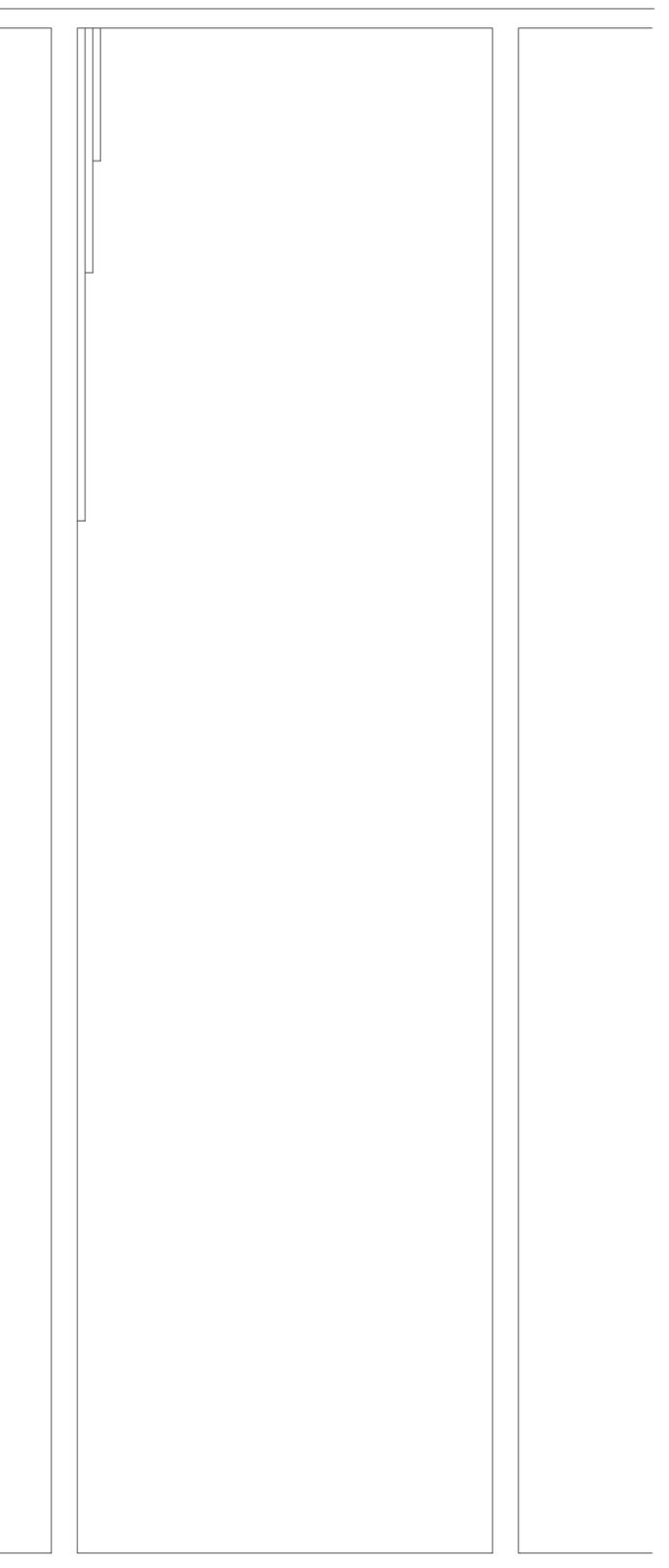
PLANO nº: 1



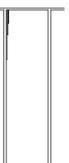


PLANTA PRIMERA

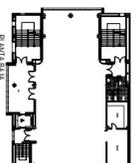

PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
 DESCRIPCIÓN PLANO: SITUACIÓN DE PARTIDA P.1.
 TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLAMON
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACION
 CURSO 2010/2011
 ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
 ESCALA: 1/75
 PLANO n.º: 2



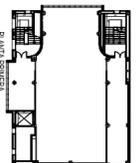
SECCIÓN SIMPLIFICADA



SECCIÓN SIMPLIFICADA



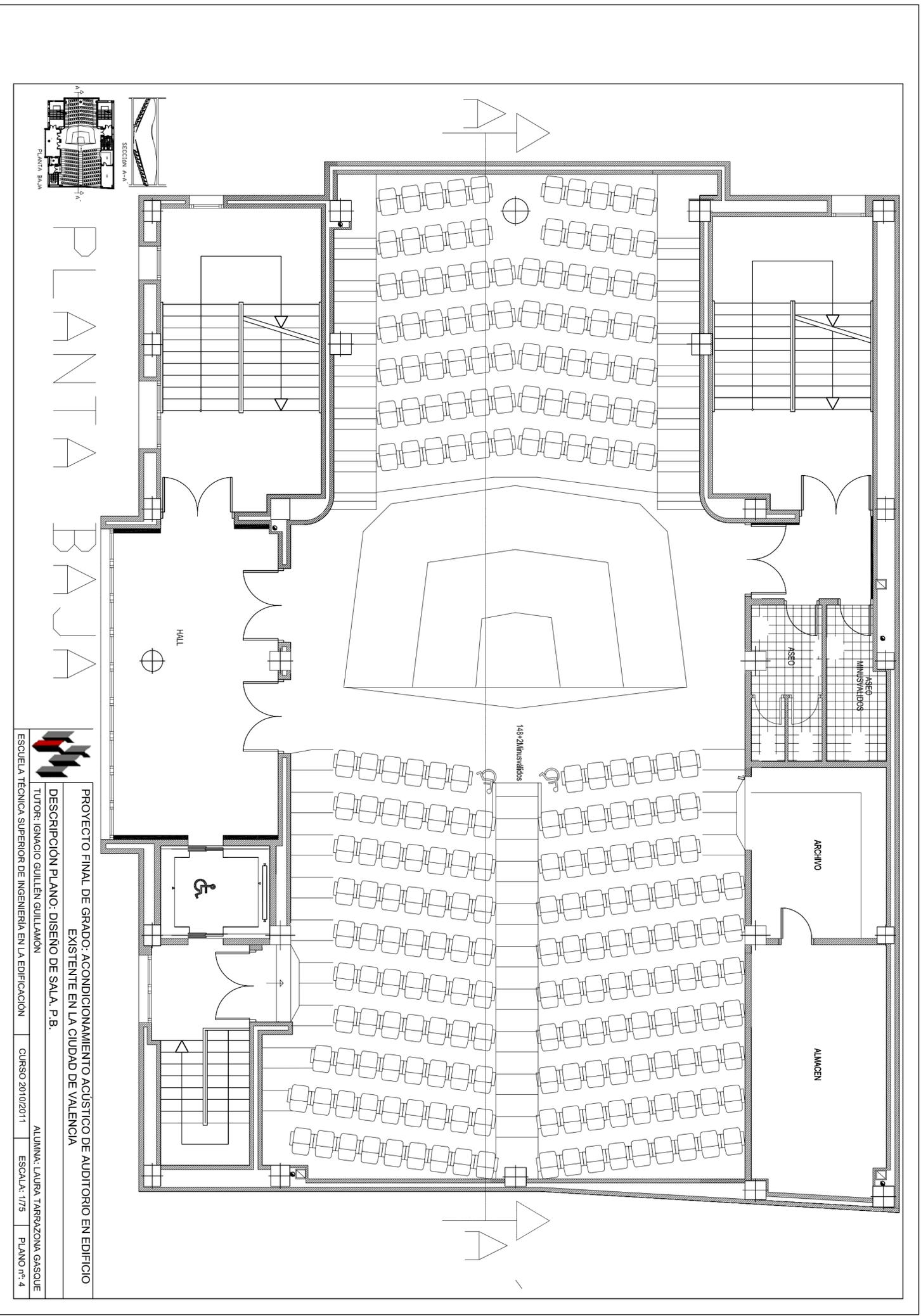
PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA

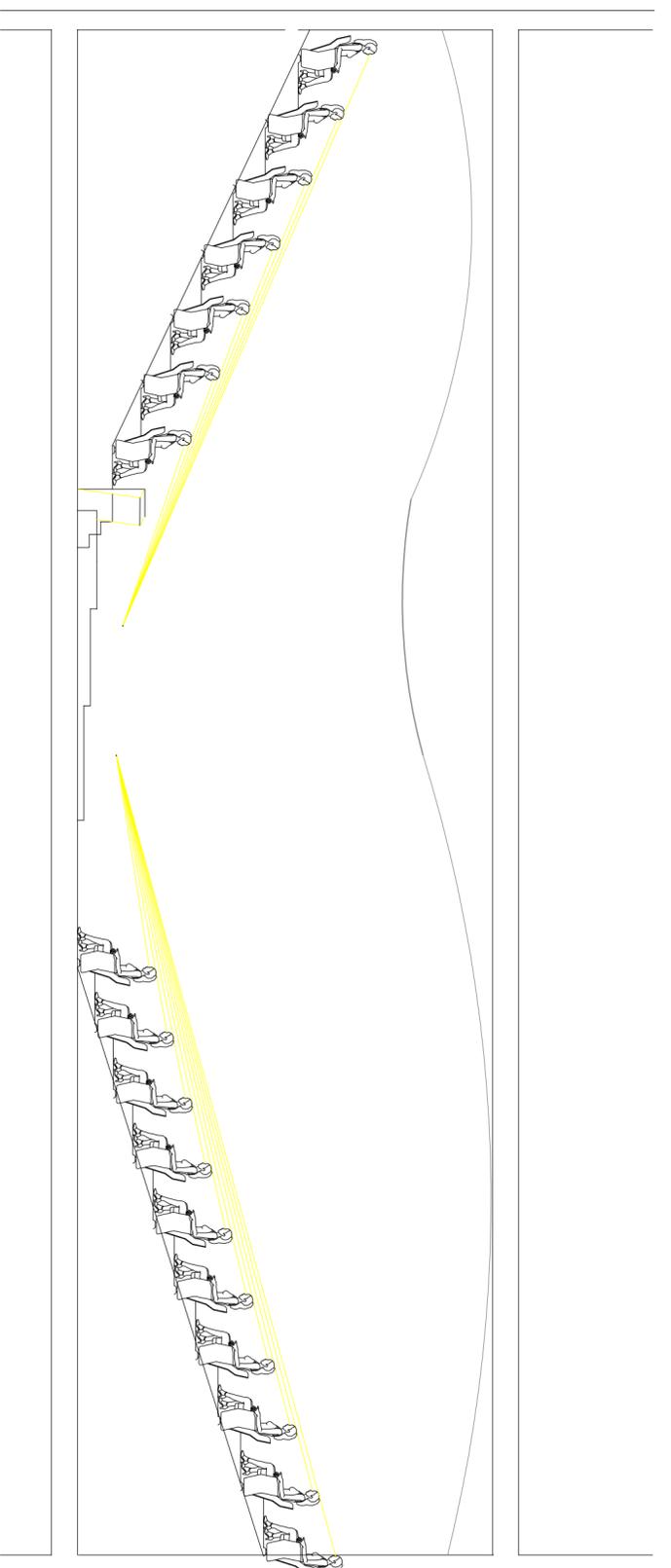


| |
|---|
| PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA |
| DESCRIPCIÓN PLANO: SITUACIÓN DE PARTIDA SECCIÓN VERTICAL |
| TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLAMON |
| ESQUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACION |
| CURSO 2010/2011 |
| ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE |
| ESCALA: 1/75 |
| PLANO n.º: 3 |

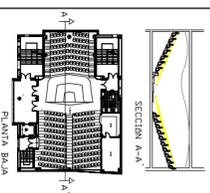


PLANTA BAJA

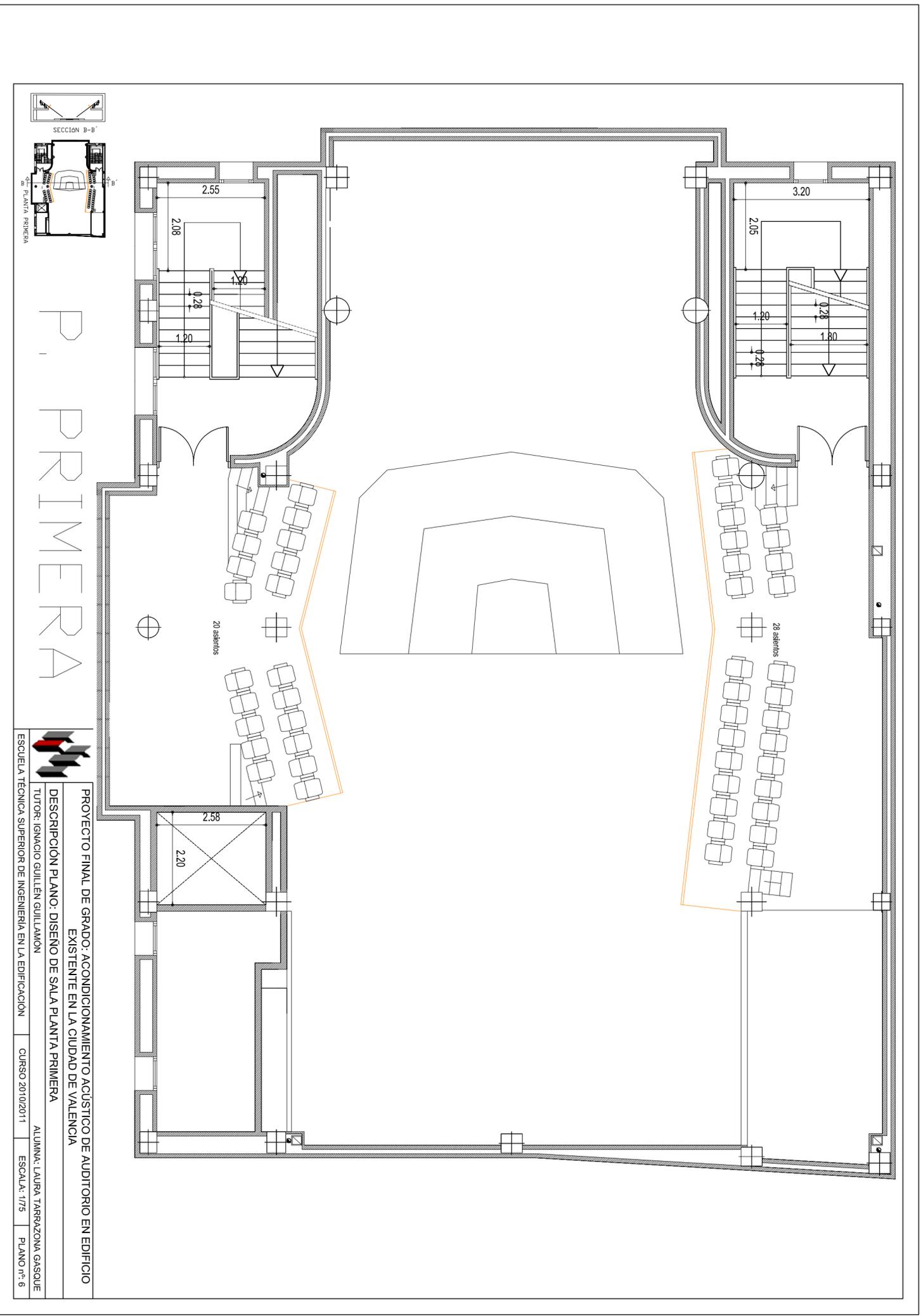

PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
 DESCRIPCION PLANO: DISEÑO DE SALA. P.B.
 TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
 ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO N.º 4

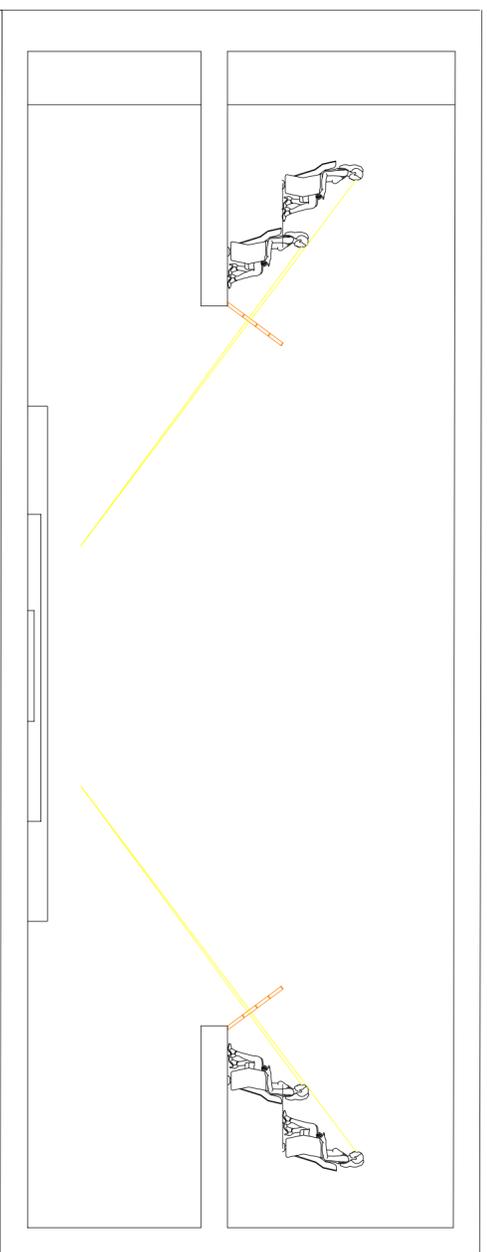


SECCION A-A

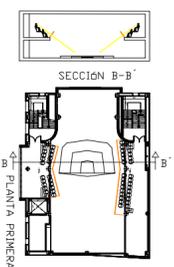



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCION PLANO: DISEÑO DE SALA VISUALES P.B.
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO N.º 5

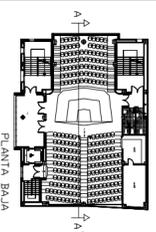
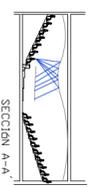
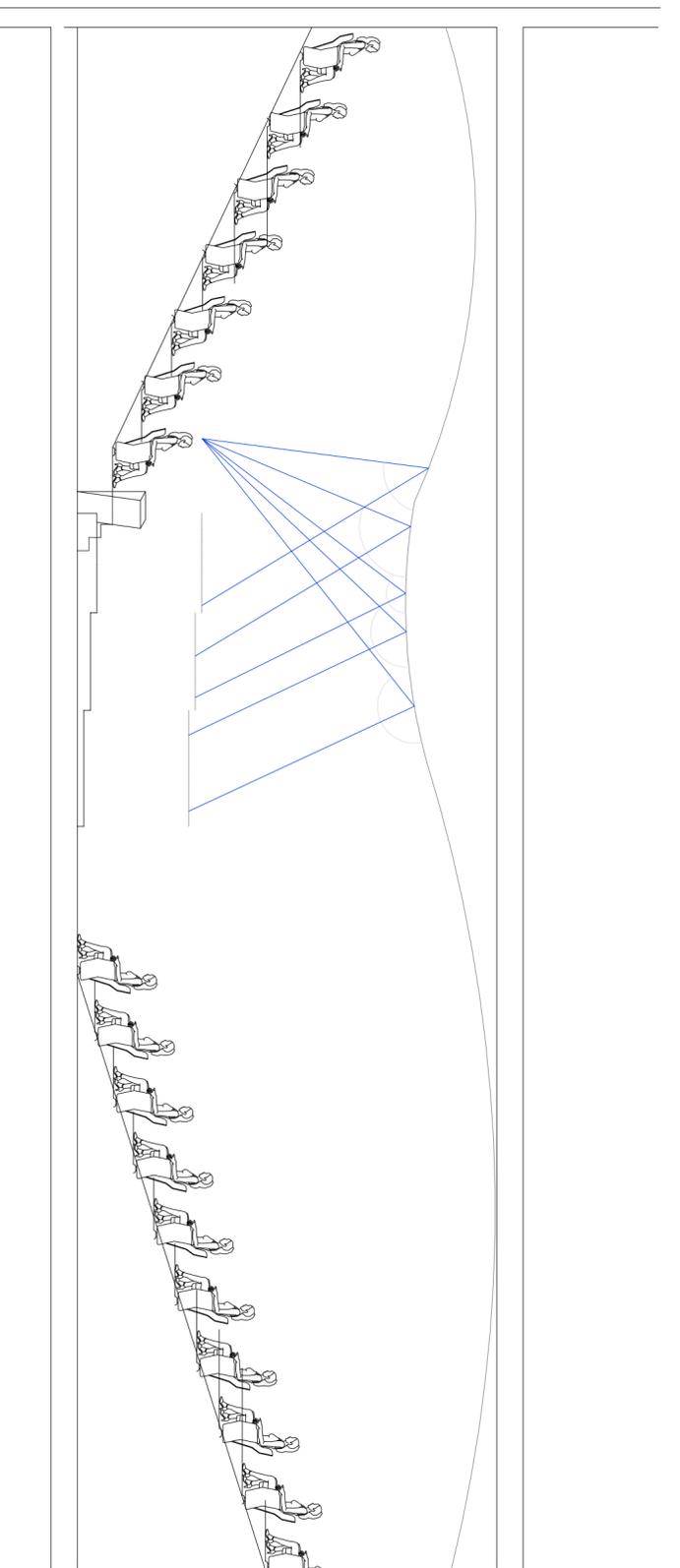




SECCION B-B

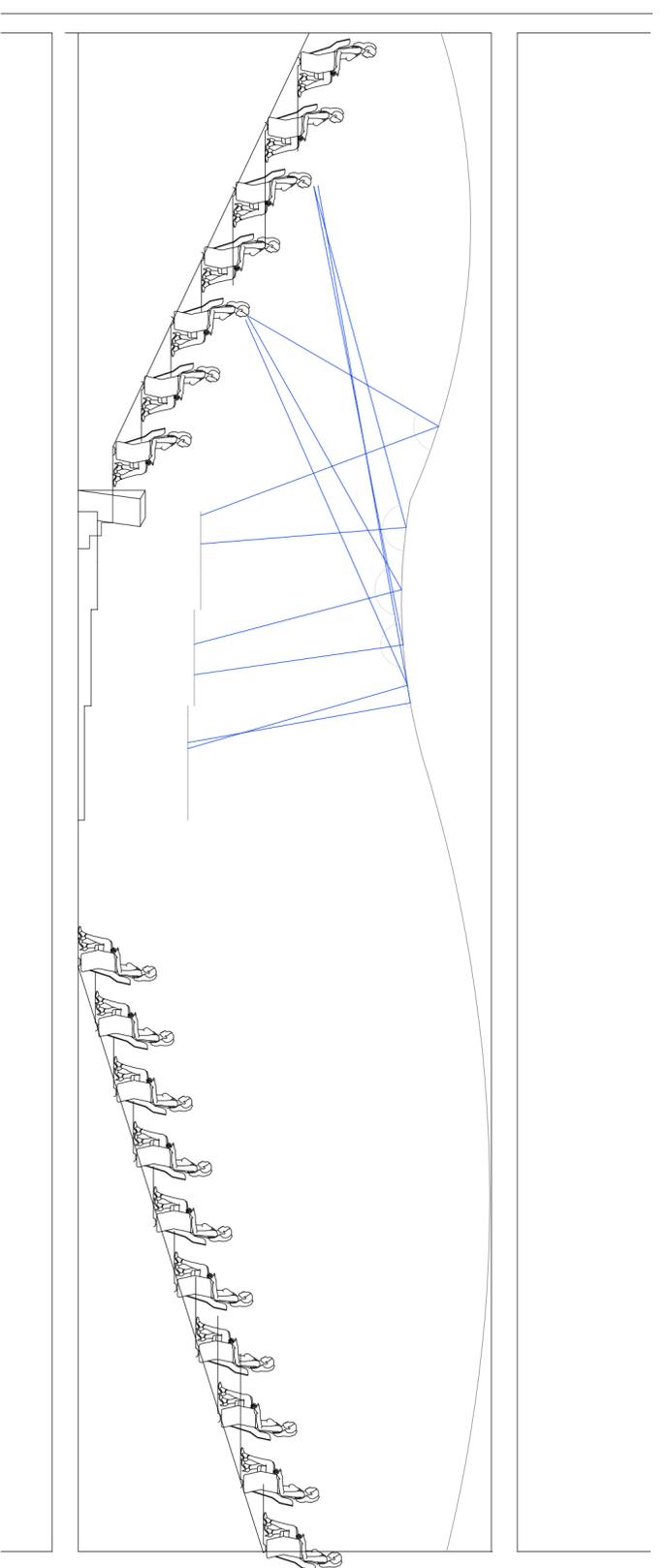


**PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA**
DESCRIPCION PLANO: DISEÑO DE SALA. VISUALES PLANTA PRIMERA
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO n.º 7

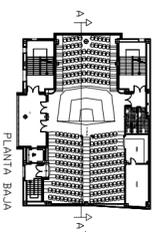
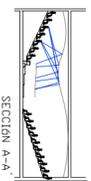


SECCION A-A

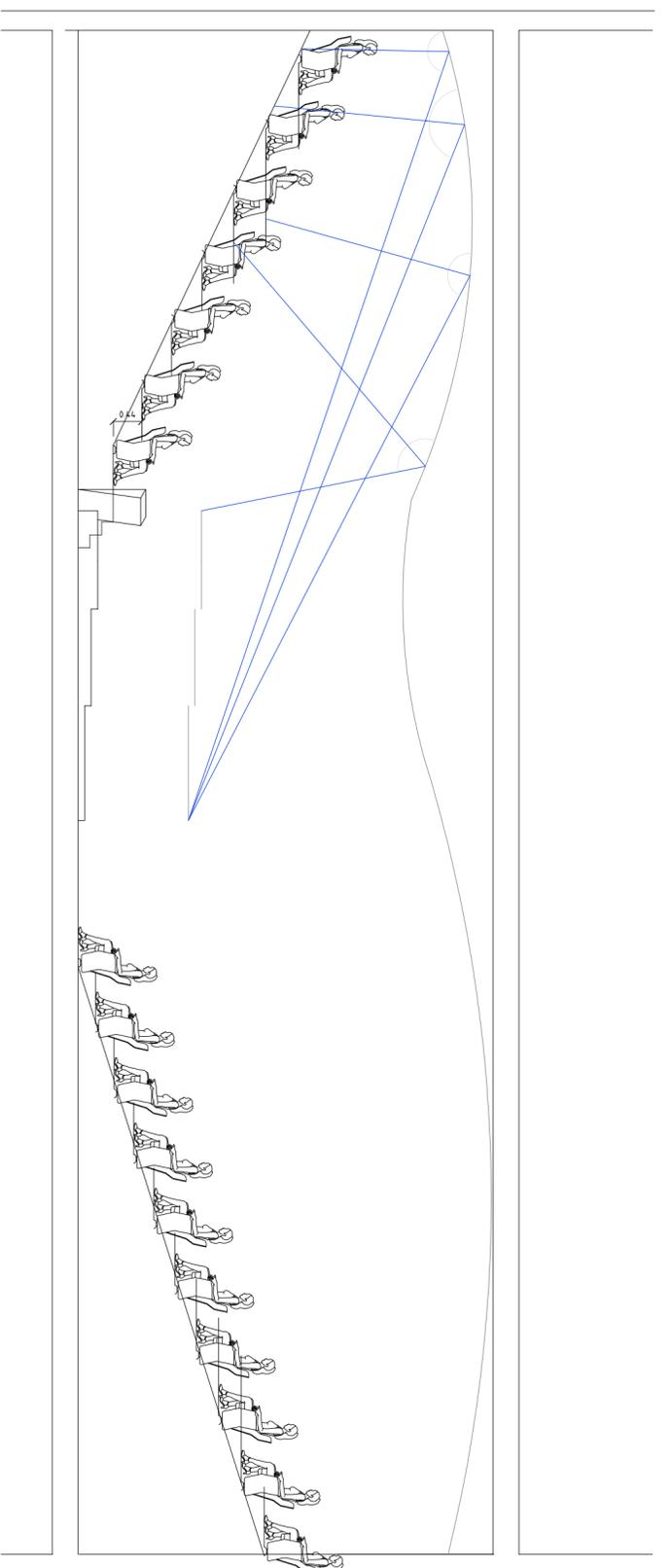

PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCION PLANO: REFLEXIONES PRIMERA FILA EN LA ZONA POSTERIOR AL ESCENARIO
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMON
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO N°: 8



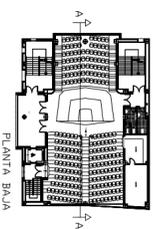
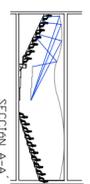
SECCIÓN A-A



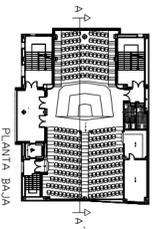
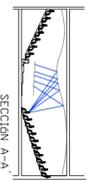
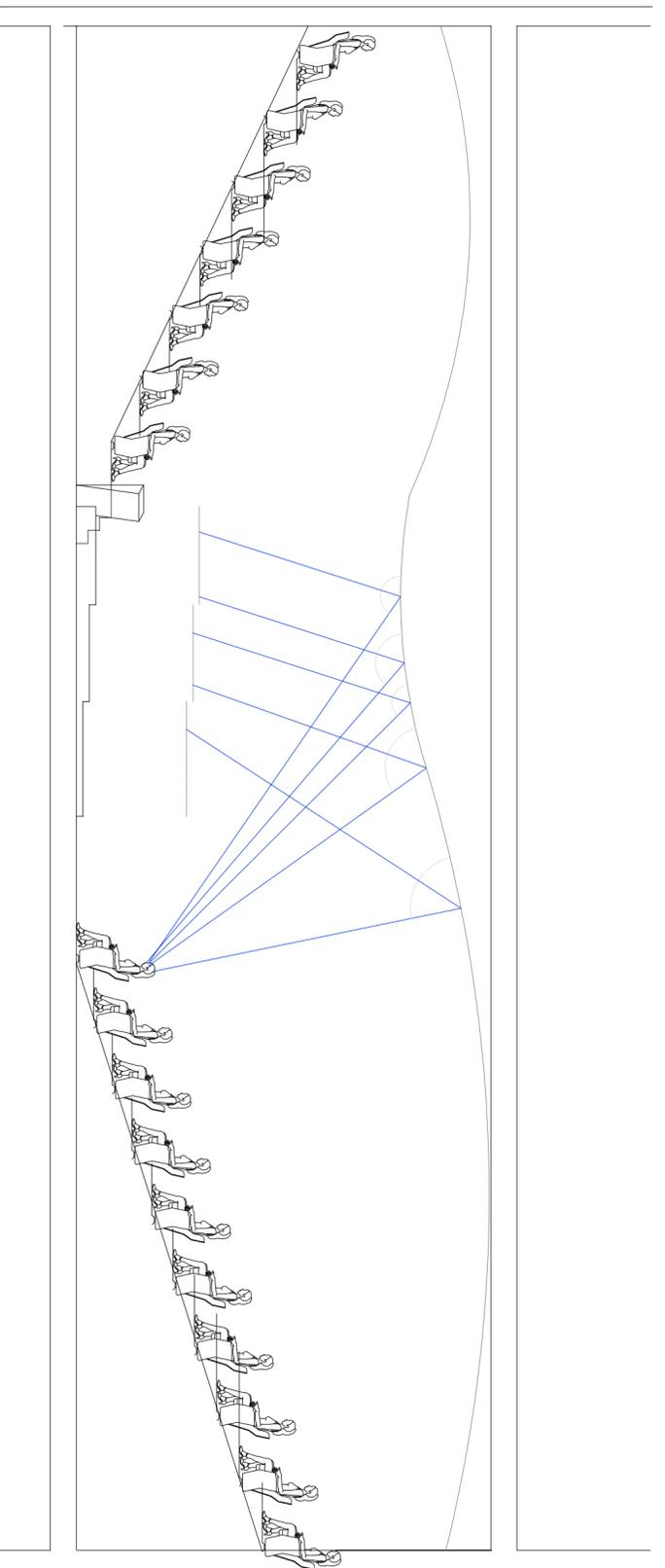
PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCIÓN PLANO: REFLEXIONES FILAS INTERMEDIAS EN LA ZONA POSTERIOR AL ESCENARIO
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO N.º 9



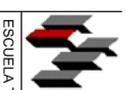
SECCION A-A



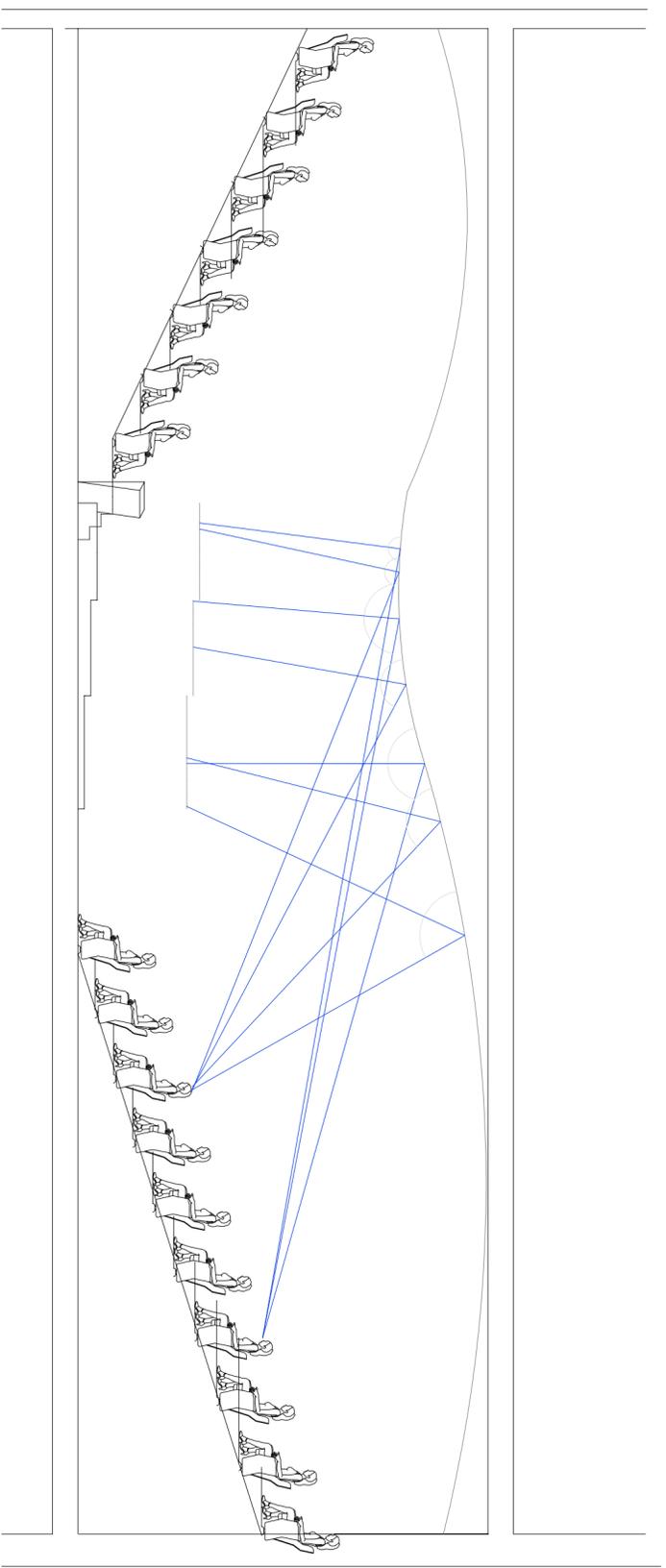
PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCION PLANO: REFLEXIONES ÚLTIMAS FILAS EN LA ZONA POSTERIOR AL ESCENARIO
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO: 1º - 10



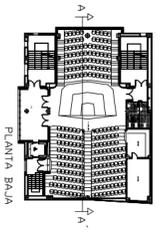
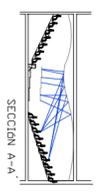
SECCION A-A



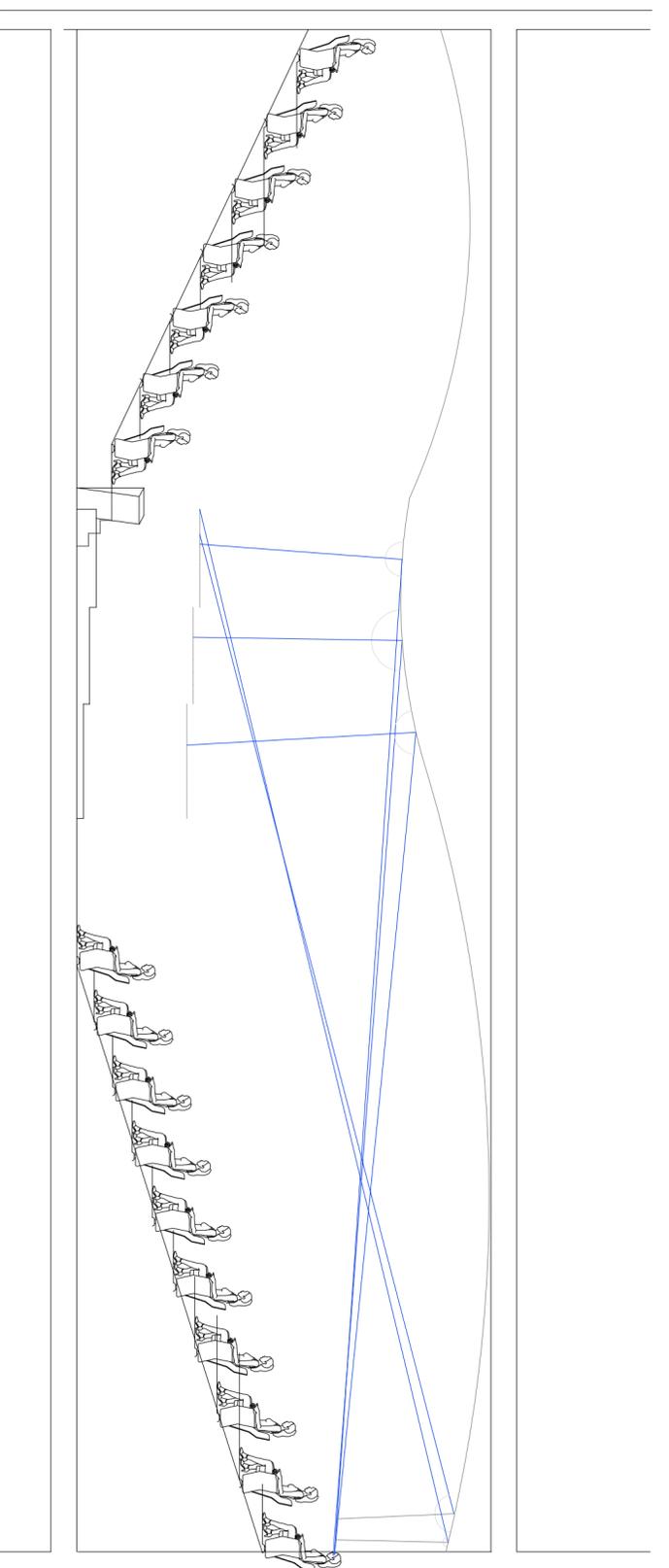
PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCION PLANO: REFLEXIONES PRIMERA FILA EN LA ZONA ANTERIOR AL ESCENARIO
TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMON
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO n.º: 11



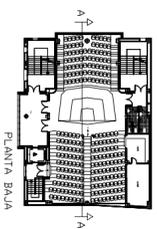
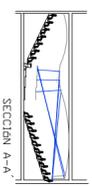
SECCIÓN A-A



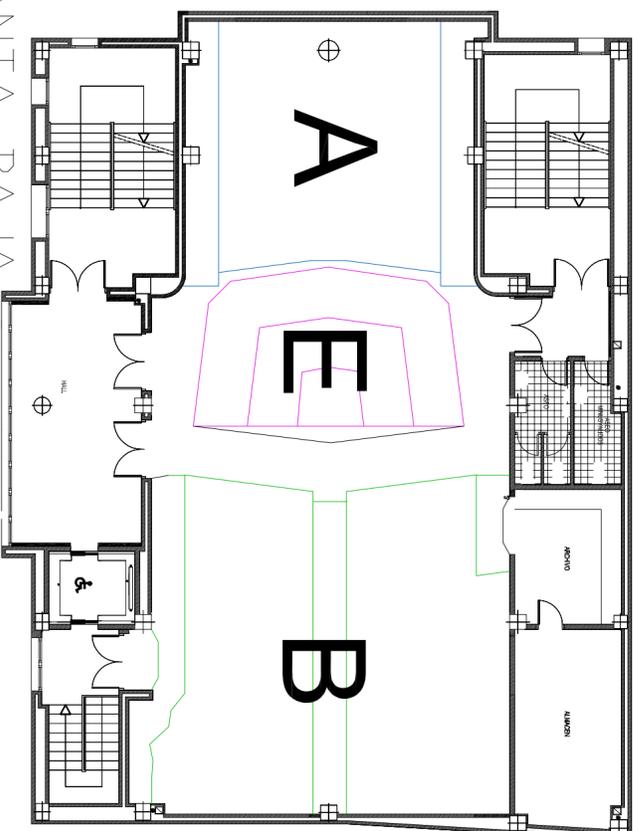

PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
DESCRIPCION PLANO: REFLEXIONES FILAS INTERMEDIAS EN LA ZONA ANTERIOR AL ESCENARIO
 TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMÓN
 ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION | CURSO 2010/2011 | ESCALA: 1/75 | PLANO: 1º-12



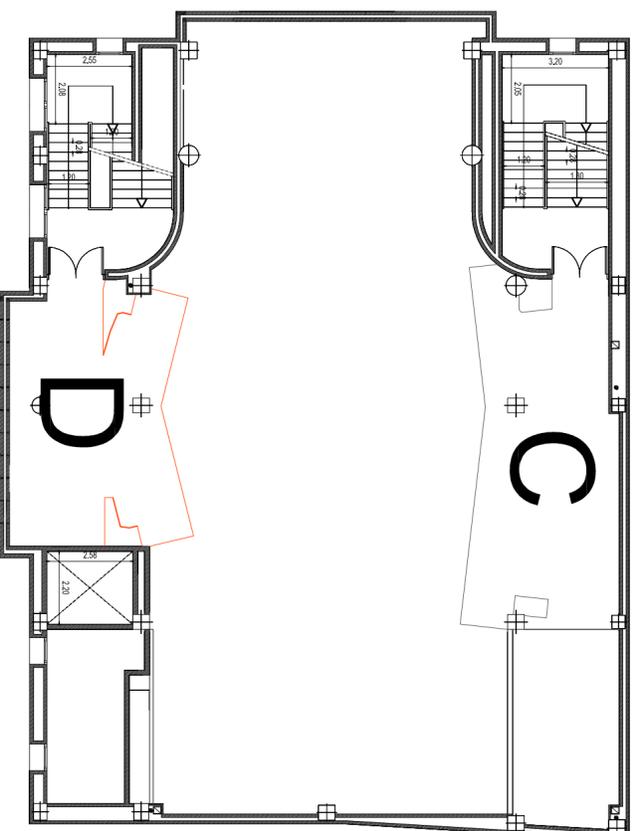
SECCIÓN A-A



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
 EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
 DESCRIPCIÓN PLANO: REFLEXIONES ÚLTIMAS FILAS EN LA ZONA ANTERIOR AL ESCENARIO
 TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILAMÓN
 ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACION
 CURSO 2010/2011
 ESCALA: 1/75
 PLANO n.º: 13



PLANTA BAJA

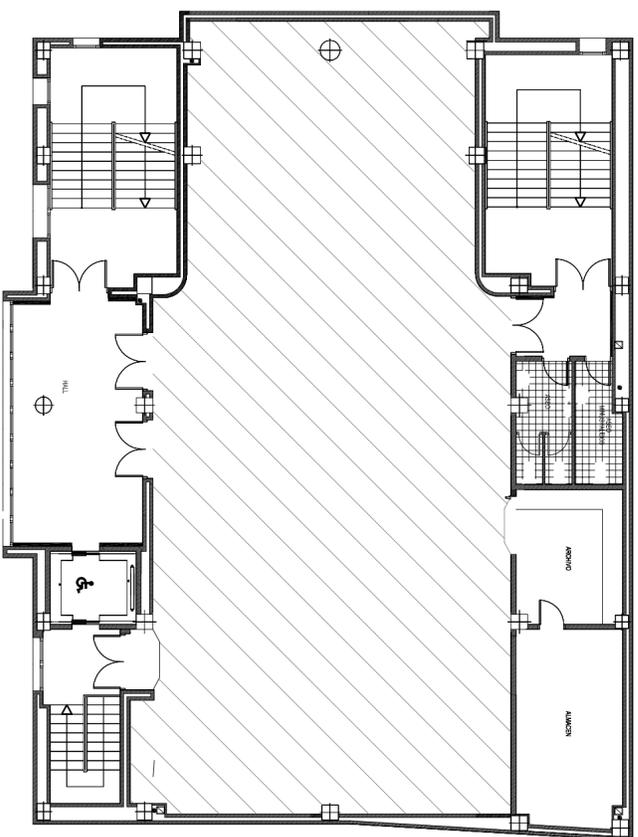


PLANTA PRIMERA

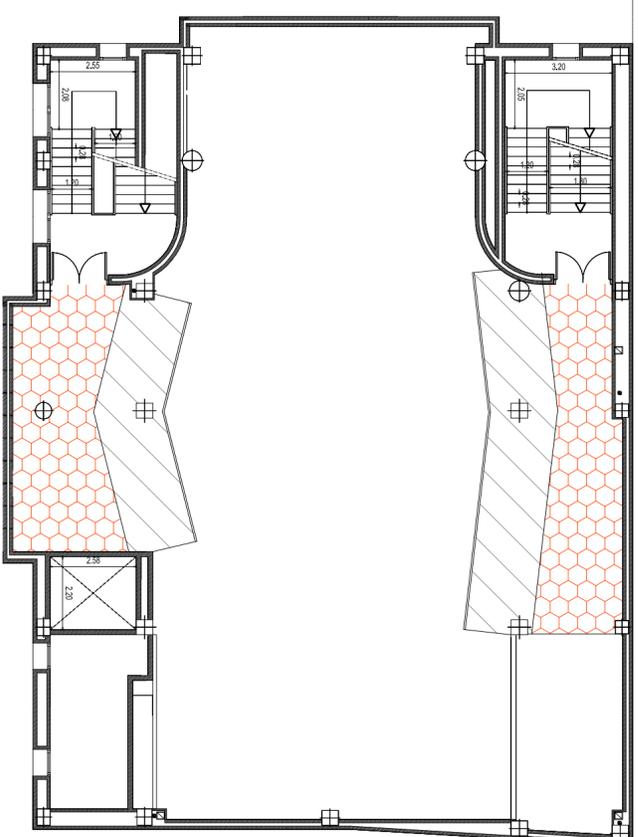
CUADRO DE SUPERFICIES

| | |
|---------------------|-----------------------|
| ZONA A: | |
| PATIO DE BUTACAS: | 19.8 m ² |
| SUPERFICIE LIBRE: | 28.99 m ² |
| SUPERFICIE BUTACAS: | 15.35 m ² |
| ESCALERAS: | 26.91 m ² |
| PARED FONDO: | 56.29 m ² |
| PAREDES LATERALES: | 6.66 m ² |
| ANTEPECHO: | 6.66 m ² |
| ZONA B: | |
| PATIO DE BUTACAS: | 31.13 m ² |
| SUPERFICIE LIBRE: | 54.43 m ² |
| SUPERFICIE BUTACAS: | 20.19 m ² |
| ESCALERAS: | 36.61 m ² |
| PARED FONDO: | 90.74 m ² |
| PAREDES LATERALES: | 90.74 m ² |
| ZONA C: | |
| PATIO DE BUTACAS: | 33.08 m ² |
| SUPERFICIE LIBRE: | 9.75 m ² |
| ESCALERAS: | 1.52 m ² |
| PARED FONDO: | 39.07 m ² |
| PAREDES LATERALES: | 21.16 m ² |
| ANTEPECHO: | 8.68 m ² |
| ZONA D: | |
| PATIO DE BUTACAS: | 29.67 m ² |
| SUPERFICIE LIBRE: | 6.89 m ² |
| SUPERFICIE BUTACAS: | 1.81 m ² |
| ESCALERAS: | 27.15 m ² |
| PARED FONDO: | 30.52 m ² |
| PAREDES LATERALES: | 5.91 m ² |
| ANTEPECHO: | 5.91 m ² |
| ZONA E: | |
| EGENARIO: | 23.53 m ² |
| PAREDES LATERALES: | 23.11 m ² |
| OTROS: | |
| SUELO LIBRE TOTAL: | 144.25 m ² |
| TECHO: | 270.87 m ² |
| TECHO ABSORBENTE: | 35.77 m ² |
| PUERTAS: | 18.31 m ² |
| VOLUMEN SALA: | 1775.05m ³ |
| AFORO: | 274 BUTACAS |


PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA
 DESCRIPCION PLANO: SUPERFICIES ZONIFICACION PLANTAS
 TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLAMON
 ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION
 CURSO 2010/2011
 ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE
 ESCALA: 1/150
 PLANO: 1º-14



PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA



TECHO REFLECTANTE



TECHO ABSORBENTE



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA

DESCRIPCION PLANO: ZONIFICACION TECHO

TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLMON

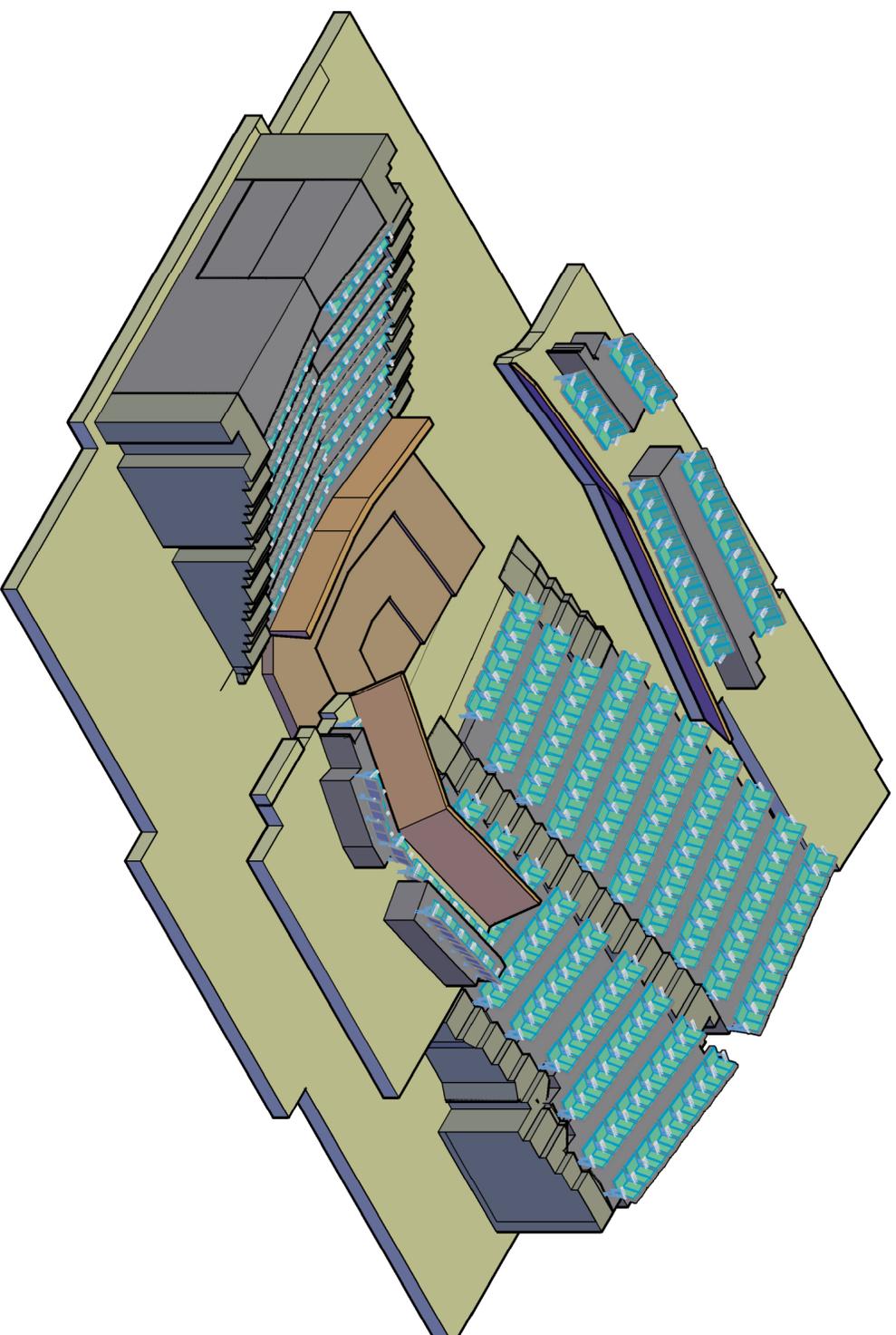
ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE

ESQUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION

CURSO 2010/2011

ESCALA: 1/150

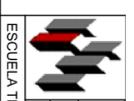
PLANO N.º: 15



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA

DESCRIPCIÓN PLANO: VOLUMEN

TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUILLAMÓN



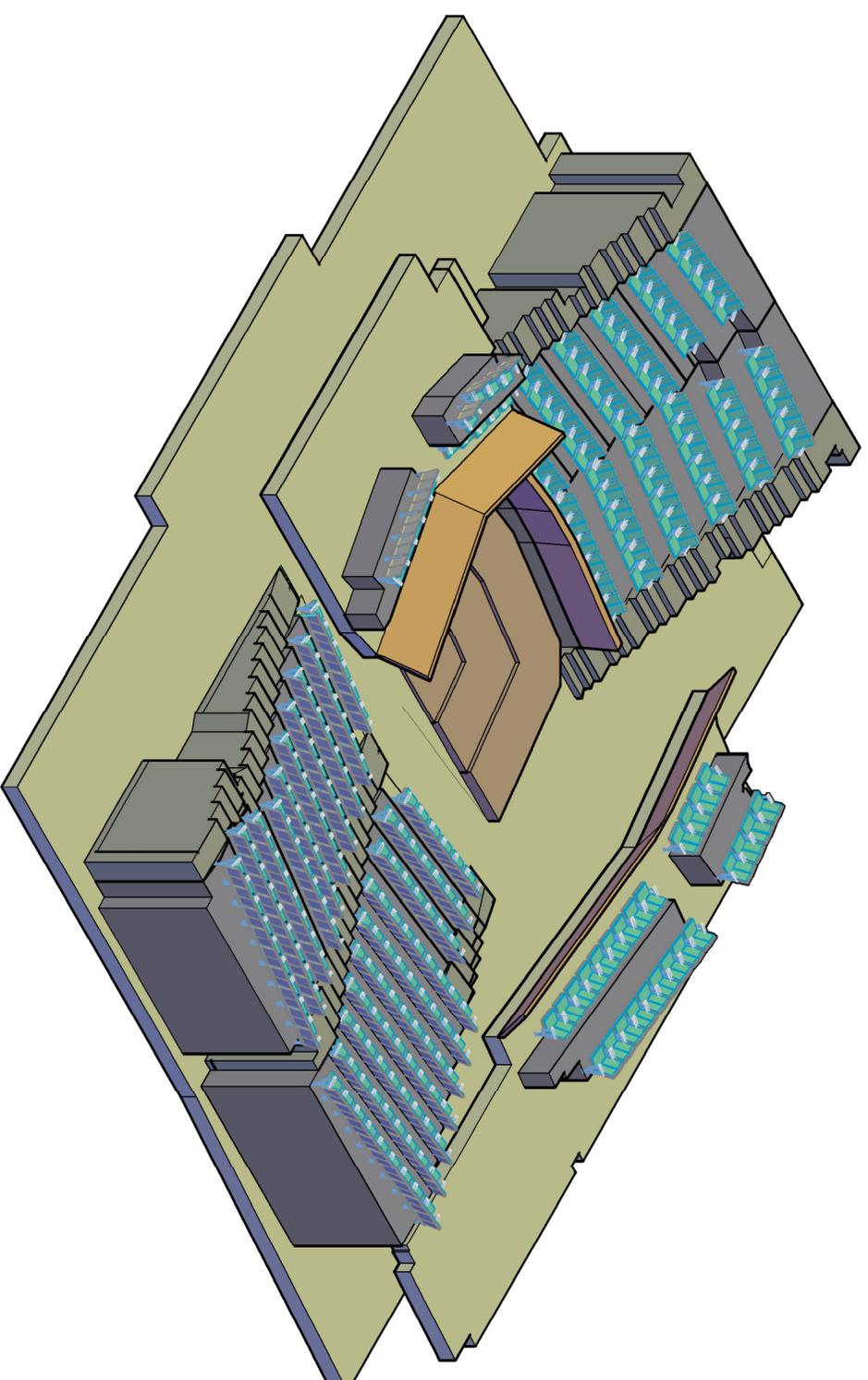
ESUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA EN LA EDIFICACIÓN

CURSO 2010/2011

ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE

ESCALA: 1/100

PLANO nº: 16



PROYECTO FINAL DE GRADO: ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO DE AUDITORIO EN EDIFICIO
EXISTENTE EN LA CIUDAD DE VALENCIA

DESCRIPCIÓN PLANO: VOLUMEN

TUTOR: IGNACIO GUILLEN GUIL LAMON

ESQUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA EN LA EDIFICACION

CURSO 2010/2011

ALUMNA: LAURA TARRAZONA GASQUE

ESCALA: 1/100

PLANO n.º 16





PARTE IV: BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía:

Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Antoni Carrión Isbert

Acústica arquitectónica y urbanística. Fco. Javier Sancho Vendrell, Jaime Llinares Galiana, Ana Llopis Reyna.

Guía acústica de la construcción. Fco. Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo

Acústica arquitectónica. Manuel Recuero

Arquitectura acústica 2.- disseny. Francesc Daumal Domènech

Auditorium acoustics and architectural design. Michael Barron

CTE-DB-HR

Guía aplicación del DB HR

Enlaces web

http://www.laserena.cl/proyectos_destacados/teatro_regional/documentos/2_pr_e factibilidad_Programa_arquitectonico.pdf

http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en|es&rurl=tr anslate.google.es&twu=1&u=http://www.artec-usa.com/index.html&usg=ALkJrhgPkIZ_RZqB7YN_3-5PQRhyyox3Vg

<http://translate.google.es/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.acousti csbydesign.com/venues/auditorium-acoustics.htm>

<http://translate.google.es/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.avplan nersinc.com/auditorium-design-and-installation>

<http://www.monografias.com/trabajos15/difusores-rpg/difusores-rpg.shtml>

http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%BAsica_de_c%C3%A1mara

<http://sonidistas.wordpress.com/2008/05/15/coeficientes-de-absorcion-de-materiales/>

<http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/acustico/Tablas/Tablas%20de%200Absorcion.pdf>

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/Acustica_arquitectonica/practica/MATERIALES.HTM