



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería de Edificación

E.T.S. de Ingeniería de la Edificación

Rehabilitación y Adaptación de la Ermita de Santa Ana de Albal para las Audiciones musicales. Intervención Acústica.

Intervención acústica para la audición de pequeños conjuntos corales y conciertos barrocos.

"Finis coronat opus"

En estos momentos debo acordarme de Silvia, mis padres, mi hermano, los amigos que he conocido durante la carrera y los que recuperaré cuando termine....

ÍNDICE

1.1. LA MÚSICA BARROCA., 12	3.4. MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD., 44
1.1.1 LA ORQUESTA BARROCA., 14	3.5. AUMENTO DE LA SUPERFICIE FONOABSORBENTE. LA ELECCIÓN DE MATERIALES., 45
1.1.2. EL CORO, 15	3.5.1. LOS RESONADORES DE MEMBRANA., 46
2.1. LA SALA DE AUDICIÓN., 23	3.5.3 LOS MATERIALES POROSOS., 48
2.1.1. CÁLCULO DE SUPERFICIES., 24	3.6. AUMENTO DE LA SUPERFICIE NO ABSORBENTE., 50
2.1.2. CÁLCULO DE VOLÚMENES., 24	ÁTRIOS DEL CONJUNTO INSTRUMENTAL Y CORO., 48
2.2. LAS MEDICIONES OBTENIDAS., 28	EL CONCIERTO BARROCO, EL CORO Y SUS NECESIDADES ACÚSTICAS, 12
2.2.1. RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN., 28	EL DIFUSOR QRD., 42
2.2.2. LOS RESULTADOS DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA., 30	FORRADO DEL ESPACIO ENTRE VIGUETAS DEL ESPACIO BAJO CUBIERTA., 49
2.2.3. OTROS RESULTADOS., 31	LA ACÚSTICA DEL EDIFICIO, 22
2.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS., 31	LA CONCHA ACÚSTICA., 40
3.1. SITUACIÓN DEL CONJUNTO VOCAL E INSTRUMENTAL., 34	LA CONSTRUCCIÓN DEL ATRIO DEL CORO., 39
3.2. REDISTRIBUCIÓN DE LOS ASIENTOS., 35	LA CONSTRUCCIÓN DEL BALCÓN., 39
3.3. REDISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA SONORA DE LAS FUENTES., 38	LA ERMITA DE SANTA ANA DE ALBAL, 6
3.3.1. CONFIGURACIÓN DEL CORO., 38	LOS CORTINAJES, 48
3.3.2. CONFIGURACIÓN DEL ATRIO DEL CONJUNTO INSTRUMENTAL., 41	LOS REFLECTORES MÓVILES., 46
	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ACÚSTICA, 34

Fue fundada por el Cabildo Catedralicio de Valencia para conmemorar el hallazgo de una imagen de Santa Ana en el tronco de un olivo que había en el lugar donde se edificó en el siglo XIV¹.



ILUSTRACIÓN 2: IMAGEN EXTERIOR DE LA ERMITA DE SANTA ANA

*Bien de Relevancia Local*², la ermita de Santa Ana, debido a diferentes intervenciones ha ido modificando su volumetría hasta su estado actual formado por un volumen principal dedicado a actividades litúrgicas al que se le han adosado en su fachada sureste dos unidades dedicadas a vivienda de conserje y que a día de hoy deben entenderse en su conjunto. La nave principal³ está presentada por una fachada realizada de fábrica de ladrillo macizo con un atrio de seis arcos apuntados y tres cuerpos delimitados por pilares con remate de capitel, faldones y dos pilastras embebidas e idéntico remate en su espadaña, que delimita el porche de acceso a la ermita. Sobre el atrio se disponen sendos ventanales de tres luces y un rosetón, en el cuerpo central, con doble reborde.

A la nave principal se accede por un portón de madera, con forma de arco apuntado, situada en el porche de la fachada principal. Una vez sobrepasado el umbral se encuentra la nave principal, de planta rectangular, y que gracias a los arcos diafragmas, que dividen el espacio, ayudan a identificar el edificio como ejemplo de “iglesia de reconquista”⁴. Estos arcos diafragmas dividiendo en el cuerpo en cuatro espacios: el primero diáfano, los dos siguientes con capillas adosadas a sus laterales, y una cuarta, que corresponde al ábside de planta

¹ Aunque se tiene la primera constancia gráfica en un plano de Ascensio Duarte de 1595, la ejecución de muro tapial que todavía se conserva en la fachada lateral sur parece datar la construcción en el siglo XIV.

² Según la Disposición Adicional Quinta de la Llei 5/2007 de la Generalitat Valenciana que modifica la Llei 4/1998 del 11 de Junio de Patrimoni Cultural Valencià y publicada en el DOCV 5449/13-02-2007

³ Se obviará la descripción de otras partes del edificio ya que el estudio de la nave principal será la que centrará el trabajo final de grado. Además, como se ha citado con anterioridad la realización de diferentes intervenciones han adosado volúmenes y elementos decorativos de estilos diferentes, entre los que está la fachada principal, cuerpo añadido datado a principios del siglo XX, de estilo neogótico, que desvirtúan la imagen original del edificio y no poseen en ocasiones relevancia histórica.

⁴ La iglesia de Santa Anna de Xàtiva posee similar tipología edificatoria y es citada como típico ejemplo de iglesia de reconquista.

rectangular , donde se sitúa el altar, y que se encuentra elevada en altura, por lo que es necesario superar dos peldaños para acceder a él.



ILUSTRACIÓN 3: IMAGEN INTERIOR DE LA NAVE PRINCIPAL DONDE PUEDEN OBSERVARSE LOS DETALLES DE EJECUCIÓN DE LAS DIFERENTES BÓVEDAS

Opuesta a la nave principal, se encuentra el coro, situado encima del porche, y que se accede a través el cuerpo adosado a la fachada sureste, posee un forjado resuelto de revoltones apoyados sobre vigas de madera que son visibles desde el exterior. Posee una gran obertura de forma ojival, enfrente de la que se sitúa el conjunto coral.

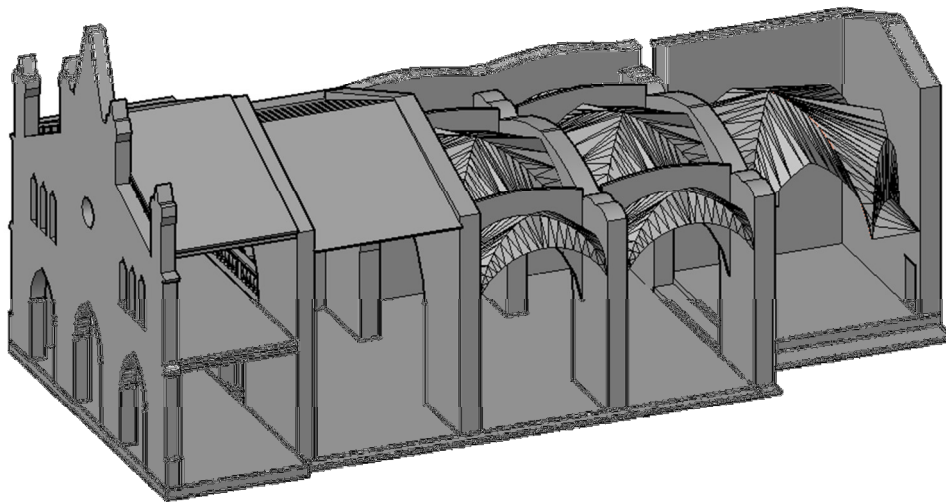


ILUSTRACIÓN 4: SIMULACIÓN DEL ESTADO ACTUAL SIN LA INCLUSIÓN DE MOBILIARIO

Las diferentes intervenciones realizadas en la ermita han provocado disparidad de sistemas constructivos. Mientras que la cubierta se ha ejecutado a dos aguas, con teja árabe y entablado de la ladrillo macizo de apoyo, que transmite los esfuerzos a los arcos diafragma

ejecutados con sillería y muros de fábrica de ladrillo a través de vigas de madera. El acabado interior difiere según el espacio en el que te encuentres. En el caso del coro y la primera crujía, la última intervención⁵ eliminó cualquier falso techo dejando vista la cara inferior de la cubierta.



ILUSTRACIÓN 5: IMAGEN DE LAS CAPILLAS LATERALES.⁶

En las demás crujías el espacio bajo cubierta se resolvió originalmente mediante bóveda tabicada a dos roscas acabado en arista enlucida en su intradós y con nervaduras de yesería que simulaban elementos de sillería y que se resuelven de distinto modo la geometría de las plantas. Mientras el altar aprovechó las trompas para adecuar los lunetos a la planta rectangular, las capillas laterales y el espacio central aprovechó la bóveda apuntada de arista como solución más natural. Sin embargo, el mal estado de la segunda crujía provocó su demolición en una intervención posterior y reconstrucción mediante falsa bóveda de yesería y cañizo que se ha mantenido hasta la actualidad⁷.

Los muros ejecutados de fábrica de ladrillo y tapial de gran espesor se encuentran revestidos de mortero de yeso, en su intradós, y mortero de cemento bastardo coloreados en su trasdós a excepción de la fachada principal, y protegidos en sus partes más débiles por piezas labradas de sillería sin tratamiento cromático, este es el caso de los arcos diafragma y esquinas de algunos muros.

Los suelos han sido restaurados recuperando restos de revestimientos cerámicos del altar para colocarlos en algunas capillas. El resto no son originarios del conjunto pero permiten simular el aspecto original de la construcción.

⁵ La última intervención fue ejecutada por el Arquitecto Miguel del Rey en 2003.

⁶ Fuente: Ignacio Guillen.

⁷ El arquitecto Miguel del Rey data dicha intervención entre 1900-1920 debido a ser una técnica de ejecución muy utilizada en esa época.

El tratamiento de los huecos ha permitido mantener el aspecto compacto y angosto de las construcciones góticas y permiten una mínima iluminación natural a través de sus muros laterales, a excepción del coro, que de añadido posterior, posee una gran iluminación natural que procedente de sus doce ventanas y su rosetón⁸ y que transmite al conjunto a través del balcón del coro.

⁸ El vidrio de los ventanales es tipo vidriera permitiendo ciertos tonos coloreados en el interior. Además, la existencia de contraventanas en los ventanales permite el ajuste de iluminación.

1. EL CONCIERTO BARROCO, EL CORO Y SUS NECESIDADES ACÚSTICAS.

Debido a las reducidas dimensiones de la ermita, la introducción de grandes conjuntos instrumentales dentro de sus muros para la interpretación de piezas musicales parece ser una idea descabellada a priori y centrarse en la audición de pequeños conjuntos instrumentales y vocales por las reducidas dimensiones de la sala.

Atendiendo a la gran calidad de las piezas desarrolladas en la época del barroco y la tipología de sus pequeños conjuntos instrumentales se optó por adecuar la ermita para es este tipo de audiciones.

El Barroco fue un periodo en la historia sobre todo en la cultura occidental que fue muy prolífico culturalmente, debido a que en este periodo se produjo obras en el campo de la literatura, la escultura, la pintura, la arquitectura, la danza y la música, que es la que tenemos en estudio.

Como estilo artístico el barroco surgió a principios del siglo XVII y de Italia se irradió hacia la mayor parte de Europa. Durante mucho tiempo el término barroco tuvo un sentido peyorativo con el significado de recargado, desmesurado e irracional, hasta que a finales del siglo XIX fue revalorizado por Jacob Burchard, Benedetto Croce y Eugenio d'Ors entre otros.

1.1. LA MÚSICA BARROCA.

La música barroca es el estilo musical relacionado con una época cultural europea muy fecunda, esplendorosa, revolucionaria e importante de la música occidental, que abarca desde el nacimiento de la Ópera en el siglo XVI hasta la mitad del siglo XVIII, aproximadamente coincide con la muerte del compositor Johan Sebastian Bach, en 1750, claro exponente de este

movimiento. Su característica más notoria es probablemente el uso del bajo continuo⁹ y el monumental desarrollo de la armonía tonal¹⁰, que diferencia profundamente de los anteriores géneros modales.

Dentro de la música barroca se puede dividir en dos grandes grupos, como podemos observar en el gráfico:

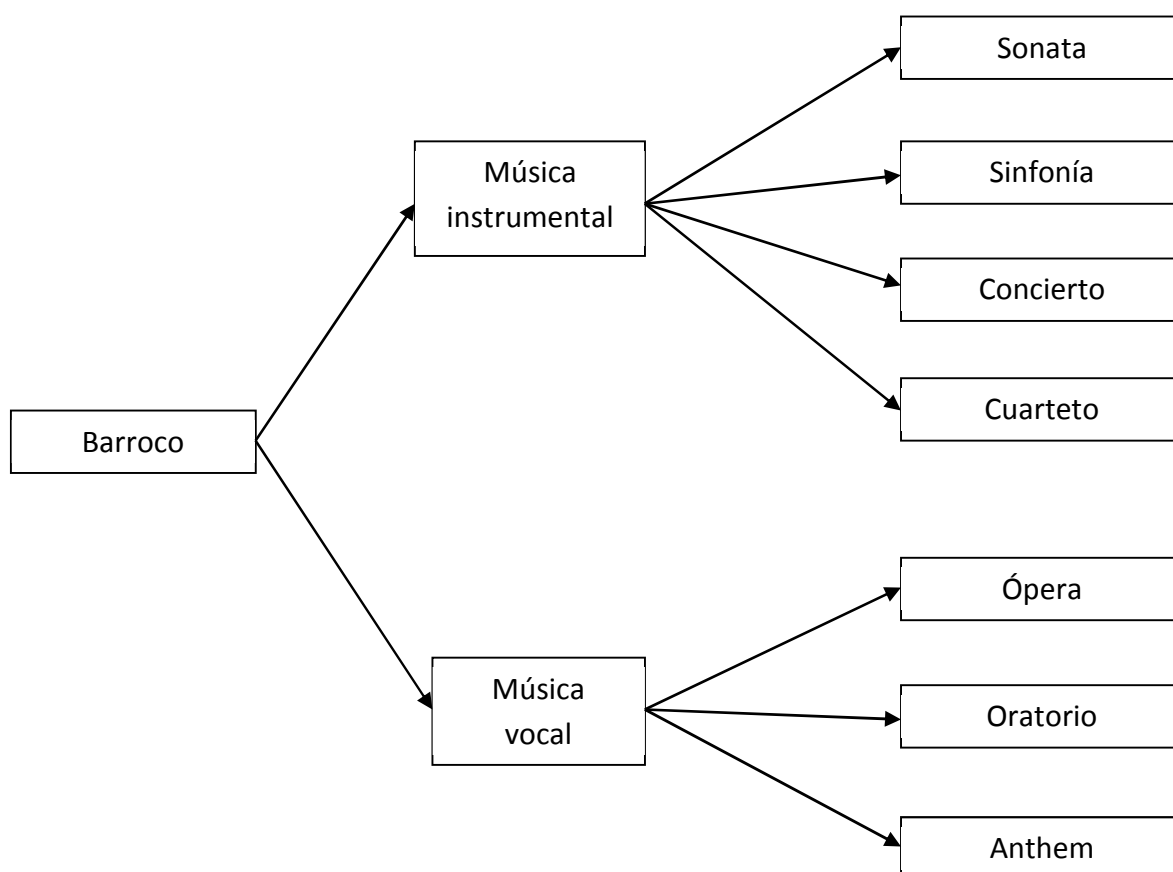


ILUSTRACIÓN 6: GRANDES GRUPOS DE OBRA A INTERPRETAR

También se pueden destacar del barroco varias características importantes para poder distinguirlo:

- Timbres: Entre los timbres se desarrollan los instrumentos de teclado como el clavicordio y el clave. Aparece la orquesta barroca formada por cuerdas (violines, violas, violoncelos y contrabajos), vientos (flautas, trompetas, cornos, fagots, oboes) percusión (timbales). El clave o el órgano participan de la orquesta realizando el bajo

⁹ Es una técnica de composición y ejecución propia y esencial en el periodo barroco, con esta técnica el compositor crea la voz de bajo pero no especifica el contrapunto o los acordes del *ripieno*, que deja a cargo de él o de los intérpretes.

¹⁰ Es un sistema en el que se definen las alturas de los sonidos y están sometidos a una jerarquía en las que hay un sonido principal del que dependen todos los demás que, a su vez, no tienen especial significación salvo por su relación con el principal.

continuo junto con el cello. Las obras son mixtas en su mayoría, esto es: vocal e instrumental o solamente instrumental.

- Tonalidad: La tonalidad barroca es mayor (modo jónico) o menor (modo eólico). El resto de los modos desaparecen, quedando solamente algunos rudimentos del dórico y del frigio, como notas alterables en el modo menor. Las modulaciones se realizan respetando el diatonismo de la escala mayor o menor, dentro del campo de las tonalidades vecinas.
- Técnicas compositivas: Además del contrapunto, se desarrolla la homofonía (por ejemplo las corales), o la monodia acompañada (por ejemplo en muchas sonatas para instrumento con bajo continuo). Hay empleo de secuencias melódicas y progresiones armónicas. El estilo tiende al monometalismo y a la repetición de motivos rítmicos.
- Formas: Son dos grandes grupos: Religiosa: Cantata, oratorio, misa, pasión. Profanas: Suites de danzas (también llamadas partitas), sonatas de cámara, *sonatas da chisea* (para uno o dos instrumentos solistas y bajo continuo), conciertos (es el *concerto grosso* donde la tensión alterna entre el grupo concertino (solista o bajo continuo) y la masa orquestal). También aparece la ópera en esta categoría. En general, las obras barrocas se estructuran en secciones, cada una de las cuales está formada por una exposición y un episodio o divertimento. En la exposición se presenta el tema y en el episodio se elabora y se hace modular hacia otra tonalidad donde se presentará una nueva exposición y así sucesivamente.

1.1.1 LA ORQUESTA BARROCA.

Después de conocer un poco sobre el barroco y su música, veamos cómo se distribuyen los instrumentos en un concierto barroco, para tener una imagen clara de esa distribución se podría tomar como claro ejemplo la ilustración.



ILUSTRACIÓN 7: DISTRIBUCIÓN DE LOS MÚSICOS EN GRANDES CONJUNTOS INSTRUMENTALES.

Los instrumentos más característicos del barroco son la familia de cuerda de los violines, que sufren una gran transformación. Varios de los instrumentos del Renacimiento dejaron de usarse. No obstante, permanecieron: la trompeta, el trombón, la flauta, el órgano, el arpa, el clavicémbalo; y todos se perfeccionaron. Los nuevos son: la familia del violín, el oboe, el fagot, el timbal, la guitarra.

Con todo esto la orquesta se constituyó según el siguiente esquema:

- Está compuesta normalmente por cinco violines primeros, por cinco violines segundos, cuatro violas, cinco violonchelos y dos contrabajos.
- A este núcleo central se añade el de los instrumentos de viento, que normalmente está compuesta por: dos oboes, dos flautas, dos fagotes, dos trompetas y dos timbales.
- Ya avanzado el siglo XVIII, el grupo de viento se completa con dos trompas.
- Finalmente el bajo continuo, que estará realizado por el clavicémbalo, arpa u órgano.



ILUSTRACIÓN 8: EJEMPLO DE UNA DISTRIBUCIÓN DE UNA ORQUESTA BARROCA DE TAMAÑA MEDIANO (16 MÚSICOS)¹¹

1.1.2. EL CORO

Otra parte importante en la música del barroco es la necesidad de coros en muchas de las piezas, sobretudo de carácter religioso.

Tenores segundos	Bajos
Tenores primeros	Barítonos
Sopranos segundas	Contraltos
Sopranos primeras	Mezzosopranos
Orquesta	
Director	

ILUSTRACIÓN 9: DISTRIBUCIÓN DE LAS VOCES DENTRO DEL CORO

¹¹ Fuente: del 20 mayo de 2011 en el Salón Dorado del palacio de la asamblea de Melilla

Los coros están formados por personas con diferentes tesituras (intervalo de notas que es capaz de interpretar) o registros de voz, por lo que:

- Soprano: es la voz más aguda de la mujer o del niño. Su registro oscila entre Do4 y La5. Es la voz que habitualmente soporta la melodía principal.
- Mezzo-soprano: es una voz menos común (generalmente cantan en la fila de contraltos). Su registro se sitúa entre el de las sopranos y las contraltos.
- Contralto: es la voz grave de las mujeres (generalmente cantan mezzosopranos en esta fila debido a que las verdaderas contralto son poquísimas o los niños. Su registro oscila entre Fa3 y Re5.
- Tenor: es la voz más aguda de los hombres; suele oscilar entre Si2 y Sol4.
- Barítono: es la voz con registro medio de los hombres; su registro oscila entre el de los bajos y los tenores, y se sitúa entre Sol2 y Mi4.
- Bajo: es la voz grave y poco común de los hombres; su registro se sitúa entre Mi2 y Do4.

Los coros se componen habitualmente de cuatro cuerdas: sopranos, contraltos, tenores y bajos. Cada cuerda interpreta simultáneamente una melodía diferente, y es gracias a la formación de diferentes acordes que se consiguen los efectos deseados por el autor.

La elección de la disposición de los coros viene dada por la relación del espacio y la acústica del auditorio, también por el número de integrantes por cada voz.

En general se tiende a la disposición o agrupación por voces graves y agudas o disposición en escala. Esta disposición es paralela a la disposición de los instrumentos de la orquesta y permiten un rápido reconocimiento a vista por parte del director.

La proporción de las voces dentro del coro viene dada por la potencia y número de armónicos de las mismas. Los bajos son los más potentes y armónicos, por tanto será el grupo proporcionalmente más reducido. Una buena proporción sería, aproximadamente, de un 32-35% de sopranos, un 25-28% de contraltos, un 18-22% tanto de tenores como de bajos, teniendo siempre más tenores que bajos.

En la época barroca los coros aumentan de número de integrantes y también aumentan el número de partes vocales reales en las obras, muestra de ello son las grandes obras corales de Händel, Bach, Vivaldi, Haydn y Mozart.

En el barroco las personas que tenía acceso a la música era la aristocracia, y lo que anhelaban era el disponer de salas adecuadas para conciertos privados en sus casas, de ahí el nacimiento de la música de cámara, en contraposición de los grandes estrenos de las óperas y conciertos de los célebres compositores que los realizaban en teatros principales y espaciosos con acústicas estudiadas.

1.3. LA SALA DE AUDICIÓN. DISEÑO PARA PEQUEÑOS CONJUNTOS INSTRUMENTALES.

Determinar las condiciones necesarias y la distribución óptima de una sala de audición de pequeñas o medianas dimensiones para la audición de pequeños conjuntos instrumentales parece ser un paso previo a diseñar una propuesta de intervención y además una tarea muy compleja por el carácter subjetivo de la percepción humana.

Sin embargo, ha sido tarea por parte de los investigadores, el proponer fórmulas empíricas que faciliten a los diseñadores de espacios arquitectónicos (donde la acústica de las salas supongan un parámetro imprescindible) obtener niveles de confort cada vez más elevado y sobre todo en las salas destinadas a la interpretación musical. De este modo, parece evidente la necesidad de proponer un lenguaje común para proponer respuestas adecuadas a las necesidades.

Debido a la filosofía del presente trabajo, a parte de las condiciones espaciales de la sala y de disposición de los elementos dentro del conjunto arquitectónico ajustar la reverberación deberá centrar todos los esfuerzos.

1.3.1. MEDICIÓN DE LA REVERBERACIÓN.

Con el fin de poder cuantificar la reverberación de un recinto, se define el tiempo de reverberación (de forma abreviada RT) a una frecuencia determinada como el tiempo (en segundos) que transcurre desde que el foco emisor se detiene hasta el momento en que el nivel de presión sonora SPL cae 60 dB con respecto a su valor. La fórmula de Sabine permite cuantificar con un grado de certeza mundialmente aceptado aunque no sea más que una aproximación:

$$RT = 0,161 \cdot \frac{V}{A_{tot}}$$

Donde se relacionan el volumen de la sala (V) con la absorción de la sala (A_{tot}), tomando como absorción de la sala el sumatorio de los coeficientes de absorción de los materiales multiplicados por su aportación a la sala, es decir, la superficie que ocupan. Podemos expresarla como:

$$A_{tot} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + + \alpha_n S_n$$

En el caso de volúmenes de sala elevados se deberá incluir la absorción del aire como mediante un parámetro 4m que viene dado por la curva experimental de la ilustración siguiente y que provocará que la expresión del tiempo de reverberación quede del siguiente modo:

$$RT = 0,161 \cdot \frac{V}{A_{tot} + 4m}$$

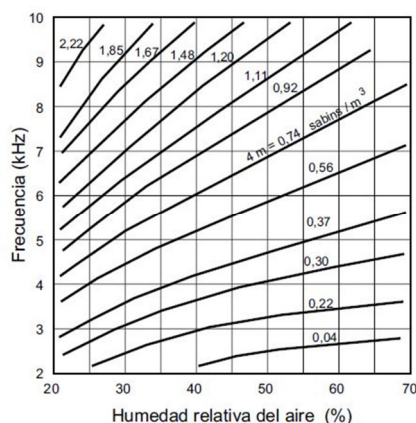


ILUSTRACIÓN 10: EL FACTOR 4M DEPENDERÁ DE LA HUMEDAD DEL AMBIENTE Y LA FRECUENCIA DEL SONIDO SIENDO PERJUDICIAL EN FRECUENCIAS MEDIAS Y ALTAS.

Así conociendo este lenguaje se podrán proponer condiciones y necesidades de diseño de las salas.

1.3.2. NECESIDADES Y PROPUESTAS DE DISEÑO DE LA SALA DE AUDICIÓN.

Como se ha expuesto con anterioridad, el diseño de salas destinadas a la interpretación musical es, sin lugar a dudas, el más complejo desde el punto de vista acústico. No existen fórmulas magistrales cuya utilización permita garantizar la calidad acústica de un recinto. Además, cada tipo de música requiere un recinto con unas características acústicas específicas y diferenciadas.

¹²La dificultad se ve acrecentada por la falta de un lenguaje común y universal entre los diferentes colectivos involucrados: músicos, críticos musicales y consultores acústicos. A lo largo de las últimas décadas se han hecho importantes esfuerzos encaminados a relacionar las valoraciones subjetivas sobre la calidad acústica de una sala con una serie de parámetros objetivos (físicamente medibles). Aunque en la actualidad todavía nos hallemos lejos de conseguir una perfecta correspondencia entre lo subjetivo y lo objetivo, el progreso en este sentido es notorio. Además, la mayoría de parámetros pueden ser calculados en la fase de diseño mediante programas informáticos de simulación acústica, y también pueden ser medidos una vez construido el recinto.

Por otra parte, el margen de valores recomendados para cada parámetro no se ha establecido como fruto de profundos estudios matemáticos, sino que se ha fijado siguiendo un proceso totalmente empírico. Tal proceso ha consistido en analizar un numeroso conjunto de salas de conciertos de todo el mundo y en determinar los valores de sus parámetros acústicos más representativos. Los valores correspondientes a aquellos recintos considerados unánimemente como excelentes desde un punto de vista acústico han sido los elegidos como patrón para el diseño de nuevas salas. El éxito en el diseño no radica sólo en lograr que tales valores se hallen dentro del margen deseado, sino en que ello ocurra en todos los puntos de la

¹² Fuente: Diseño acústico de espacios arquitectónicos de ediciones UPC, 1998

sala, es decir, en que exista una uniformidad del sonido. Cuántas veces hemos escuchado afirmaciones, o incluso vivido experiencias personales, relacionadas con la existencia de zonas “muertas” o con una acústica “deficiente” en una sala cuyo comportamiento global es valorado como correcto.

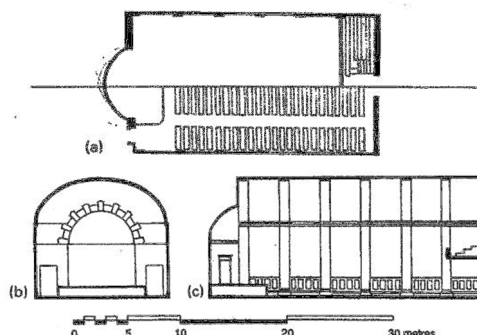


ILUSTRACIÓN 11: PROPUESTA CLÁSICA DE UNA SALA DE AUDICIÓN. WIGMORE HALL, LONDON

Las necesidades para una buena sala para música de cámara deben ser diversas:

- Debe ser un sitio en la que la visual de los músicos no se pierda nunca tanto como la acústica proveniente de la reflexión directa y que la reverberación no sea muy distante en el tiempo.
- La dimensión de la sala es muy importante para este tipo de música porque no tiene la misma potencia una orquesta completa que por ejemplo un cuarteto de cuerda porque es la centésima parte de la potencia.
- Otra necesidad importante a tener en cuenta es que esta sala debiera estar diseñada para escuchar individualmente las líneas del sonido, es decir, que las ondas sean lo más directas posibles evitando las reflexiones de onda o si existieran nunca fueran desfasadas más de 1.4-1.7 segundos después de la primera recepción de sonido. Porque un aumento de reverberación implica una peor calidad y claridad, dando una falsa potencia.
- La relación de las dimensiones de la habitación será rectangular pero sin que una de las medidas sea excesivamente mayor que la otra. Porque las estancias alargadas son buenas para las orquestas completas porque la reverberación mejora la acústica. Y para las estancias con dimensiones más reducidas lo que hay que conseguir son reflexiones directas cortas o nulas.

Veamos cómo se comporta y las sensaciones que nos da la reverberación en diferentes situaciones:

- Sobre el volumen la reverberación tiene un coeficiente de absorción de 1.14 por lo que así se va disipando cuanto más altura tenga la estancia, en definitiva que se necesitaran espacios de superficie reducida pero con una altura considerable.

- Las distancias de reflexión deben ser cortas para que así sea rápida la llegada del sonido al espectador.
- Otro caso es evitar la reverberación con la absorción de sonido de los materiales.
- La reverberación sobre frecuencias altas y medias dan una sensación de brillantez al sonido, pero respecto de las frecuencias baja dan una sensación de calidez.

Finalmente se deberá atender unas condiciones mínimas para una sala de música de cámara:

- La necesidad de que sea una sala pequeña que muy alargada es un dato a tener en cuenta, al realizar una sala para conciertos de música de cámara.
- Una solución para dar una mejor reflexión a favor y utilizar la reverberación es poner unos reflectores móviles a pocos metros de los espectadores.(según Meyers 1998)
- Evitar los ecos y tener las reflexiones muy cortas sería una condición a realizar mediante diseño.
- A cuanto mayor sea la altura de la sala mayor coeficiente de absorción y menor reverberación dispondrá la sala, siendo lo ideal de que los techos sean planos. Las cubiertas inclinadas como por ejemplo *The Malting Concert Hall* de *Snape* con una cubierta de 45º de inclinación por su planta excesivamente alargada no funciona bien, pero recortando a mitad el aforo y su dimensión más alargada se reducen los parámetros a 1.6 de los 2.0 y 3.5 que tiene en frecuencias altas y bajas.

En este caso al estar ante una propuesta de intervención existente el diseño de la sala imposibilita formas arquitectónicas más acordes con las teorías sobre el diseño de una sala de audición que pueden verse en la siguiente ilustración:

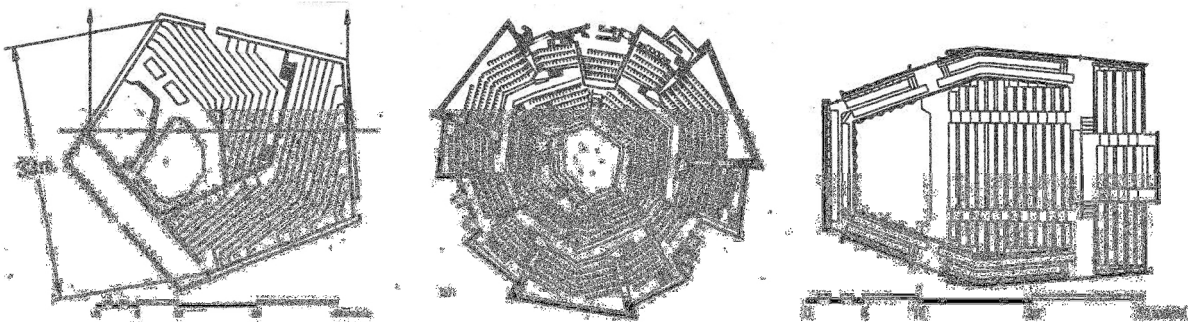


ILUSTRACIÓN 12: TRES EJEMPLOS DE DISEÑO EN PLANTA DE SALA DE AUDICIÓN: MOZARTSAAL DE LA LIEDARHALLE DE STTURGAT, CHAMBER MUSIC HALL DE LA FILARMÓNICA DE BERLÍN Y LA DOELEM CHAMBER MUSIC HALL DE ROTTERDAM¹³

¹³ Fuente: Michael Barron "Auditorium acoustics and architectural design" Ediciones: Spon Press

2. LA ACÚSTICA DEL EDIFICIO.

Aunque el conjunto arquitectónico está formado por los cuerpos de la ermita y de la vivienda del conserje. El presente trabajo se centrará en el cuerpo principal de la ermita que será el centro del estudio de acondicionamiento acústico sólo se analizará partición compartida entre ambas estancias.

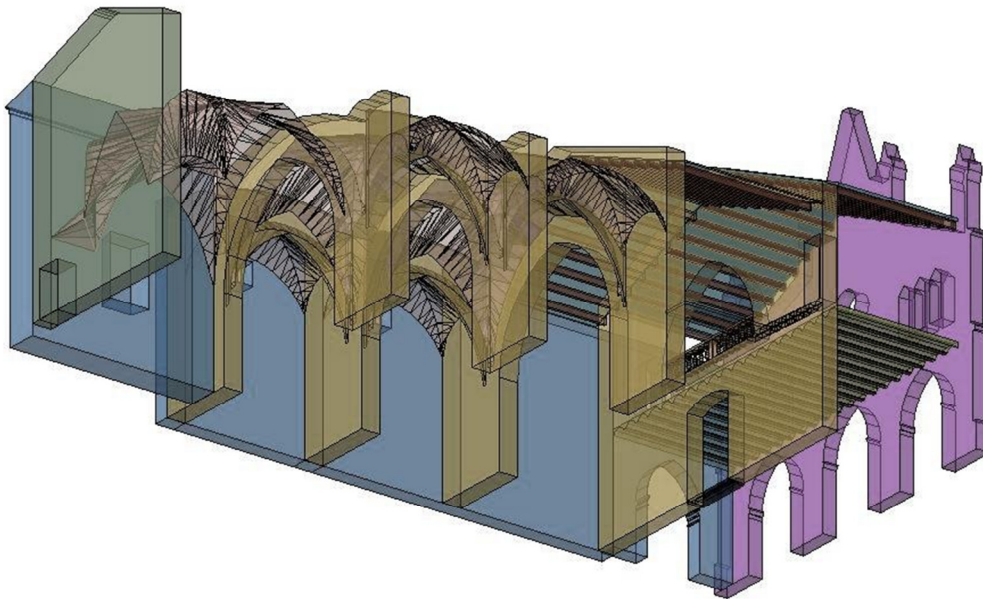


ILUSTRACIÓN 13: ESTADO ACTUAL DE CRUJÍAS Y CUBIERTAS MEDIANTE LA VISTA DE UN PLANO CENITAL.

Llegados a este punto parece evidente que, conocidos los requisitos y características de una sala para la audición de música interpretada por pequeños conjuntos instrumentales y corales, se analice la respuesta de la sala ante estímulos acústicos.

Puesto que en este caso en particular, la rehabilitación acústica de la ermita no permite el diseño espacial de la sala de audición, el paso inicial en el proceso de intervención será conocer e analizar la geometría de la sala para un primer análisis del comportamiento acústico.

2.1. LA SALA DE AUDICIÓN.

El primer dato a tener en cuenta es el carácter histórico de la sala que obliga a trabajar con materiales de revestimiento desfavorables desde el punto de vista de la acústica arquitectónica y disposiciones geométricas que pueden provocar fenómenos no deseados, como es el caso de las focalizaciones¹⁴. A esto hay que sumarle, que en nuestra sala de audición tiene la peculiaridad de poseer dos volúmenes, el coro y el cuerpo principal, con una abertura de grandes dimensiones que los comunica con lo que es posible intuir el posible acoplamiento del sonido¹⁵.

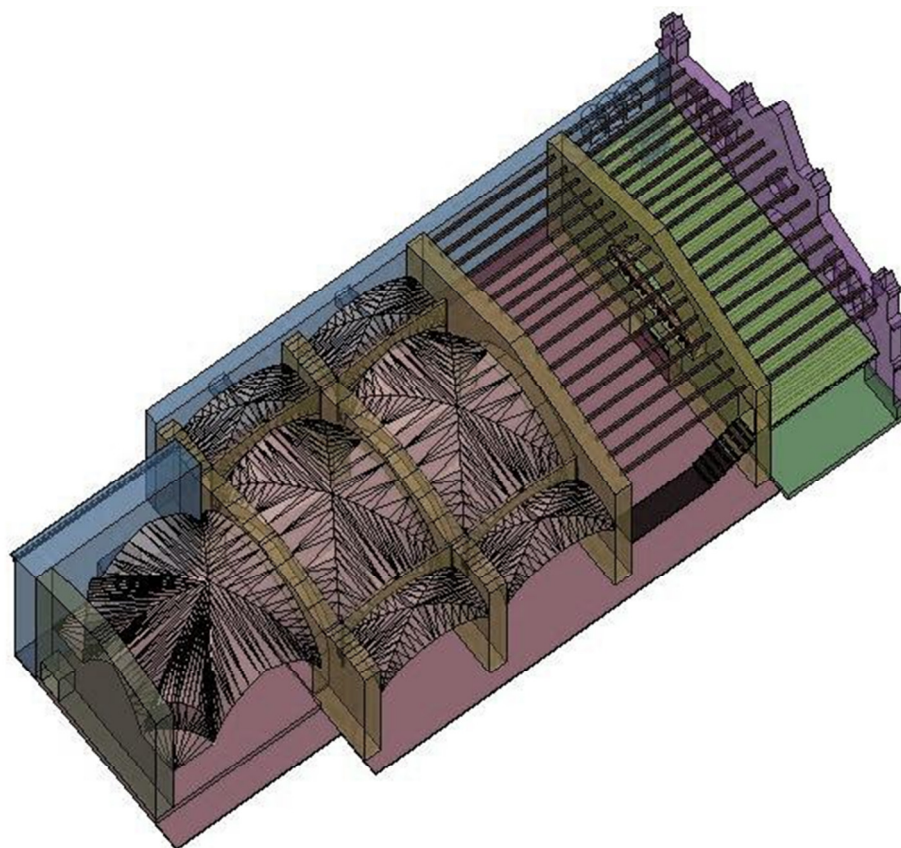


ILUSTRACIÓN 14: VISTA AÉREA DE LA ERMITA

¹⁴ La forma cóncava de las bóvedas puede, sin un estudio en profundidad, ser fuente de este tipo de focalizaciones.

¹⁵ Dado que la altura media de la abertura, por aproximación a curva sinusoidal, es de $\frac{3,3}{\sqrt{2}} = 2,34m$ que puesto que no cumple la condición, propuesta por kudsén en "Le project Acoustique en la Architecture", de ser 2 veces mayor a la profundidad de cada una de las salas (4,5 m para la profundidad del coro y 22,57 la de la sala del cuerpo principal) deberá analizarse como una única sala.

Centrándose en las características geométricas del conjunto se puede observar que el cuerpo central de forma rectangular y de poca superficie en planta favorecerá las reflexiones que pudieran provocar ya no solamente el eco sino además ecos flotantes¹⁶.

Es necesario, además de conocer las formas geométricas de la sala, conocer las dimensiones con el fin de poder realizar una intervención en la sala cuyos cuadros resumen se pueden ver a continuación.

2.1.1. CÁLCULO DE SUPERFICIES.

En cuanto a las superficies la única dificultad se encuentra en la obtención de la superficie de las bóvedas del cuerpo principal incluido las capillas laterales y el altar. Este proceso de cálculo verse en el anexo 1.

Como resumen pueden verse las tablas siguientes cuyos datos incorporados son los que serán utilizados para la propuesta de intervención.

2.1.2. CÁLCULO DE VOLÚMENES.

Del mismo modo, el conocimiento de los volúmenes de la sala es imprescindible para realizar la propuesta de intervención, así que, también han sido calculados. En el mismo anexo I se puede observar el proceso de obtención de los volúmenes. A modo resumen en la siguiente tabla están expuestos los resultados del cálculo.

Este dato es importante puesto que aunque el ámbito de aplicación del CTE DB HR excluye intervenciones en edificios existentes protegidos oficialmente en razón de su catalogación cuyas actuaciones, en cumplimiento de las exigencias alteren la configuración de su fachada, distribución y/o acabado exterior, sean incompatibles con su conservación, los recintos destinados a espectáculos, aulas y salas de conferencia de volúmenes mayores a 350m² deberán ser objetos de un estudio de acondicionamiento que regulará los criterios y procedimientos.

Una vez conocidos los datos geométricos de la sala podríamos acudir a la sala para la realización de mediciones que nos caracterizarán la sala y nos podrán ayudar a comprender la acústica de la sala.

¹⁶ El eco flotante es un fenómeno provocado por las continuas reflexiones entre dos paredes opuestas y paralelas dentro de una sala, en las que paramentos poco absorbentes permite la propagación de la onda más allá de los 50ms. Aunque niveles de reverberación elevados podrían enmascararlas, estos podrían aflorar una vez realizado el acondicionamiento.

TABLA 1: CUADRO DE SUPERFICIES Y VOLÚMENES

Cuadro de superficies						
Superficie (m2)						
Zona	Pavimentos de la sala de audición	Huecos		Paramentos sin huecos	Cubiertas	
Coro	294,95	Madera	1,78	653,15	Cubierta de madera	93,65
		Vidrio	12,33			
Cuerpo principal	49,82	Madera	13,13	98,46	Cubierta de madera	107,38
		Vidrio	2,61		Bóvedas	399,64
Superficie total	274,77	Superficie parcial	29,85	Superficie parcial	605,85	
				Superficie total	1662,09	

Cuadro de volúmenes	
Volumen (m3)	
Zona	Volumen de la sala de audición
Coro	210,16
Cuerpo principal	1423,76
Volumen total	1633,92

2.2. LAS MEDICIONES OBTENIDAS.

Puesto que se conocen las características de la sala de audición es conocer qué datos son imprescindibles para enumerar la respuesta de ésta ante estímulos sonoros. Puesto que estamos acondicionando una sala parece evidente centrar los ensayos en el conocimiento de la distribución de los tiempos de reverberación y los niveles de presión sonora en la sala.

En la ermita existen dos posibles localizaciones de las fuentes sonoras por lo que se planificó dos series de ensayos para conocer el comportamiento de la sala, una posicionando la fuente en el coro, situación del conjunto coral, y otra posicionando la fuente en el altar, situación del conjunto instrumental. En cuanto al elemento receptor de los estímulos sonoros, se optó la colocación de dos sonómetros en el eje longitudinal de la sala equiespaciados y otro más en un lateral para obtener una muestra lo suficientemente amplia¹⁷. (En el plano 1 puede verse la distribución de las fuentes y receptores.).

Finalmente se realizaron mediciones in situ en Febrero de 2004¹⁸ siguiendo la norma UNE EN ISO 3382 que estuvieron centradas en la obtención de la distribución de niveles de presión sonora en la sala y los tiempos de reverberación, dos de los parámetros básicos para conocer el comportamiento de la sala.

2.2.1. RESULTADOS DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN.



GRÁFICA 1: LAS MEDICIONES CONFIRMAN UNA REVERBERACIÓN ELEVADA.

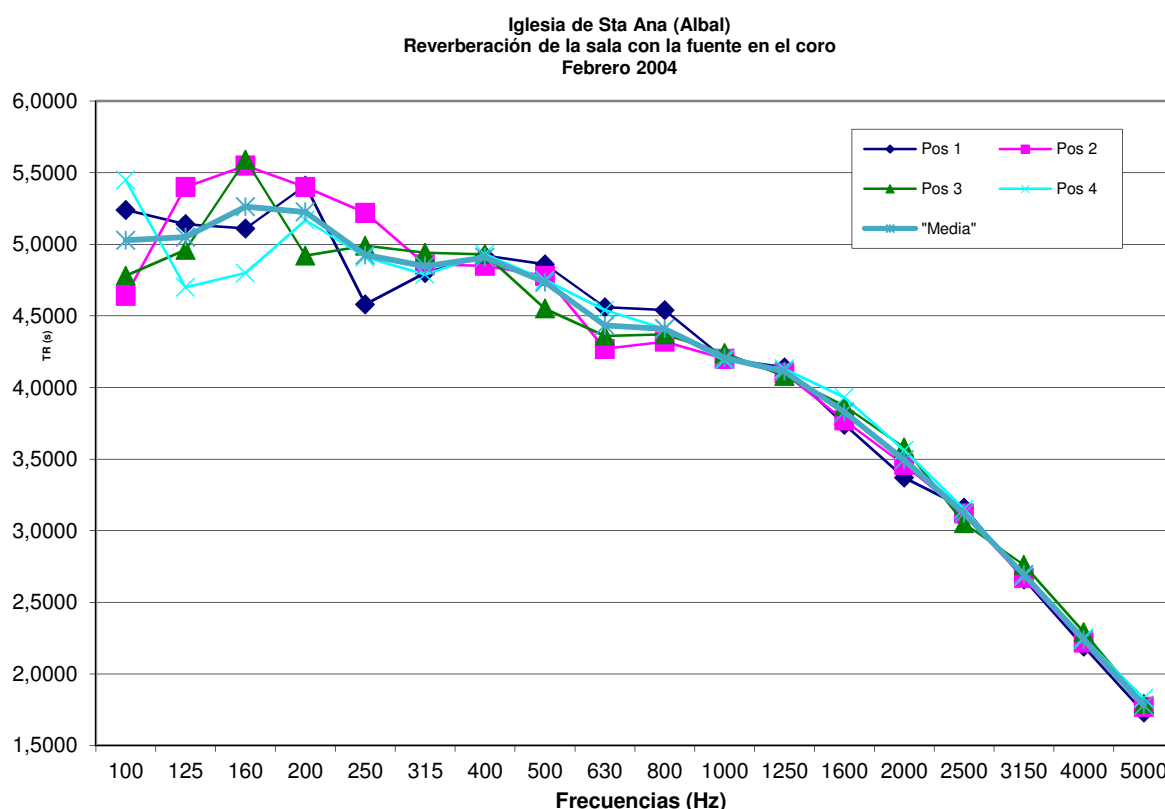
¹⁷ Debido a las reducidas dimensiones en planta con estas tres/cuatro localizaciones del receptor se puede conocer el comportamiento de la sala.

¹⁸ Las mediciones fueron realizadas en 2004 por un equipo de la Universidad Politécnica de Valencia dirigidos por el arquitecto Ignacio Guillén.

Hablando de los tiempos de reverberación¹⁹, una vez recopilados los datos de las mediciones se propone obtener un valor promedio de la sala en $1/3$ de octava y expresarlo gráfica y numéricamente mediante el RT_{mid} .

En el caso de la colocación de la fuente en el altar RT_{mid} expuso un valor 4,47, excesiva reverberación para una sala de audición cuyos valores deben estar entre 1,6 segs. y 1,8 segs. y una curva por $1/3$ de octava prácticamente que aunque son excesivos no existe ningún valor puntualmente que se vaya de una curva característica incluyendo el efecto del vapor de agua.

Por otro lado, el caso de la colocación de la fuente en el coro RT_{mid} expuso un valor 4,35 segs. , una curva similar a la del altar. Siendo el tiempo de reverberación excesivo, hay que citar la pequeña diferencia entre los tiempos de reverberación según la localización de la fuente sonora de 120 milisegundos que además de perceptible por el oído humano pone en relevancia la existencia de acoplamiento entre cuerpo principal y el cuerpo del coro y que muestra la transferencia de energía entre espacios acoplados y el consiguiente aumento del tiempo de reverberación de la sala²⁰.



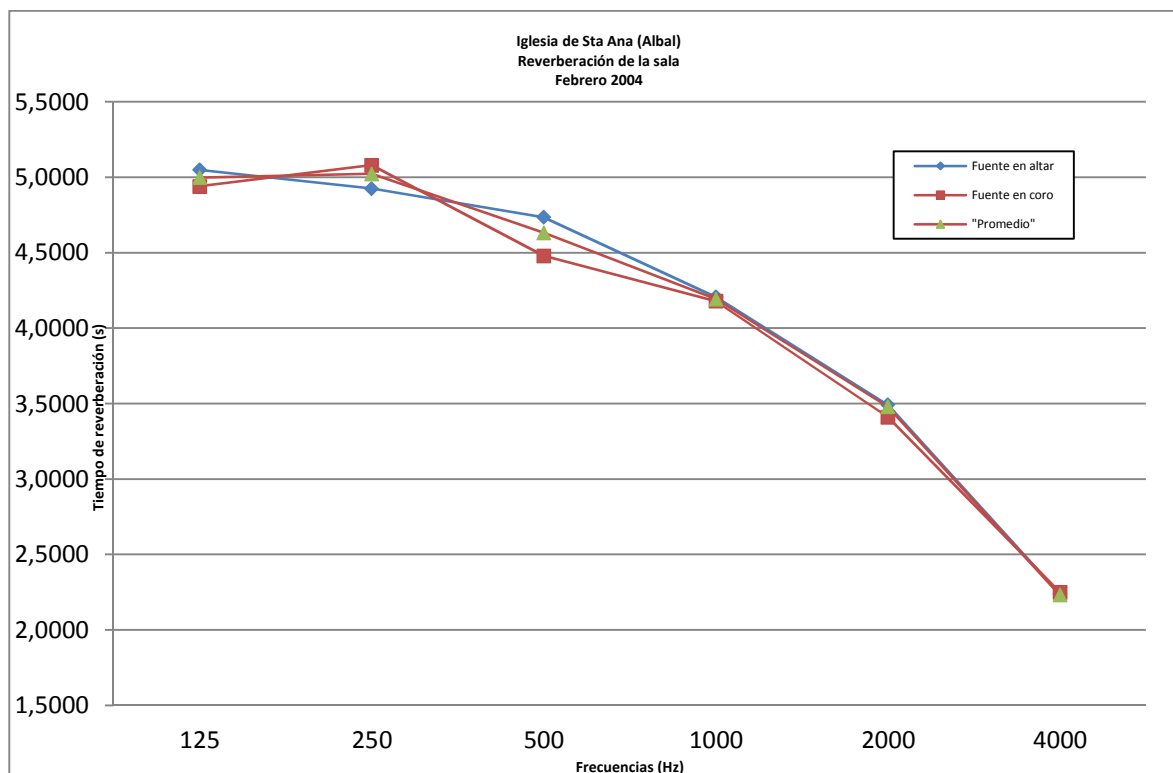
GRÁFICA 2: LA REVERBERACIÓN MUESTRA EL SIMILAR COMPORTAMIENTO DE LA SALA DE AUDICIÓN ANTE LA SITUACIÓN DE LA FUENTE SONORA.

¹⁹ El tiempo de reverberación se obtiene por caída de 60dB en el nivel de presión sonora, sin embargo, debido a la dificultad de medida se encuentra estandarizada la obtención de ese valor como aproximación desde la caída de 30dB denominada TR_{30} .

²⁰ J. J. Sendra, T. Zamarreño, J. Navarro y J. Algaba Págs. 19-20 "El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: Principios y propuestas" de Ediciones del Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción.

Por otro lado, se debe citar, aunque de pequeña amplitud, una depresión de mayor absorción en la banda de $1/3$ de octava de 125Hz que se repite a 250-315Hz y 500-600Hz (múltiplos de en frecuencia de un modo fundamental dentro de la banda de 125-160 Hz), que habrá que detectar su origen.

Debiendo trabajar con un valor promedio que se muestra a continuación y que muestra las frecuencias estandarizadas de trabajo donde puede observarse la absorción producida por el aire a partir de frecuencias medias.



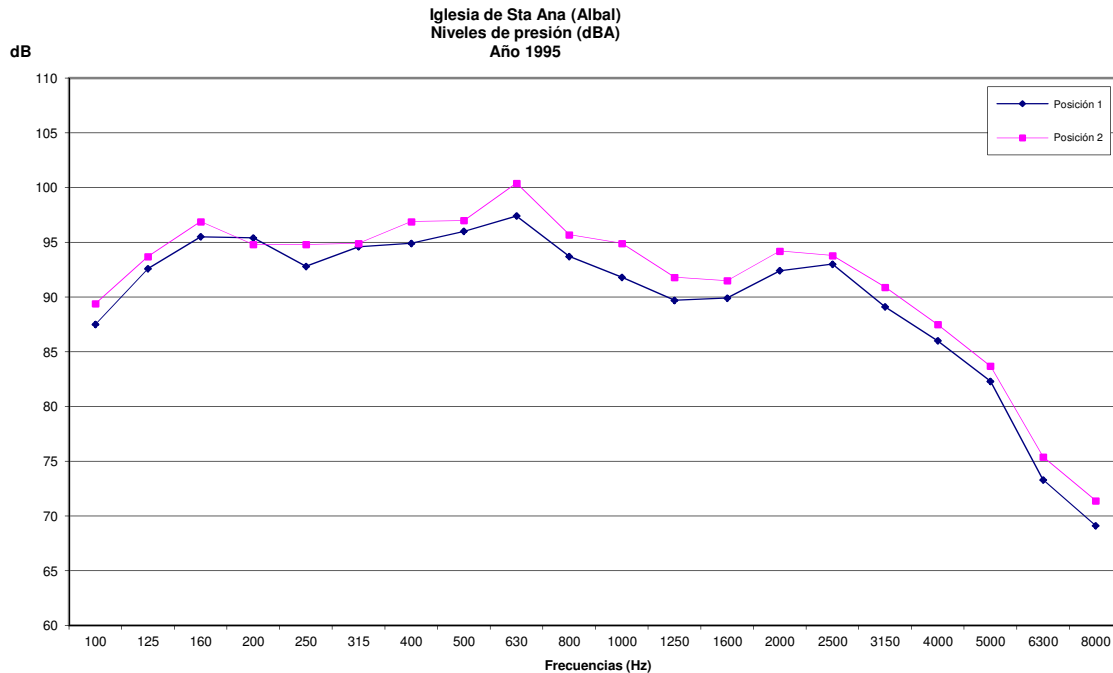
GRÁFICA 3: CURVA DE REVERBERACIÓN DE NUESTRA SALA ESTANDARIZADA Y QUE NOS SERVIRÁ DE COMPARACIÓN UNA VEZ INSERTADOS LOS MATERIALES

2.2.2. LOS RESULTADOS DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA.

Cuando analizamos los niveles de presión sonora debemos tener en cuenta que la medición se realiza con una fuente emisora de ruido rosa emitiendo de forma continua por lo que los valores obtenidos se tratan de una media integrada en el intervalo estandarizado.

En nuestro caso el tiempo de reverberación es excesivo, debido a la baja absorción de los materiales de la ermita, esto provoca un campo muy difuso, donde los niveles de presión son estables en casi todas las localizaciones de receptor acústico. Sin embargo, expresan la absorción a medias- altas frecuencias puesto que a partir de los 600Hz la curva empieza a mostrar una pendiente negativa (ver gráfica 4).

De este modo, el análisis de los niveles de presión sonora no es concluyente y habrá que tener cuidado cuando de ajuste la reverberación con la intervención ante la posible aparición de efectos no deseables enmascarados por la baja absorción de la sala.



GRÁFICA 4: LA DISTRIBUCIÓN DE NIVELES NOS CONFIRMA LA POCA ABSORCIÓN DE LA SALA.

2.2.3. OTROS RESULTADOS.

Se podría analizar otros parámetros de calidad de la sala, como es el brillo como la calidez acústica pero teniendo valores tan altos de reverberación parece evidente hasta que no se ajuste este fenómeno estos parámetros pasan a un segundo plano.

2.2.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

El fenómeno a eliminar es sin duda la reverberación de la sala por lo que el diseño de la intervención deberá centrarse en el aumento de la superficie de materiales absorbentes. Además, valores tan altos de reverberación enmascaran otros fenómenos provocados por la reflexión de las ondas sonoras y que se deberán tener en cuenta a la hora de diseñar la propuesta de intervención. Con el fin de trabajar con un único de valor de reverberación para poder caracterizar la sala por ello se optó por la media de los valores promedio de ambas fuentes, obteniendo un valor RT_{mid} de 4,41, que deberemos reducir mediante la correcta disposición de materiales absorbentes aumentando así la superficie fonoabsorbentes.

Estudios realizados sobre la acústica de iglesias góticas²¹ ya indicaban la compleja acústica de este tipo de salas y las limitaciones a la hora de intervenir por el carácter histórico de las edificaciones. Sin embargo proponen intervenciones en:

- El revestimiento de suelos con la sustitución de pavimentos por piedras porosas como el basalto, o la inclusión de un encajonado de madera bajo los asientos, entre otros.

²¹ Meyer, Jürgen "Acoustics of gothics churches"

- Los revestimientos de paramentos verticales y techos con la renovación de los enlucidos con yesos acústicos.
- Inclusión de elementos, como parabanos absorbentes cerca de las fuentes acústicas, o cortinajes.

Estas intervenciones serán estudiadas para conseguir la reducción de tiempo de reverberación.

Sin embargo, una vez reducido el efecto de la reverberación se podrá tener en cuenta otros parámetros como son la calidez acústica (BR)²², nos daría información de la respuesta a frecuencias bajas, y el brillo (Br)²³, que sería un indicativo de que el sonido es claro y rico en armónicos. Sin embargo quedan fuera de este estudio otros parámetros secundarios como son:

- Intimidad.
- Sonoridad.
- Relaciones energéticas (ELR).
- Etc.

²² La calidez acústica BR ("Bass Ratio") se obtiene como el cociente entre la suma de los tiempos de reverberación correspondientes a las bandas de frecuencias de 125 Hz y 250 Hz y la suma de los RT correspondientes a las bandas de frecuencias de 500 Hz y 1 kHz.

²³ El brillo (Br) se obtiene como el cociente entre la suma de los tiempos de reverberación correspondientes a las bandas de frecuencias de 2 kHz y 4 kHz y la suma de los RT correspondientes a las bandas de frecuencias de 500 Hz y 1 kHz.

3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ACÚSTICA.

Puesto que la sala debe compatibilizar el uso principal para el oficio de actos litúrgicos con la de conciertos de pequeños grupos instrumentales y vocales. Se ha optado por proponer unas actuaciones orientadas a:

- Situar los conjuntos vocal e instrumental.
- Redistribución de los asientos con el fin de aumentar el aforo y la mejora de la visibilidad.
- Redistribución de la potencia sonora de las fuentes emisoras, en este caso del coro y del atrio de los músicos.
- Aumento de la superficie fonoabsorbente.
- Mejora de la accesibilidad.

Todo ello atendiendo al carácter efímero de las actuaciones musicales y al deber de conservación histórico del edificio por lo que la intervención que se ha programado no será agresiva con la arquitectura del edificio, y además, será reversible a su estado actual.

3.1. SITUACIÓN DEL CONJUNTO VOCAL E INSTRUMENTAL.

En cuanto al conjunto vocal, parece evidente que mantener su actual situación en la sala del coro mantendría la armonía actual sin reducir la funcionalidad con que disfrutaba la sala. La única actuación sería, con la intención vaciar la sala del coro de presión sonora, la de desplazar el coro permitiendo situar parte del coro fuera de la sala con la inclusión de un pequeño balcón de reducidas dimensiones, aportando además una nueva estructura escalonada con refuerzo de reflexiones mediante la instalación de una concha acústica, permitiendo un conjunto de voces de 25 personas lo suficientemente grande para permitir una gran impresión acústica.

Otro caso, es la situación del conjunto instrumental que, dado que es de nueva inclusión en el conjunto arquitectónico, provocará la afección de otros elementos de la sala. Entre las posibles situaciones que afecten al mínimo número de asientos que se pueden barajar centrarse en su posicionamiento en el altar²⁴ parece la opción más interesante, para a posteriori, analizar la distribución de los músicos en planta que vendrá afectada por la variedad de instrumentos y su posición formal dentro de los conjuntos barrocos.

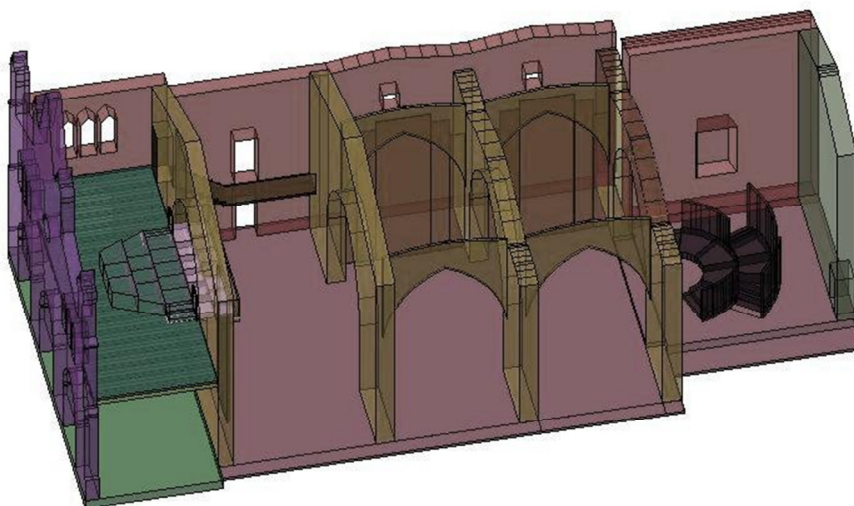


ILUSTRACIÓN 15: DISPOSICIÓN DE LA PROPUESTA DE FUENTES SONORAS DEL CONJUNTO INSTRUMENTAL Y VOCAL EN LA SALA.

En este caso, y ante las reducidas dimensiones y con el fin de permitir un recorrido de circulación alrededor del atrio, se dispuso siete instrumentos dispuestos en dos filas escalonadas en forma de media luna atendiendo a una superficie de ocupación acorde con las dimensiones de cada instrumento²⁵ permitiendo finalmente la inclusión de:

- Cuatro violines (o dos violines y dos instrumentos de viento).
- Una viola.
- Un Violonchelo.
- Un Contrabajo.

3.2. REDISTRIBUCIÓN DE LOS ASIENTOS.

A día de hoy la ermita consta de una serie de bancos diseñados para actos litúrgicos de similares características a los mostrados en la ilustración 4, que forman once filas de dos bancos separados por un pasillo central de un metro de anchura, y que no permiten el paso lateral puesto que solo dejan apenas 40 cm en flancos de la sala. Esta tipología de banco,

²⁴ Pudiéndose utilizar una disposición central, que obligaría la modificación de la disposición de los asientos y eliminación de filas de asientos, y la disposición a ambos extremos de la sala central, que supondrían la eliminación de filas de asientos, se optó por la situación de conjunto instrumental en el altar que en este caso supondría al desmontado temporal de algunos de los elementos litúrgicos como son el altar y el púlpito de los sermones. Además, esta disposición magnifica la dimensiones de la sala y permite ver el conjunto arquitectónico en todo su esplendor.

²⁵ Considerando una superficie de ocupación en el caso de:

- Violín, viola e instrumentos de viento pequeños de 1,25 m².
- Violoncelos de instrumentos de viento de gran tamaño 1,50 m².
- Contrabajo de 1,80 m².

Fuente: A. Carrión Pág. 283 "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos" de Edicions UPC según Gade.

aunque imposibilita una libertad de distribución en planta, permite un aforo de la sala de 110 personas, mayor que en el caso de butacas/asientos individuales.

Por otro lado, atendiendo a las necesidades litúrgicas parece evidente que mantener el pasillo central es la una opción que podría permitir una distribución de asientos estable y, sólo en el caso de aumentos de aforo puntuales, la posibilidad de incluir algún asiento individual en espacios pocos nobles cerca de las capillas laterales o más alejados del pasillo central.

De este modo la propuesta se centra en el aprovechamiento de estos bancos mejorando la accesibilidad mediante el incremento del paso central hasta los 1,5m.²⁶ lo que provoca la necesidad de la modificación del tamaño de algunos bancos existentes e imposibilita el realizar un pasillo lateral. Además, con el fin de permitir el acceso a las capillas laterales de la nave central se habilitan dos pasos de 1,2m.



ILUSTRACIÓN 16: EJEMPLO DE BANCO DE IGLESIA²⁷.

El resto de asientos hasta completar el aforo se realizarán mediante sillas o bancos de madera de similares características al actual.

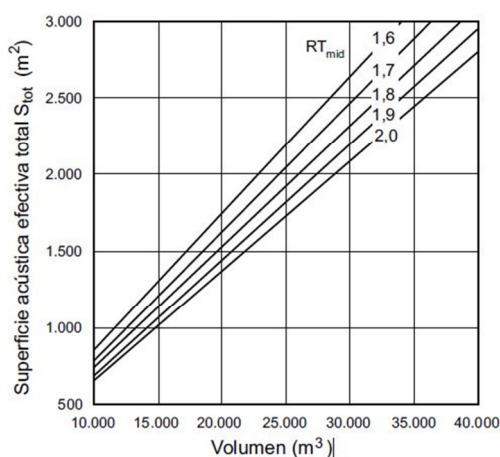


ILUSTRACIÓN 17: SUPERFICIE ACÚSTICA EFECTIVA TOTAL S_{TOT} EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN V DE LA SALA Y DEL RT_{MID} (SALA OCUPADA)²⁸

²⁶ En muchas ocasiones las ermitas son lugares muy populares para la realización de bodas, actos que necesitan el paso de dos personas en paralelo en su tránsito al altar.

²⁷ Fuente: www.articulosreligiososbrabander.es

²⁸ Fuente: Antoni Carrión Isbert en su libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Edicions UPC.

Puesto que conocemos las dimensiones de nuestra sala podemos relacionar el volumen y superficie de nuestra sala con el tiempo de reverberación con el fin de conocer el aforo óptimo de la sala según:

$$R_{mid} = \frac{0,2 \cdot Volumen\ de\ la\ sala}{N^{\circ}\ de\ Asientos}$$

Obteniendo, por valor de aproximación de $V/N = 10$ y un valor óptimo para nuestro tiempos de reverberación entre 1,6 y 1,8 segs., un aforo de entre 185 y 208 asientos²⁹. Además, esto supondría que, la necesidad media de 1,45 m² de superficie en planta por cada asiento según esta aproximación, obligase a una superficie en planta 268,25 y 301,6 m² que se aleja de la superficie en planta de la sala principal de la ermita.

Sin embargo, teniendo en cuenta la compleja distribución de la planta afectada por la presencia de arcos diafragmas, que provoca una visibilidad reducida en los asientos más alejados del pasillo central³⁰, se ha conseguido un aforo de 137 personas.

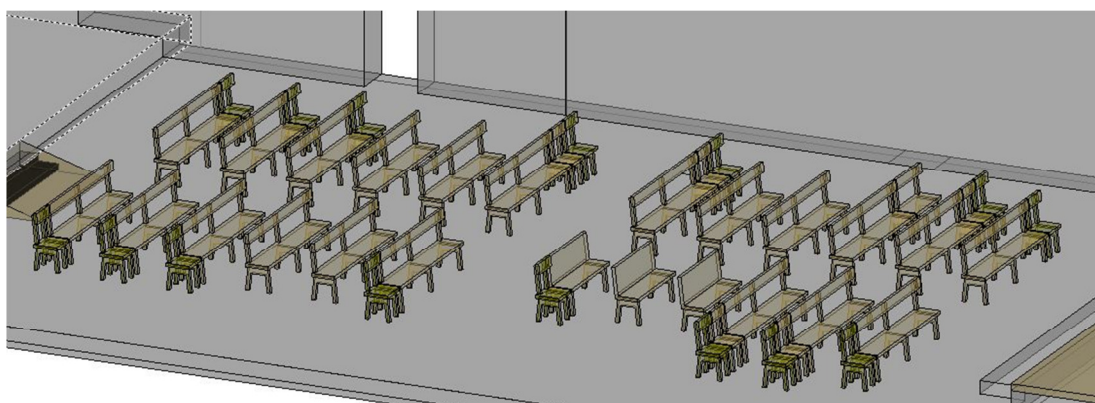


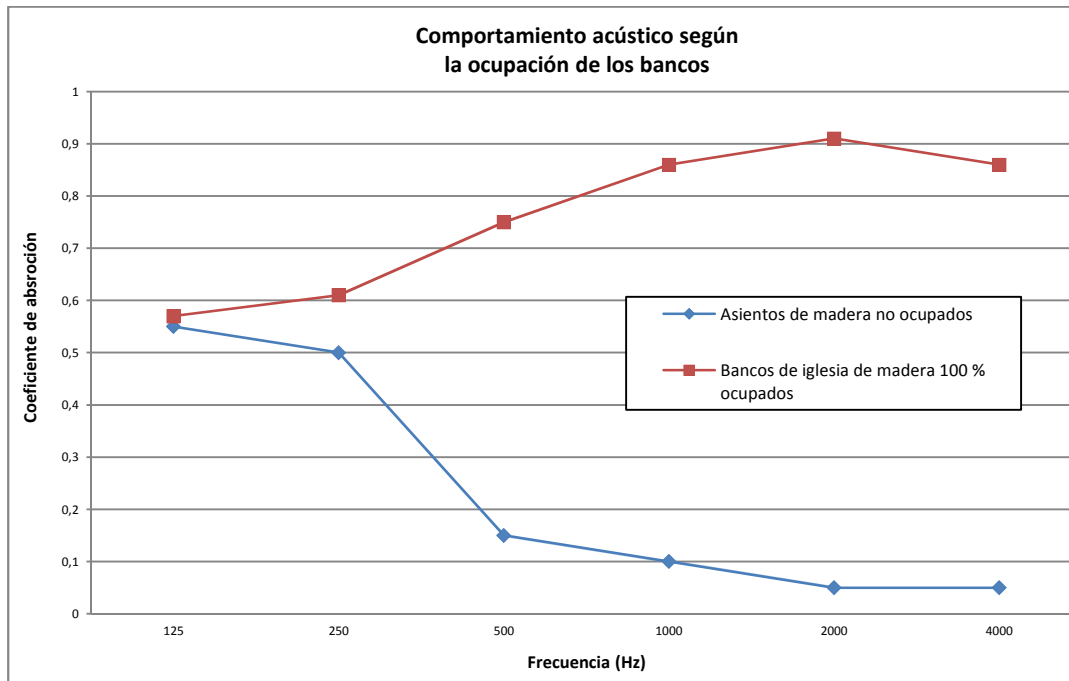
ILUSTRACIÓN 18: Aforo final de la sala

Esta justificación de aforo vino acompañada de un estudio de visuales que evidenció que la existencia de dos escalones antes de acceder al altar que favorecen la visibilidad de los espectadores en el plano vertical. Sin embargo, dado la longitud de la sala se optó por la elevación de los intérpretes del conjunto instrumental mediante la colocación de un atrio escalonado en dos alturas, para permitir la distribución de hasta siete músicos y reducir el efecto rasante.

Por último hay que destacar como la ocupación de los bancos será un factor importante a analizar pues estudios han comprobado la importante absorción de los espectadores. (Ver gráfica)

²⁹ Según Antoni Carrión Isbert en su libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Edicions UPC.

³⁰ Se realizó un estudio de visuales en planta y en sección a fin de posicionar los asientos que puede verse en los planos adjuntos.



GRÁFICA 5: GRAN DIFERENCIA ENTRE EL COPORTAMIENTO ENTRE UN BANCO OCUPADO DEL QUE NO LOS ESTÁ, CON LO QUE SE OBSERVA LA RESPUESTA DE DE ABSORCIÓN A MEDIAS- ALTAS FRECUENCIAS DE LOS ESPECTADORES.

3.3. REDISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA SONORA DE LAS FUENTES.

En este caso, atendiendo a los posibles usos de la ermita se ha optado por el posicionamiento de dos fuentes sonoras, el atrio y el coro. Aunque poseen características diferentes, una intervención sobre la fuente que mejore la directividad conseguirá mejorar las prestaciones de la sala³¹ para ello se proponen la utilización de:

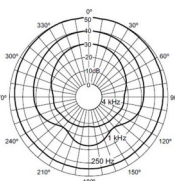
- Una concha acústica para el coro.
- Reflectores/ Difusores QRD para el atrio del conjunto vocal.

3.3.1. CONFIGURACIÓN DEL CORO.

Esta será la única intervención permanente de la sala puesto que la ejecución del balcón, aunque tal y como está diseñada permite la posibilidad de reversión, imposibilita tratar la estructura resultante como desmontable hasta una siguiente audición.

Podemos dividir la intervención en la sala del coro como tres actuaciones:

³¹ La directividad es un parámetro que muestra la relación entre la intensidad de la fuente en una dirección concreta, en este caso la dirección hacia el público, y una dirección de cualquiera de una fuente sonora de igual potencia sonora e omnidireccional. Este parámetro permite conocer si se emite en direcciones innecesarias. Puede mostrarse visualmente mediante un gráfico muy descriptivo como el siguiente (fuente : A. Carrión Pág. 336 "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos " de Edicions UPC según Gade):



- Ampliación de la superficie del coro mediante la construcción de un balcón en la abertura del coro.
- La elevación de las filas posteriores del emplazamiento del coro mediante la construcción de un atrio.
- La ejecución de una concha convertible que mejore la directividad del coro.

LA CONSTRUCCIÓN DEL BALCÓN.

La ejecución del balcón intenta mantener la filosofía del forjado de revoltón existente mediante la simulación de forjado de madera con revoltones.

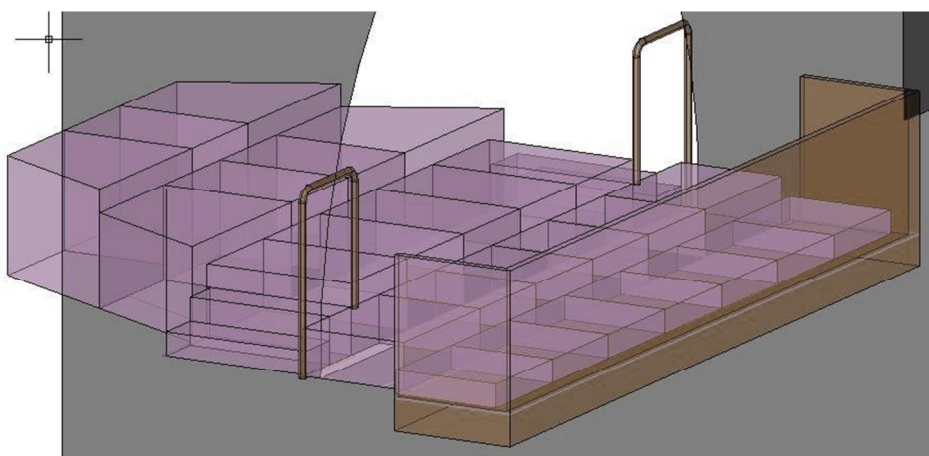


ILUSTRACIÓN 19: EL BALCÓN PERMITE MAYOR FACILIDAD DE TRANSMISIÓN DEL SONIDO DE LA SALA DEL CORO A LA DE AUDICIÓN.

Para ello se procederá a la demolición de los pavimentos, vaciado de los revoltones y la colocación de un empresillado, que se alarga en todo el vuelo del balcón, a ambos lados de la vigueta de madera mediante un UPN de perfil pequeño anclados mediante perforaciones que atraviesan la vigueta y la colocación de varilla roscada y tornillería. Para dotar de aspecto similar a los revoltones en la zona de vuelo se colocará una falsa vigueta sobre la que se ejecutarán de nuevo los revoltones. Finalmente se renovarán los revestimientos poco nobles que quedarán ocultos bajo el atrio del coro y se ejecutará la barandilla metálica tipo forja para mantener el aspecto rústico del conjunto.

LA CONSTRUCCIÓN DEL ATRIO DEL CORO.

Con la intención de favorecer la transmisión del sonido fuera del coro y la conjunción del conjunto coral parece evidente la necesidad de posicionar las voces del coro a diferentes alturas pues su ubicación en un solo plano horizontal supondría que el sonido directo no fluyese con la suficiente libertad provocando reflexiones tempranas con inciertos resultados y una reducción de nivel del sonido directo. A esto hay que sumarle que el efecto rasante³² que se verá reducido por la elevación y consiguiente aumento del ángulo con respecto a la rasante entre las voces y el público.

³² El sonido generado en el escenario de una sala de conciertos se propaga por encima de la superficie ocupada por las sillas y el ángulo de incidencia es pequeño (incidencia rasante), tiene lugar una absorción de dicho sonido.

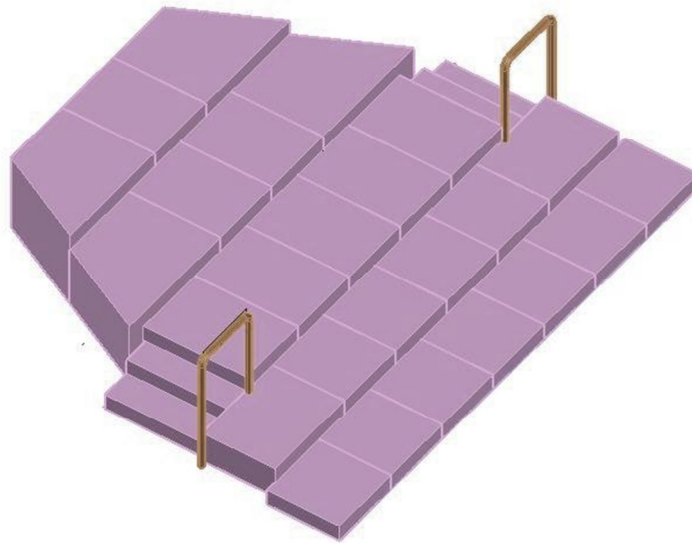


ILUSTRACIÓN 20: FORMA DEL ATRIO DEL CORO INCLUYENDO BARANDILLAS DE 0.9M. DE ALTURA.

Es por esto que se propuso disposiciones alternas entre filas para reducir la altura de los escalones hasta los 15cm. utilizados y posibilitar que la altura de la obertura de 3,3m. entre salas no fuera un obstáculo. En cuanto a la reducción del número de voces en las últimas filas viene obligado por la forma de la concha acústica ejecutada.

Es importante desde el punto de vista acústico la elección de los materiales de construcción del atrio, en este caso que para favorecer las absorciones a bajas frecuencias se ha optado por la elección de un tipo de suelo vivo formado por una madera más o menos flexible sobre una cavidad de aire que provocará en este caso:

- Una absorción sonido aéreo de frecuencias bajas.
- Una vibración estructural que facilita la comunicación entre las voces.

Puesto que el caso del coro no está tan clara la necesidad de vibración estructural (no existen instrumentos en contacto con el suelo) se ha optado por la colocación de una estructura de madera revestida de madera de espesor medio 3-5cm. que aumentará la superficie absorbente de la sala.

LA CONCHA ACÚSTICA.

El diseño de la forma de la concha viene del estudio de reflexiones y permite con esa forma de v truncada el aumento del aforo dentro de la concha sin repercutir, en demasía, en la efectividad de emisión sonora fuera de la sala del coro. La forma de acabado de la concha viene influenciada por la forma de la abertura y la inclusión de un reflector colgado al techo con la misma función.

La opción de realizar una concha no cerrada, es decir con forma de mampara, viene a raíz de poder modificar su configuración según se interprete música vocal en el coro o no. Intentando convertirse en un elemento transparente a los sonidos directos provenientes del cuerpo principal y captura los sonidos reflejados dentro del coro.

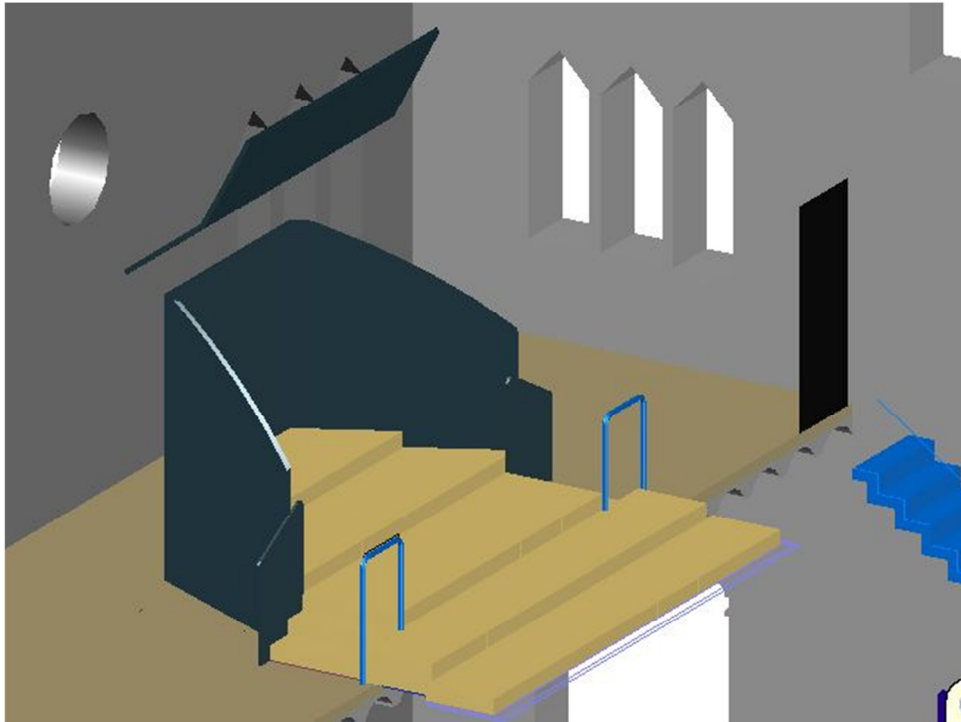


ILUSTRACIÓN 21: FORMA DE LA CONCHA ACÚSTICA

En cuanto al material utilizado para la ejecución de la concha citar que la baja reverberación de la sala impide la utilización de materiales fonoabsorbente con lo que se ejecutará con perfiles macizos de madera de 5cms. de espesor.

3.3.2. CONFIGURACIÓN DEL ATRIO DEL CONJUNTO INSTRUMENTAL.

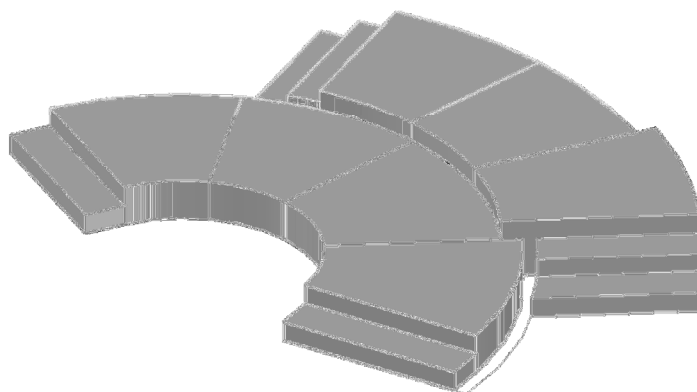


ILUSTRACIÓN 22: MÓDULOS QUE CONFORMAN EL ATRIO DEL CONJUNTO MUSICAL CON FORMA DE MEDIA LUNA.

El atrio, de forma de media luna, poseerá un posicionamiento temporal que deberá montarse y desmontarse cada vez que se realice una audición. Para ello, se optó por un atrio de

similares materiales al del coro con la salvedad de ejecución por módulos que se montarán hasta formar el conjunto.

La única novedad se encuentra que ante la necesidad de proponer un aspecto más armonioso con el conjunto de bóvedas de la nave principal se colocarán reflectores de similares características al del coro que debido a su forma cóncava del atrio, obligará a modificar su superficie interior mediante la inclusión de un difusor QRD unidireccional, de ese modo mejoraremos la directividad de la fuente. Su cara exterior podrá estar formada por una tela de modo que sirva como velo acústico.

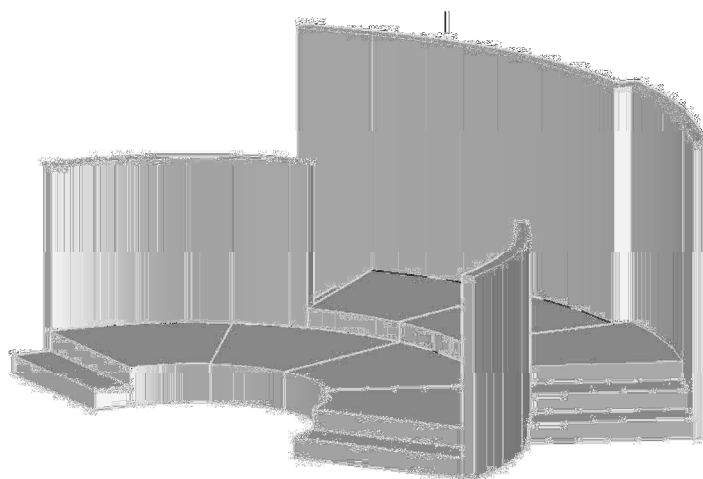


ILUSTRACIÓN 23: FORMA DEL REFLECTOR/DIFUSOR QRD QUE ADEMÁS SIRVE DE BARANDILLA.

EL DIFUSOR QRD.

Puesto que el problema de difusión del atrio se encuentra en el plano vertical debido a la forma cóncava del reflector se integrará un difusor QRD unidireccional que seguirá uno de los patrones del perfil de la ilustración siguiente.

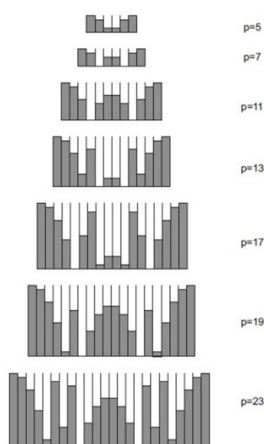


ILUSTRACIÓN 24: PERFILES ASOCIADOS A LAS SECUENCIAS DE RESIDUO CUADRÁTICO S_N CORRESPONDIENTES A LOS NÚMEROS PRIMOS COMPRENDIDOS ENTRE $p = 5$ Y $p = 23$ (1 PERIODO)³³

³³ Fuente: Antoni Carrión Isbert en su libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Edicions UPC.

Para ello deberemos tener en cuenta la frecuencia máxima de difusión mediante un análisis de los instrumentos con el fin de permitir la máxima difusión de los armónicos más importantes (atendiendo a la norma parece evidente que un rango de hasta 4kHz parece ser más que suficiente) de este modo obtenemos frecuencia de diseño f_0 como respuesta a la relación $\frac{f_{max}}{f_0} \leq 8$ pudiendo aplicar una frecuencia de diseño de 1Khz.

Una vez obtenido este valor se obtiene el orden o grado de difusión a la frecuencia f_0 (número entero) siendo utilizado normalmente valor de $m_{max}=2$.

Llegados a este punto obtenemos la anchura de las ranuras (W);

$$W = \frac{c}{2f_{max}} - T ; \text{ Donde:}$$

T = al espesor de los divisores cuyo valor deberá estar entre 1,5 y 5mm. al ser una estructura desmontable y evitar su deterioro se propondrá un espesor mínimo de 3 mm.

c = Velocidad de propagación del sonido en mm/s $\approx 345000\text{mm/s}$.

Teniendo un espesor de W= 40,62 mm.

Con lo que podemos obtener el número de ranuras por periodo p como:

$$p = \frac{2f_{max}m_{max}}{f_0} = \frac{2 \cdot 4Khz \cdot 2}{1Khz} = 16 \cong \text{por aproximación } 17$$

Teniendo finalmente que obtener la profundidad de la ranura como resultado de la expresión:

$$d_n = \frac{s_n \cdot c}{2pf_0} ; \text{ Donde:}$$

$$s_n = n^2 \bmod p$$

n = número entero desde 0 hasta p-1

c = velocidad de propagación del sonido (en cm/s)

Cada valor de s_n se obtiene como el resto del cociente entre n^2 y p según la tabla siguiente:

p	n																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
3	0	1	1																				
5	0	1	4	4	1																		
7	0	1	4	2	2	4	1																
11	0	1	4	9	5	3	3	5	9	4	1												
13	0	1	4	9	3	12	10	10	12	3	9	4	1										
17	0	1	4	9	16	8	2	15	13	13	15	2	8	16	9	4	1						
19	0	1	4	9	16	8	17	11	7	5	7	11	17	6	16	9	4	1					
23	0	1	4	9	16	2	13	3	18	12	8	6	6	8	12	18	3	13	2	16	9	4	1

ILUSTRACIÓN 25: SECUENCIAS DE RESIDUO CUADRÁTICO S_N^{34}

Con lo que el valor de la profundidad será el mostrado en la siguiente tabla:

TABLA 2: PROFUNDIDAD DE CADA RANURA NUESTRO DIFUSOR.

p	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	0	1	4	9	16	8	2	15	13	13	15	2	8	16	9	4	1
W	0,00	1,01	4,06	9,13	16,24	8,12	2,03	5,22	3,19	3,19	5,22	2,03	8,12	16,24	9,13	4,06	1,01

Consiguiendo finalmente el siguiente forma que se muestra a continuación:

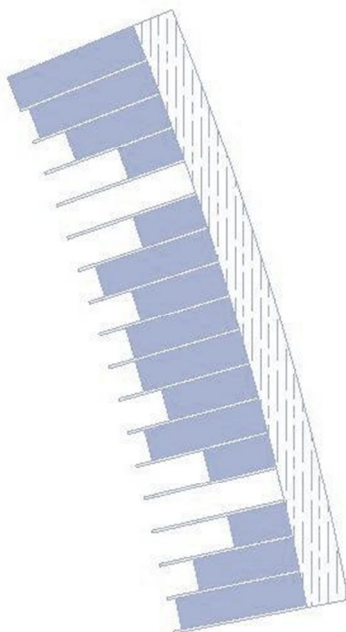


ILUSTRACIÓN 26: FORMA FINAL DE LA SERIE DE RANURAS EN EL REFLECTOR DEL SEGUNDO NIVEL DEL ATRIO.

3.4. MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD.

Con el fin de adecuar la sala a los criterios de accesibilidad se ha optado por la redistribución de las zonas de paso aumentándolas permitiendo un paso mínimo de 1,2m. Además, debido a la existencia de un escalón de acceso a la sala se pretende instalar una rampa de acceso de forma que además permita el incremento de superficie fonoabsorbente, para ello

³⁴ Fuente: Antoni Carrión Isbert en su libro "Diseño acústico de espacios arquitectónicos" de Edicions UPC.

se optó por la construcción de una rampa de pequeñas dimensiones que fuera realizada de piezas de madera.

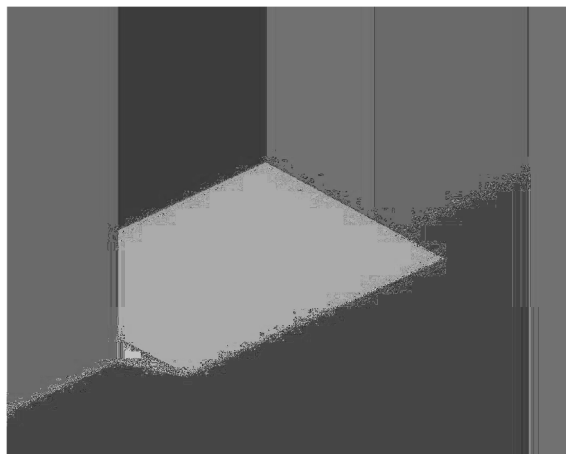


ILUSTRACIÓN 27: LA PEQUEÑA RAMPA DE ACCESO.

3.5. AUMENTO DE LA SUPERFICIE FONOABSORBENTE. LA ELECCIÓN DE MATERIALES.

Esta intervención es la que tendrá mayor afección sobre el tiempo de reverberación y vendrá acompañada con la configuración espacial final con ella se pretende aumentar la superficie absorbente en la sala y por consiguiente la atenuación del sonido y conseguir de ese modo la obtención de los tiempos de reverberación más adecuados en función de la actividad, la prevención o eliminación de ecos, y la reducción del nivel de campo reverberante en espacios ruidosos.

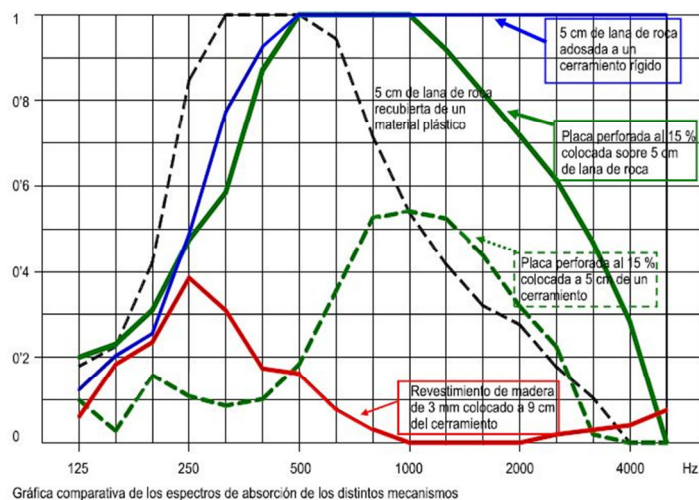


ILUSTRACIÓN 28: EJEMPLO DE CURVAS DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LOS MATERIALES.³⁵

Para conseguir una curva de atenuación que respete la calidez y el brillo deberá conjugarse los diferentes materiales y elementos utilizados en el acondicionamiento acústico puesto que cada tipo de material o elemento es efectivo en un ancho de banda diferente:

³⁵ Fuente: Apuntes del Taller I25.

- Resonador de membrana o diafragmático, en la base de los atrios, la rampa y la renovación del pavimento del altar. Éstos son muy interesantes para la reducción de los bajos en frecuencia.
- Los materiales porosos, que se encuentran en el cortinaje utilizado y el revestimiento de la superficie de cubierta inclinada en la primera crujía del cuerpo principal.

En nuestro caso se han utilizado los elementos descritos.

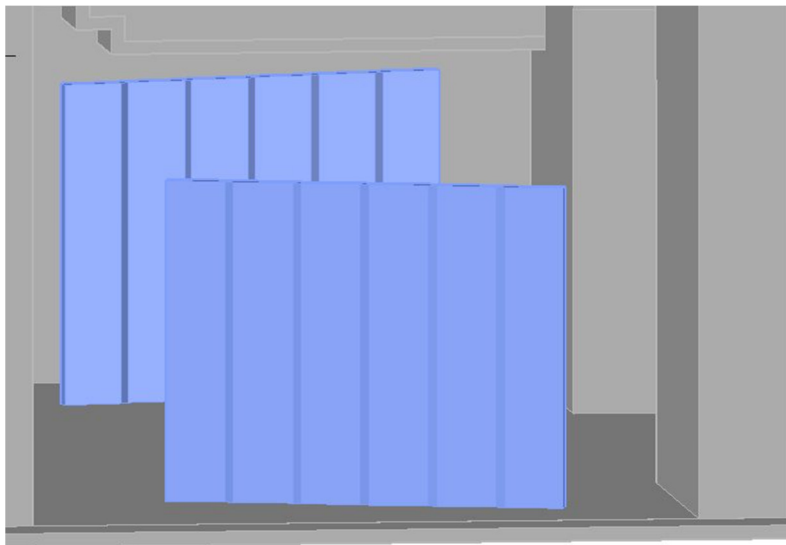
3.5.1. LOS RESONADORES DE MEMBRANA.

En este caso están presentes en:

- Mediante la inclusión de paneles de contrachapado de geometría definida para la realización de reflectores móviles.
- Suelo de tarima flotante en la zona del altar.
- Atrios del conjunto instrumental y coro.
- Rampa de acceso.

LOS REFLECTORES MÓVILES.

Éstos tendrán una doble función mejorar la intimidad en las últimas filas de bancos y aumentar la superficie de absorción de la sala.

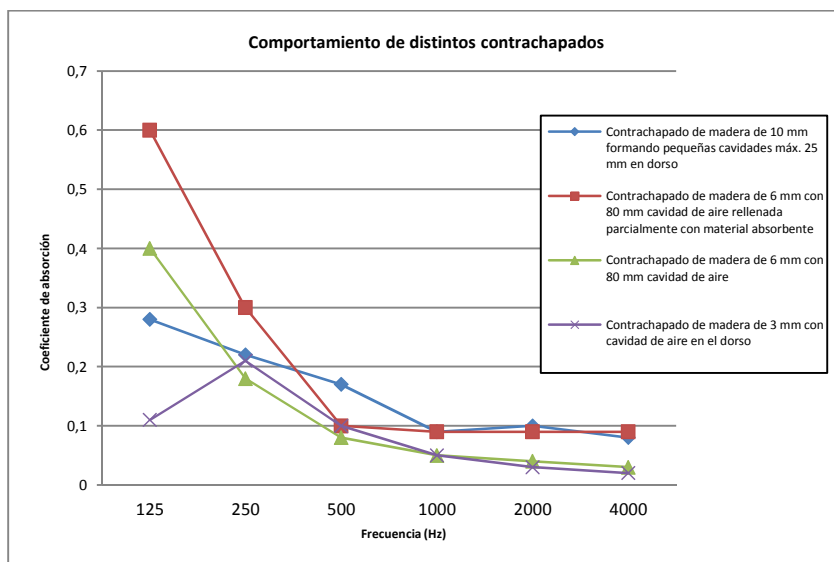


GRÁFICA 6: POSICIÓN DE LOS REFLECTORES.

La funcionalidad de su movilidad recae en la posibilidad de intercambiarlos y posicionarlos de modo más acorde según se encuentre actuando el conjunto instrumental o coral, manteniendo mejores prestaciones en el caso de interpretación vocal pues se encuentra a menor distancia de las fuentes.

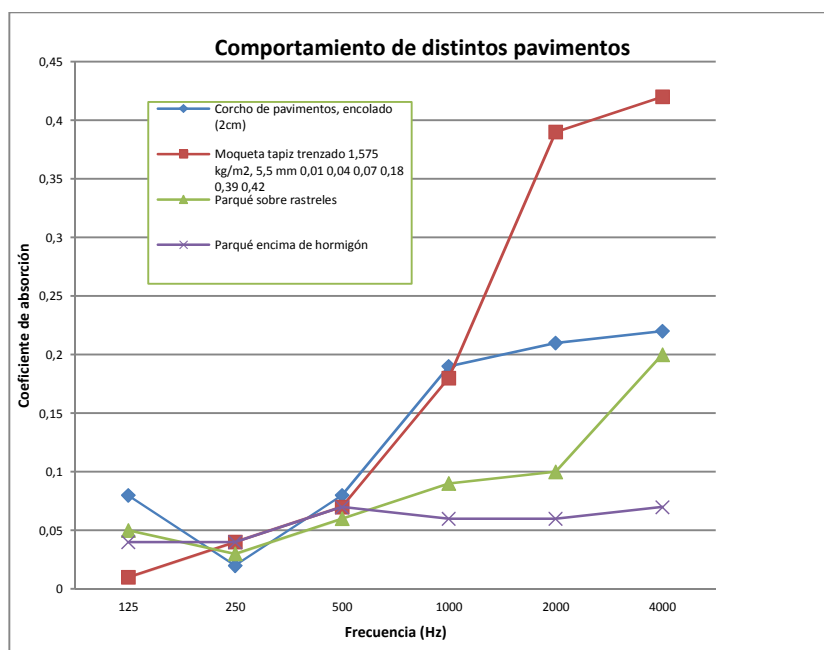
El tratamiento de los acabados se centró en el uso de contrachapados de madera con micro perforaciones en una de sus caras para dotar al reflector su función de resonador

proponiendo su cara más noble, la no perforada, siempre hacia el espectador. Como bien es sabido su comportamiento variará según los posibles acabados. Comparándolos se optó por el contrachapado de madera de 6 mm con 80 mm cavidad de aire rellena parcialmente con material absorbente.



GRÁFICA 7: DISTINTOS ACABADOS DE CONTRACHAPADO.

SUELO DEL ALTAR



GRÁFICA 8: COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE DISTINTOS PAVIMENTOS

Con el fin de mejorar el aspecto visual de las piezas cerámicas del altar se ha propuesto la del revestimiento de tarima flotante para, además, aumentar la superficie fonoabsorbente. Esta intervención es posible puesto que se retiró el pavimento original en una intervención anterior recuperándolo para su colocación en alguna capilla lateral. De este modo, se optó por

el entarimado parquet sobre rastreles que aporta mayor durabilidad que otros pavimentos, una posible reversión con facilidad, armoniza con el conjunto de colores pasteles y posibilita el posible paso de instalaciones ante futuros usos del conjunto arquitectónico.

ATRIOS DEL CONJUNTO INSTRUMENTAL Y CORO.

En el caso de los reflectores, de igual comportamiento que los paneles móviles, se optó por el mismo acabado para el reflector del conjunto instrumental, sin embargo para los reflectores se sustituirá por una madera maciza de 5mm. con el fin de reducir la absorción de la sala con una reverberación excesivamente baja.

En el caso de la construcción de los atrios, funcionarán como resonadores por la formación una cavidad inferior e aire pero perderán funcionalidad al aumentar el grosor de la membrana para aumentar su durabilidad comportándose prácticamente como un acabado de madera de espesor >50mm. Optando en esta ocasión por este un coeficiente de absorción como el de la tabla adjunta.

TABLA 3: CARÁCTERÍSTICA DE LA MADERA COMO ACABADO POR GRAN ESPESOR DE SUS PIEZAS

Coeficiente de absorción según la banda de frecuencia						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

RAMPA DE ACCESO

En este caso, al igual que el suelo de los atrios se ha optado por la utilización de madera de gran espesor, consiguiendo prestaciones supuestamente similares a la de la tabla anterior.

3.5.3 LOS MATERIALES POROSOS.

La inclusión de este tipo de materiales deberá ser de ejecución delicada y propuesta en zonas pocos nobles. En este caso, deberemos citar por la propuesta realizada a la inserción de dos materiales:

- Cortinajes. Situados en barandillas, pasos a las capillas laterales y sobre el paramento vertical de la primera crujía recayente en el coro.
- Paneles acústicos absorbentes tipo HERAKUSTIK de KNAUFF en el espacio de entrevigado de bajo cubierta de la primera crujía.

Los dos materiales utilizados permiten mantener la filosofía de la intervención, los paneles Herakustic irán colocados en un espacio noble y a suficiente altura para que el visitante no pueda discernir el material de aplicación.

LOS CORTINAJES

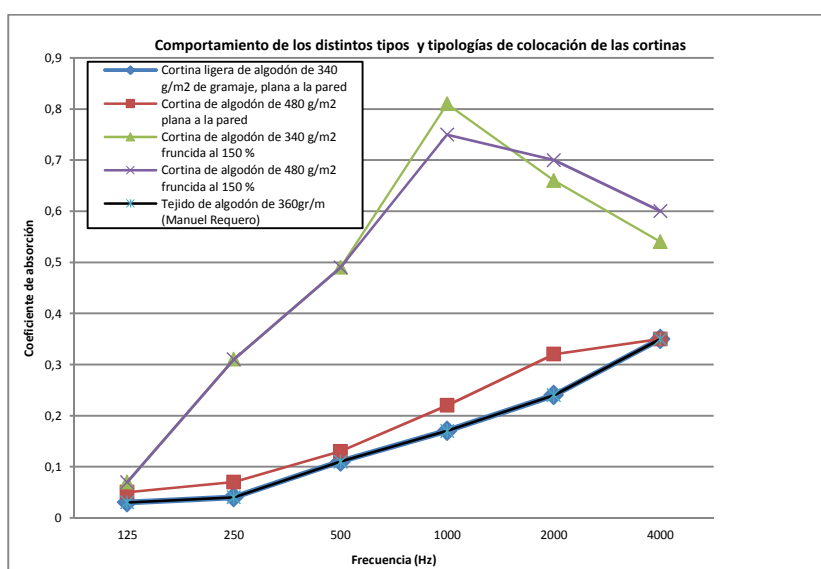
Comprobando el comportamiento de las distintas posibles disposiciones y con el fin de unificar materiales se optó por el uso de dos tipos de cortinas:

- Una cortina ligera de 360gr/m² de algodón que irá colgada en las capillas laterales, que gracias a una tipología tipo “*estor*” permitiría su despliegue motorizado y una

iluminación muy cálida, y de las barandillas del coro y su acceso, de fácil montaje manual.

- Una cortina ligera de 320gr/m² de algodón de disposición plana a la pared en el paramento exterior de la sala del coro alrededor de la abertura de comunicación del balcón.

La elección de estas cortinas ligeras de entre las de mayor absorción es debido, por un lado por decisiones técnicas, pues mantienen un perfil más estable de la curva de coeficientes de absorción y al gran peso que supondría su montaje, puesto que siempre se ha optado por permitir un fácil mantenimiento. Por otro, a cuestiones estéticas pues serían fácilmente bordadas y visibles.



GRÁFICA 9: SE DESCARTAN LAS CORTINAS FRUNCIDAS POR SU EXCESIVA ABSORCIÓN AL MEDIAS FRECUENCIAS QUE IMPOSIBILITARÍA LA COLOCACIÓN DE CORTINAS EN TODAS LAS CAPILLAS.

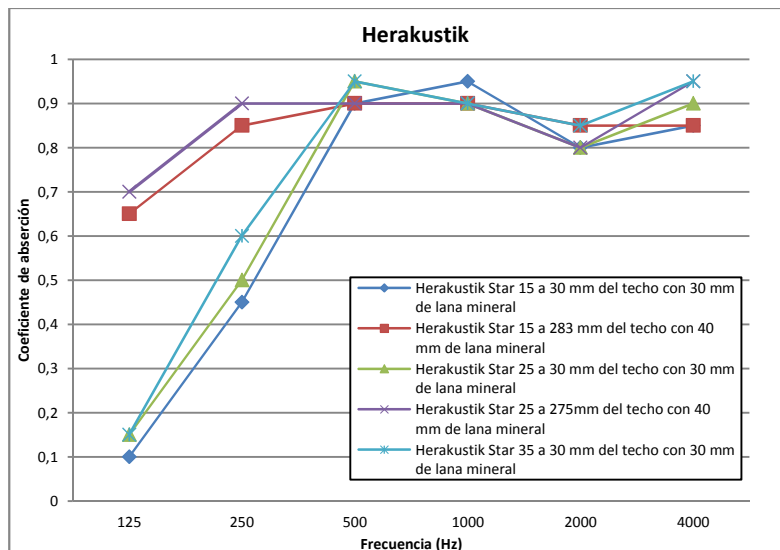
FORRADO DEL ESPACIO ENTRE VIGUETAS DEL ESPACIO BAJO CUBIERTA.



ILUSTRACIÓN 29: ASPECTO DE LOS PALENES HERAKLITH S³⁶

³⁶ Fuente: Catálogo 2011 de Knauff Insulation.

En este caso se ha optado por la absorción producida por paneles Heraklith C 25 (25mm) de grosor. Este panel está realizado de viruta de madera prensada conglomeradas con mortero de cemento y posee un aspecto visual de la ilustración 28.



GRÁFICA 10: COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES DE FIBRA DE MADERA.

3.6. AUMENTO DE LA SUPERFICIE NO ABSORBENTE.

Tras las primeras comprobaciones de la propuesta se comprobó que el coro al poseer un volumen reducido y una abertura relativamente grande con respecto a su superficie posibilita la extracción del sonido al exterior provocando tiempos de reverberación fuera del rango de 1,6s a 1,8s. por ello y para evitar acoplamientos de sonido se realizó una compensación de los tiempos de reverberación entre sala aumentando la superficie no absorbente mediante:

- Se sustituyó los paneles resonadores/reflectantes por una sección maciza de madera en la concha del coro.
- Se sustituirá el pavimento de la sala por una aplacado de mármol color marfil.

TABLA 4: COEFICIENTES DE ABSORCIÓN DEL APLACADO DE MÁRMOL.

Coeficiente de absorción según la banda de frecuencia						
Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

- Se aplacará previa preparación del soporte del mismo un zócalo en los paramentos interiores hasta una altura de 1,2m.

Con estas actuaciones se consigue igualar los tiempos de reverberación de coro y la nave principal y el cálculo de los tiempos de reverberación de ambas salas será por aproximación:

$$RT = 0,161 \cdot \frac{V_1 + V_2}{A_1 + A_2} \approx 0,161 \cdot \frac{V_1}{A_1} \approx 0,161 \cdot \frac{V_2}{A_2} \text{ siempre que } RT_1 = RT_2$$

4. ANÁLISIS DE LA INTERVENCIÓN.

Una vez realizada la propuesta de intervención de la ermita se puede analizar el comportamiento de la sala de audición.

Un pequeño vistazo a la lista de los materiales utilizados para cada el revestimiento y la construcción de los sistemas implementados en la salas muestra la intención de equilibrar la absorción a altas y medias frecuencias intentando conseguir un tiempo de reverberación cuya curva fuera lo más plana posible a bajas y medias frecuencias y manteniendo como efecto de absorción del aire como el fenómeno más destacable (ver tablas 5 y 6).

En el anexo de fichas de propuestas de intervención³⁷ se han podido constatar que esta correcta disposición de materiales puede acondicionar una sala que en teoría era todos los efectos poco recomendables para sala de audición reverberación hasta conseguir un parámetro de Reverberación de entre 1,64s. para la ermita con el aforo completo hasta un valor 1,74s. para la ermita al 50% de ocupación, que estando dentro del intervalo de entre 1,6-1,8 segs. permite considerar que la sala poseerá una calidad audición aceptable.

Sin embargo, para conseguir reducir el acoplamiento entre salas ha sido necesario aumentar la superficie no absorbente en el coro puesto que había una diferencia de más de 250ms. de ese modo de ha podido obtener diferencias de 20-30 ms que incluso por debajo de los 50ms sería imperceptible a todos los efectos.

³⁷ En el anexo de fichas se puede observar la metodología de trabajo propuesta en esta intervención.

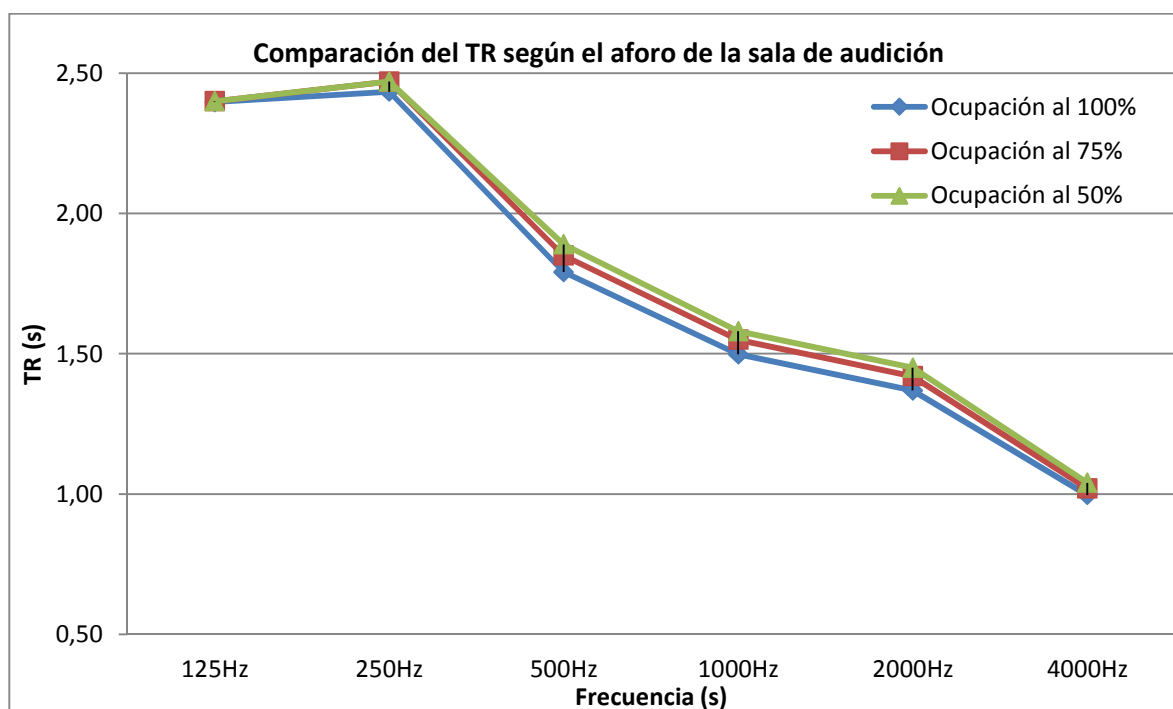
TABLA 5: MATERIALES UTILIZADOS EN LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE LA SALA PRINCIPAL

Coeficientes de absorción						
Material utilizado	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Asientos de madera no ocupados	0,55	0,5	0,15	0,1	0,05	0,05
Bancos de iglesia de madera 100 % ocupados	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
Coef absorción de parquet	0,05	0,03	0,06	0,09	0,1	0,2
Coef absorción de madera	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Herakustik F 25 mm a 30 mm del techo	0,1	0,2	0,6	0,75	0,6	0,8
Contrachapado de madera de 6 mm con 80 mm cavidad de aire rellena parcialmente con material absorbente	0,6	0,3	0,1	0,09	0,09	0,09
Cortina ligera de algodón de 360gr/m (Manuel Requero)	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina ligera de algodón de 340 g/m2 de gramaje, plana a la pared	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35

TABLA 6: MATERIALES UTILIZADOS EN LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE LA SALA DEL CORO.

Coeficientes de absorción						
Material utilizado	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Mármol o baldosa pulida	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Bancos de iglesia de madera 100 % ocupados	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04

Uno de los aspectos a tener en cuenta ha sido que analizando el comportamiento de la sala se observa como variando la ocupación de la sala obtenemos una variación de los tiempo de reverberación llegando en este caso a un incremento entre la sala al 50% y con aforo completo de 100ms. Esto en algunas circunstancias podría ser crítico a la hora diseñar salas con aforos muy elevados. En el caso de la propuesta de intervención de esta ermita, ésta ha intentado pecar de exceso con respecto a la reducción del tiempo de reverberación con lo que permite con holgura encontrarse ante aforos reducidos manteniendo este parámetro dentro de los márgenes que la experimentación recomienda para la audición de conciertos barrocos (máx. 1,8 s.).



GRÁFICA 11: LA ERMITA SE HA COMPORTADO ESTABLE DEBIDO A SU REDUCIDO AFORO AL NIVEL DE OCUPACIÓN.

Si quisiéramos mantener una sala con una respuesta más independiente de la asistencia de público a los espectáculos o actos litúrgicos deberíamos trabajar directamente con los asientos del público optando por la sustitución de los actuales bancos de madera por butacas acolchadas o en el caso de reducir costes forrar directamente los respaldos y asientos con materiales acústicamente absorbentes o incluyendo cavidades resonantes en zonas ocultas.

Una vez tratado el nivel de reverberación parece evidente tratar otros posibles problemas de la sala, como focalizaciones. Sin embargo, para poder analizar parámetros dependientes del nivel de presión sonora deberán realizarse mediciones in situ.

Otros dos parámetros citados, calidez y el brillo, se ha demostrado que en propuestas de intervención tan limitadas la posibilidad de optimizarlos se vuelven una tarea arduamente difícil. En este caso las mejores prestaciones se han obtenido con la sala ocupada al 100% llegando al obtener BR= 1,47 mayor de lo deseado y Br=0,72 un valor inferior que pone de



manifiesto como sala con un volumen grande permite que la absorción del aire y los materiales utilizados permita denominar a la sala como un excesivamente cálida.

5. CONCLUSIONES.

La necesidad de conservación de los edificios históricos ha llevado a los propietarios a presentar ofertas para adaptar sus usos tradicionales para dotar a los conjuntos de una funcionalidad que los ciudadanos solicitan.

Estos cambios de uso obligan en ocasiones intervenciones profundas que en edificios históricos sea cual sea su naturaleza siempre son tareas complicadas pues en muchas ocasiones desde protección de patrimonio se imposibilita la renovación de acabados y distribuciones con total libertad. De esta complejidad tampoco se libra el acondicionamiento acústico limitando sus actuaciones en muchas ocasiones a la renovación de mobiliario y de revestimientos poco agresivos con la construcción.

Estas limitaciones provocan que los parámetros de calidad de la sala puedan ser difícilmente calificados como excelentes, pero que permiten, como en el caso de la Ermita de Albal dotar de versatilidad a las edificaciones y en este caso la audición de conjuntos instrumentales barrocos entre sus puertas.



6. BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS

- Título: ABC de la Acústica Arquitectónica Autor: Higinio Arau
Editorial: CEAC, D.L. 1999 Año de edición 1990.
- Título: Auditorium acoustics and architectural design Autor: Michael Barron.
Editorial: Spon Press Año de edición 2010.
- Título: El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: Principios y propuestas para la rehabilitación, Autores: J.J.Sendra, T.Zamarreño, J.Navarro, J. Algaba.
Editorial Instituto Universitario de Ciencias de la construcción. Año de edición 1997.
- Título: Architectural Acoustics Autor: Marshall Long
Editorial: Elsevier Año de edición 2006.
- Título: Acústica Arquitectónica Aplicada Autor: Manuel Recuero López
Editorial: Paraninfo Año de edición: 1999.
- Título: Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Autor: Antoni Carrión Isbert
Editorial: Edicions UPC Año de edición:1998.

ARTÍCULOS

- Título: Acoustics of gothic churches. Autor:Jürgen Meyer.

- Título: Proceso de restauración de la ermita de Santa Anna de Albal en Valencia Autor: Miguel del Rey.



7. ANEXOS.

Planos.

Tablas.